

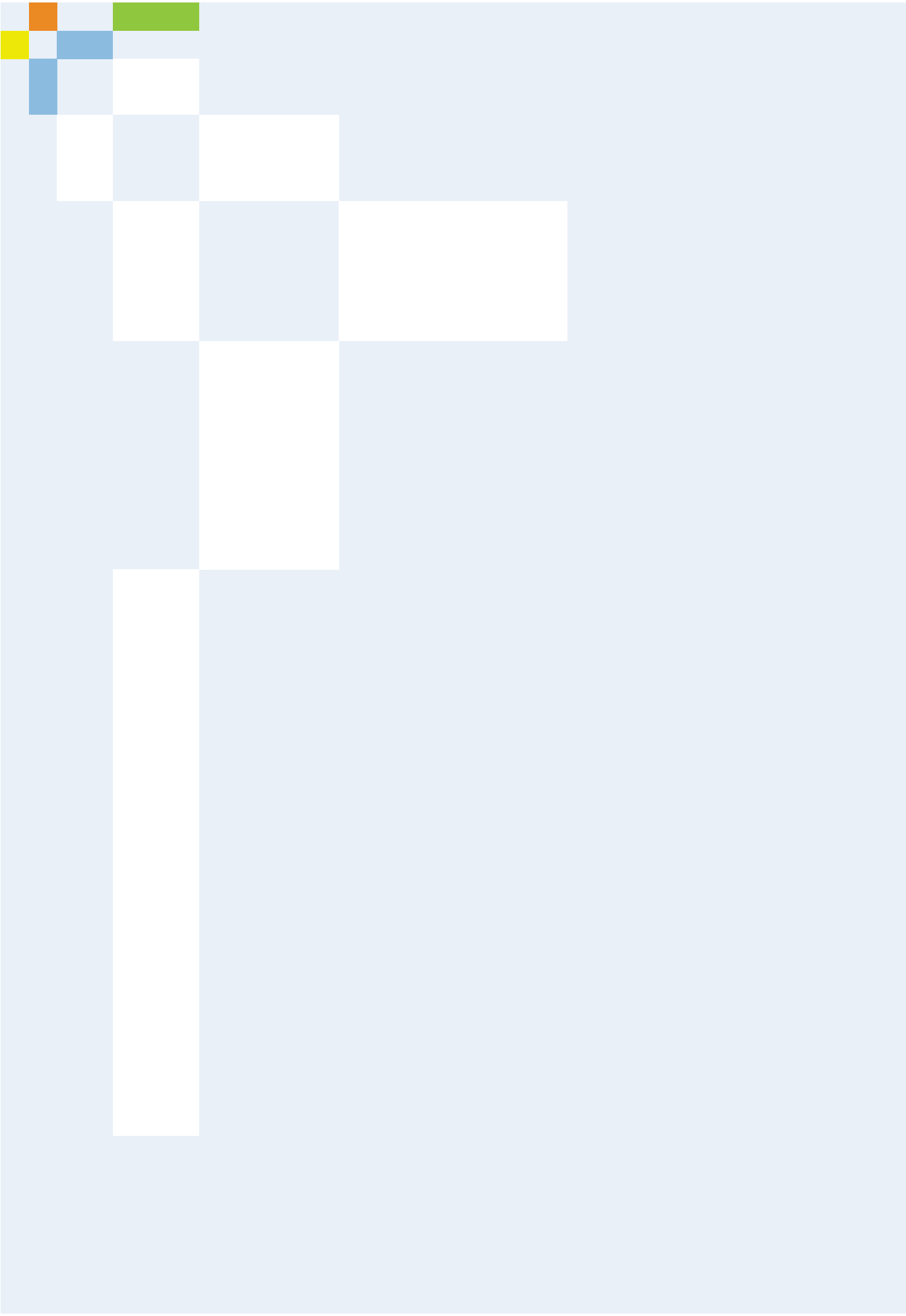


acatech POSITION

Holzbasierte Bioökonomie

Nachhaltig, zirkulär, klimaresilient

acatech (Hrsg.)



acatech POSITION

Holzbasierte Bioökonomie

Nachhaltig, zirkulär, klimaresilient

acatech (Hrsg.)



Die Reihe acatech POSITION

In dieser Reihe erscheinen Positionen der Akademie zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Sie enthalten konkrete Handlungsempfehlungen und richten sich an Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die interessierte Öffentlichkeit. Positionen werden von den Mitgliedern der Akademie sowie weiteren Fachleuten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

Inhalt

Vorwort	5
Zusammenfassung	6
Projekt	11
1 Ziele und Relevanz einer holzbasierten Bioökonomie	13
2 Status quo und Herausforderungen einer holzbasierten Bioökonomie	16
2.1 Wertschöpfungskette und Rohstoffbilanzen	16
2.2 Beitrag für die sozioökonomische Entwicklung	21
2.3 Rohstoffverfügbarkeit und wirtschaftliche Herausforderungen	23
2.4 Ökologische Herausforderungen und gesellschaftlicher Diskurs	27
2.5 Politische Strategien und Regelungen	30
3 Innovationen und Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Praxiseinführung	36
3.1 Flexibilität bei der Rohstoffnutzung: Verwendung vielfältiger Sortimente und Qualitäten	37
3.2 Herstellung und Nutzung: Effizienz über den gesamten Lebenszyklus	41
3.3 Substitution: „Drop-ins“ – Prozess- und Produktinnovationen	50
3.4 Nachfrageseite: Innovative Produkte und Dienstleistungen – Mehrwert für Kundinnen und Kunden sowie Umwelt	54



4 Wege in eine nachhaltige und zirkuläre holzbasierte Bioökonomie: Handlungsempfehlungen	57
4.1 Langfristige Sicherung der Primärrohstoffbasis: Nachhaltige Waldbewirtschaftung honorieren	57
4.2 Sparsame und effiziente Holzverwendung: Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung stärken	58
4.3 Stärkung der Akzeptanz für stoffliche, innovative holzbasierte Anwendungen: Transparente Informationen bereitstellen und Fördervoraussetzungen optimieren	60
4.4 Etablierung stofflicher, innovativer holzbasierter Anwendungen: Governance und (gesetzliche) Rahmenbedingungen kohärent weiterentwickeln	61
4.5 Künftigen Anforderungen und Gegebenheiten begegnen: Innovative Geschäftsmodelle generieren, Gesellschaft einbinden, Konsummuster hinterfragen, Aus- und Weiterbildung sowie Forschung anreizen	62
Anhang	66
Abbildungsverzeichnis	66
Tabellenverzeichnis	66
Literatur	67

Vorwort

Waldnutzung und Holzwirtschaft sind eng mit der menschlichen Zivilisation verbunden – als der Mensch sesshaft wurde, nutzte er immer mehr Flächen durch Waldrodung für Weiden und Nutzholz. Waldgehölze zählen kulturgeschichtlich zu den ältesten Nutzpflanzen. In Mitteleuropa gab es Zeiten mit weniger Wald und „Holznot“ sowie Zeiten, in denen wieder größere Flächen bewaldet waren. Ursache für diese Schwankungen waren vor allem Naturkatastrophen, Bevölkerungswachstum und -schwund, Kriege sowie die Industrialisierung in Europa im 18. und 19. Jahrhundert. So hat bereits 1713 – in Zeiten des Holzmangels in Sachsen – Hans Carl von Carlowitz den Nachhaltigkeitsbegriff in der Forstwirtschaft eingeführt und in seinem Werk *Sylvicultura oeconomica* eine „continuirliche, beständige und nachhaltige Nutzung“ des Waldes gefordert.

Das Thema Nachhaltigkeit ist also nicht neu, hat jedoch angesichts von Klimawandel und Rohstoffversorgung gegenwärtig an Bedeutung gewonnen. Das Konzept der Bioökonomie verbindet Ökonomie und Ökologie und zielt auf eine nachhaltigere, zirkuläre Wirtschaftsweise ab, die aus fossilen Rohstoffen hergestellte Produkte durch Erzeugnisse ersetzt, die aus nachwachsenden Rohstoffen stammen. Eine holzbasierte Bioökonomie nutzt dabei den Rohstoff Holz – das Frischholz aus dem Wald, aus der Landwirtschaft und Landschaftspflege sowie Sekundärrohstoffe wie Altholz und Altpapier. Insofern kann die Bioökonomie einen Beitrag zur konkreten Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung leisten. Dabei müssen ökonomische, ökologische und soziale Ziele berücksichtigt werden, wie es die Bundesregierung in ihrer Bioökonomiestrategie formuliert.

Holz ist heute einer der wichtigsten nachwachsenden Rohstoffe weltweit. Es ist vielseitig verwendbar und wird traditionell zur

Energiegewinnung sowie zur Herstellung von Gegenständen, für Transportmittel und Bauwerke genutzt – seine Einsatzbereiche reichen von Bögen, Schildern und Pfahlbauten über Grubenholz, Holzkohle, Möbel, Verpackungen, Musikinstrumente bis hin zu Holzhochhäusern und dem Einsatz in Schiff- und Luftfahrt sowie dem Automobilbereich.

Die meisten Menschen verbinden mit Wald und Holz positive Assoziationen wie Wohlbefinden und Ästhetik, aber auch Umweltfreundlichkeit und somit Wertschätzung. Wald ist Erholungsraum und ein Kulturgut. Zudem leistet er einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Artenvielfalt, ist wichtig für den Wasserhaushalt der Erde und schützt den Boden vor Erosion, um nur einige der Ökosystemleistungen des Waldes zu nennen.

Die Diskussion um die nachhaltige Nutzung und den Schutz des Waldes hat durch die Folgen des Klimawandels an Aktualität gewonnen. Wie die Waldschäden zeigen, ist der Wald einerseits selbst vom Klimawandel betroffen. Andererseits wird aus Klimaschutzgründen auch seitens der Politik zunehmend auf Holzprodukte gesetzt, vor allem im Baubereich. Eine nachhaltige holzbasierte Bioökonomie sollte daher die ökologischen Grenzen der Rohstoffbereitstellung anerkennen und gleichzeitig den Rohstoff so effizient, so dauerhaft und so oft wie möglich nutzen. Sie ist ein wichtiger Bestandteil einer zirkulären Wirtschaft, einer „Circular Economy“.

Ziel dieser Publikation ist es, ausgehend von Innovationsbeispielen in der klassischen Holzindustrie sowie anderen Wirtschaftsbereichen Hemmnisse sowie förderliche Faktoren für eine zukunftsfähige holzbasierte Bioökonomie darzustellen und daraus Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Wissenschaft abzuleiten.

Prof. Dr.-Ing. Jan Wörner
Präsident acatech

Dr.-Ing. Reinhard Ploss
Präsident acatech



Zusammenfassung

Welche Rolle können innovative Technologien und Produkte auf Holzbasis für die Umsetzung und den Ausbau einer nachhaltigen, zirkulären und klimaresilienten Bioökonomie in Deutschland spielen? Die vorliegende acatech POSITION geht dieser Frage anhand von konkreten Beispielen nach, um begünstigende Faktoren und Hemmnisse zu identifizieren und Handlungsempfehlungen für eine holzbasierte Bioökonomie abzuleiten.

Die Publikation fokussiert sich auf die Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs Holz und hierbei wiederum auf dessen stoffliche Verwendung. Letztere weist im Vergleich zur direkten energetischen Holznutzung Vorteile auf: Eine möglichst lange und mehrfache stoffliche Verwendung (Kaskadennutzung) leistet insbesondere einen Beitrag zum Klimaschutz (CO₂-Speicherleistung) sowie zur Ressourceneffizienz und ist oftmals mit höherer Wertschöpfung verbunden als die energetische Nutzung. Diese wird in der vorliegenden Publikation daher nur am Rande behandelt.

Das Konzept der Bioökonomie ist bereits seit längerem Bestandteil nationaler wie internationaler Strategien und Politiken. Unter Bioökonomie wird im Allgemeinen die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme verstanden, um daraus Produkte, Verfahren und Dienstleistungen für eine nachhaltige Wirtschaftsweise bereitzustellen. Diese verbindet Ökologie und Ökonomie miteinander. Hierzu werden Rohstoffe aus Land-, Forst- und Meereswirtschaft, der Fischerei und Aquakultur oder der mikrobiellen Produktion sowie biogene Rest- und Abfallstoffe verwendet, aber auch das Wissen um biologische Prozesse und Systeme herangezogen. Bioökonomie kann die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (SDG – Sustainable Development Goals), insbesondere den Klima- und Ressourcenschutz, unterstützen – vorausgesetzt, die benötigte Biomasse wird unter Wahrung ökologischer und gesellschaftlicher Kriterien produziert und effizient genutzt.

Die Forstwirtschaft ist neben der Landwirtschaft weltweit der wichtigste Produzent pflanzlicher, terrestrischer Rohstoffe. Die holzbasierte Bioökonomie ist ein wesentlicher Teilbereich der Bioökonomie und umfasst grundsätzlich sowohl die stoffliche als auch die energetische Verwendung von Holz. Die stoffliche Nutzung von Holz hat eine lange Tradition und zahlreiche Vorteile: Langlebige Holzprodukte, beispielsweise im Holzbau, speichern das Treibhausgas Kohlendioxid. Eine mehrfache stoffliche Holznutzung verlängert diese Speicherkapazität. Zudem können Holzprodukte energieintensive Produkte ersetzen, die mit

fossilen Energieträgern erzeugt werden, und somit zur Emissionsminderung beitragen. Bereits heute stammt der Rohstoff Holz jeweils zur Hälfte aus dem Wald (Primärrohstoff) und aus Sekundärrohstoffen.

Deutschland hat eine große Waldfläche, eine in Europa führende Position in der Holzindustrie und im Maschinen- und Anlagenbau sowie eine vielfältige Wissenschafts- und Forschungslandschaft. Dies sind gute Voraussetzungen, um hierzulande die holzbasierte Bioökonomie weiterzuentwickeln. Will man das Innovationspotenzial einer holzbasierten Bioökonomie nachhaltig und zukunftsfähig ausbauen, gilt es, ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Anforderungen gleichermaßen zu betrachten und in Balance zu bringen. Klimawandel, mangelnde Rohstoffverfügbarkeit, gestörte Lieferketten sowie globale Verwerfungen, die nahezu alle Wirtschaftszweige betreffen, unterstreichen diese Notwendigkeit.

Vor diesem Hintergrund nimmt die vorliegende acatech POSITION eine systemische Perspektive ein. Exemplarisch wird auf folgende Zusammenhänge verwiesen: Stakeholder haben unterschiedliche Erwartungen an den Wald, die sich im Spannungsfeld „Schützen und Nutzen“ bewegen. Neben seiner Funktion als Rohstofflieferant ist der Wald auch Ort der Erholung und von kulturellem Wert. Darüber hinaus stellt er andere Ökosystemleistungen bereit, die wichtig für Umwelt, Arten- und Klimaschutz, aber auch Wasserhaushalt und Erosionsschutz sind. Seine Kohlenstoffspeicherfunktion („CO₂-Senke“) findet sich im deutschen Klimaschutzgesetz sowie in verschiedenen EU-Strategien wieder und soll dazu beitragen, Klimaschutzziele und Klimaneutralität durch sogenannte negative CO₂-Emissionen zu erreichen. Allerdings ist der Wald selbst von den Folgen des Klimawandels betroffen, wie beispielsweise die Waldschäden zwischen 2018 und 2020 – verursacht durch Hitze, Trockenheit, Stürme, Brände oder Insektenbefall – gezeigt haben. Dies kann zur Folge haben, dass der Wald regional zu einer Kohlenstoffquelle wird.

Ein klimaangepasster Waldbau führt zu einem höheren Laubholzanteil und einer größeren Baumartenvielfalt, braucht jedoch mehrere Jahrzehnte Zeit. Eine höhere Baumartenvielfalt stärkt die Biodiversität und trägt aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Arten zu einem resilienteren Wald bei. Unter Schutz stehende, unbewirtschaftete Gebiete sind wichtig im Hinblick auf Natur- und Artenschutz – aber auch, um Erkenntnisse über künftig sich herausbildende resilientere und klimaadaptierte Arten zu gewinnen. Zugleich wird in verschiedenen politischen Strategien der gewünschte Klimaschutzbeitrag langlebiger Holzprodukte, vor allem im Holzbau, hervorgehoben. Um

den Anspruch von „Schützen und Nutzen“ zu gewährleisten, sind die Ziele einer holzbasierten Bioökonomie sowie des Arten- und Klimaschutzes gleichermaßen zu berücksichtigen.

Holz wird international gehandelt. Sein Preis unterliegt Schwankungen, je nach Angebot und Nachfrage. Ausfallende Importe, zunehmende Holzexporte und steigende (Flächen-)Nutzungskonkurrenz können zu einer geringeren Rohstoffverfügbarkeit im Inland führen. Eine größere nationale und internationale Nachfrage führt je nach Zeitskalenbetrachtung zu Knappheit im Primär- wie im Sekundärrohstoffbereich. Dies schlägt sich unter anderem in steigenden Preisen und Planungsunsicherheit nieder. Was oftmals als Hemmnis gesehen wird, kann jedoch auch eine Chance für Innovation und neue Marktakteure sein. Ressourceneffizienz und -produktivität sind wichtige Innovationstreiber.

Die holzbasierte Bioökonomie ist somit Partner und zugleich zentraler Baustein einer Kreislaufwirtschaft („Circular Economy“), die zunehmend zum „Gamechanger“ für Unternehmen im Hinblick auf die Rohstoffverfügbarkeit werden wird. Zudem befördern forcierte Digitalisierung und Kooperationen innovative Technologien und können zu einer schnelleren Anwendung in Pilotprojekten bis hin zur Marktreife führen. Bereits heute besteht eine sektorübergreifende Zusammenarbeit in Wertschöpfungsnetzwerken beispielsweise der klassischen Holzindustrie mit dem Transport- oder Chemiebereich. Dadurch entstehen häufig höherwertige Produkte, die auch über eine reine Eins-zu-eins-Substitution von Produkten auf fossiler Basis hinausgehen und einen zusätzlichen Mehrwert für Kundinnen und Kunden sowie die Umwelt generieren können, was wiederum zur Schaffung qualifizierter Arbeitsplätze beitragen kann.

Für die Umsetzung und den Ausbau einer nachhaltigen, zirkulären und klimaresilienten holzbasierten Bioökonomie schlägt acatech folgende Handlungsempfehlungen vor. Diese sind fünf Handlungsfeldern zugeordnet und richten sich an Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Wissenschaft.

Langfristige Sicherung der Primärrohstoffbasis: Nachhaltige Waldbewirtschaftung honorieren

Unter Berücksichtigung regionaler Besonderheiten ist ein Waldbau hin zu einem klimaangepassten Mischwald anzustreben. Dieser sollte auch einen entsprechenden Nadelholzanteil aufweisen, um die Produktion zahlreicher und insbesondere langlebiger Holzprodukte mittel- und langfristig weiter zu ermöglichen.

Außerhalb von Schutzgebieten ist auf möglichst großer Fläche eine integrative Waldbewirtschaftung zu verwirklichen, die Schutz und Nutzen gewährleistet.

Positive Effekte und Leistungen des Waldes (unter anderem CO₂-Speicherung, aber auch Erholung und Biodiversität) sind – auch aus Effizienzgründen – zu internalisieren. Daher sollten Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer künftig zusätzlich zu den Einnahmen aus dem Holzverkauf Einnahmen für Ökosystemleistungen des Waldes erhalten, die sie für die Allgemeinheit und zur Erfüllung staatlicher Verträge und Abkommen erbringen, zumal dies oftmals mit Mehrkosten verbunden ist. Eine derart ergebnisorientierte, abgestufte Honorierung – finanziert durch die öffentliche Hand – sollte langfristig angelegt sein und sich an der Anpassungsfähigkeit eines resilienteren Waldes orientieren. Hierfür sind wissenschaftlich fundierte Indikatoren auszuarbeiten, die eine nachhaltige Rohstoffversorgung, erbrachte Klimaschutzleistungen sowie die biologische Vielfalt gleichermaßen im Blick haben.

Um Schadereignisse frühzeitig zu erkennen und die primäre Rohstoffbasis hinsichtlich Menge und Qualität zu sichern, empfiehlt es sich, das digitale Waldmonitoring auszubauen. Dabei sind verstärkt Fernerkundungssysteme, beispielsweise Satelliten oder Drohnen, einzusetzen.

Sparsame und effiziente Holzverwendung: Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung stärken

Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. Der Rohstoff Holz ist so effizient wie möglich zu nutzen. Dies gilt sowohl für den Primär- als auch für den Sekundärrohstoff. So sollten der ganze Baum, aber auch Durchforstungsholz sowie Holz aus landwirtschaftlicher Erzeugung und aus Landschaftspflegemaßnahmen verwendet und die Bestandteile möglichst lange stofflich genutzt werden. Zudem ist die mengenmäßige und qualitative Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen wie Altpapier und Altholz durch Recycling und Kaskadennutzung, das heißt durch möglichst mehrfache und hochwertige stoffliche Verwendung, zu steigern – auch um durch die verlängerte CO₂-Speicherung zum Klimaschutz beizutragen. Ferner sind anfallende Neben- und Koppelprodukte zu verarbeiten.

Um die Kaskadennutzung zu fördern, bedarf es eines klareren Recyclingvorrangs für stofflich einsetzbare Produkt- und Altholzsortimente gegenüber ihrer energetischen Verwertung. Auch wenn diese Rangfolge bereits grundsätzlich im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) verankert ist, so sollte die mehrfache stoffliche Verwertung (Kaskade) in einer eigenen Verordnung explizit



festgeschrieben werden. Zudem könnte die Kaskadennutzung durch einen bundesweiten, sektorübergreifenden Ideenwettbewerb beispielsweise mit dem Schwerpunkt „Langes Leben – Holz als Kohlenstoffspeicher“ oder durch Forschungsprojekte zum Thema „Upcycling“ weiter gefördert werden.

Wiederverwertung von Altholz. In der anstehenden Novellierung der Altholzverordnung ist der Vorrang einer stofflichen Nutzung in den dafür geeigneten Altholzkategorien verbindlich vorzuschreiben. Bau- und Abbruchhölzer werden derzeit aufgrund des Verdachts auf mögliche Schadstoffbestandteile oftmals in Altholzverbrennungsanlagen verbrannt. Es gilt stattdessen, dieses Recyclingpotenzial durch geeignete getrennte Erfassung sowie eine praxisgerechte, prozessbegleitende Probenahme und statistisch hinterlegte Analytik zu nutzen. Zudem sind Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Unternehmen, die Altholz aufbereiten, entsprechend zu schulen. Da Altholz international gehandelt wird, sind Regelungen bezüglich Qualität, Erfassung, Aufbereitung und Analytik europaweit zu harmonisieren.

Die energetische Verwertung sollte erst am Ende jeder Kaskade stehen und sich auf nicht recyclingfähige und stofflich nicht verwertbare Sortimente beschränken. Es sollten zudem künftig nur noch hocheffiziente (bei der Stromerzeugung Kraft-Wärmegekoppelte Anlagen) sowie flexible und regelbare Biomasseanlagen genehmigt werden, um in systemischer Perspektive als Speicher die fluktuierend erzeugenden erneuerbaren Anlagen (Photovoltaik- und Windkraftanlagen) sowie die damit betriebenen Wärmepumpen zu ergänzen.

„Design for Re-Use and Recycling“. Bei der Produktentwicklung sollten die Unternehmen von Beginn an ein wiederverwendungs- und recyclinggerechtes Produktdesign („Design for Re-Use and Recycling“) vorsehen und sich hierzu mit den Akteuren sektorübergreifender Wertschöpfungsnetzwerke austauschen sowie Daten bereitstellen. Die Unternehmen sollten sich darum bemühen, durch Information und Marketing die Akzeptanz für qualitätsgesicherte Sekundärrohstoffe in Produkten und für Recyclingprodukte zu erhöhen. Zusätzlich wäre zu erwägen, eine Zertifizierung in Form eines Recyclingsiegels für Materialien biogenen Ursprungs einzuführen.

Stärkung der Akzeptanz für stoffliche, innovative holzbasierte Anwendungen: Transparente Informationen bereitstellen und Fördervoraussetzungen optimieren

Ökobilanzen und Life Cycle Assessments (LCAs). Transparente Informationen sind die Voraussetzung für die Akzeptanz und für die Gewährung entsprechender Zuschüsse für innovative, kreislauffähige und möglicherweise teurere holzbasierte Produkte und Dienstleistungen. Ökobilanzen und Life Cycle Assessments (LCAs) können hierzu einen wichtigen Beitrag leisten, da sie einen Vergleich von Produkten, Herstellungsverfahren und Bauteilen im Hinblick auf verschiedene Nachhaltigkeitskriterien ermöglichen. Um diesen Zweck zu erfüllen, müssen LCAs praktikabel, vergleichbar und transparent sein. Sie sollten nicht nur den CO₂-Fußabdruck („Carbon Footprint“), sondern möglichst auch andere ökologische sowie soziale und ökonomische Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus des Produkts abbilden. Hierfür sind weitere Forschung und Standardisierung nötig.

Attraktivität für Kundinnen und Kunden. Eine erhöhte Nachfrage von Kundinnen und Kunden nach kreislauffähigen Produkten (Pull) kann ebenso zur Ressourceneffizienz beitragen wie ein entsprechendes Angebot seitens der Unternehmen (Push).

Die Bereitschaft der Marktteilnehmerinnen und Marktteilnehmer, hierfür gegebenenfalls auch mehr zu zahlen, dürfte steigen, wenn sie einen Mehrwert für die Umwelt, für soziale Belange oder einen funktionellen Zusatznutzen erkennen können. Aus diesem Grund sollten Unternehmen ihren Kundinnen und Kunden passgenaue, transparente Informationen zu Produkten und Dienstleistungen anbieten und gleichzeitig einen „Information Overload“ vermeiden. Umsetzungsoptionen dafür sind QR-Codes, Marketinginitiativen sowie (Recycling-)Siegel. Mehrwert kann zudem durch Einsparung oder Langlebigkeit von Produkten sowie durch Leasing- und Sharingmöglichkeiten geschaffen werden. Unternehmen sollten daher ihren Kundinnen und Kunden Rücknahme- und Ersatzteilangebote sowie Reparaturdienstleistungen unterbreiten beziehungsweise zusichern.

Vorbildfunktion der öffentlichen Hand und Fördervoraussetzung. Die öffentliche Hand sollte bei Auftragsvergaben ihre Vorbildfunktion deutlich stärker wahrnehmen. Ausschreibungen und Vergaben sollten materialneutral und funktional erfolgen und dabei Nachhaltigkeitskriterien hinsichtlich Klimaschutz und -neutralität beinhalten. Beispielsweise ist zu überlegen, ob die Anforderungen des staatlichen Gütesiegels „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG), wie es etwa für die Gewährung von bestimmten

Kredit der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bereits der Fall ist, auch bei öffentlichen Ausschreibungen für Neubauten verpflichtend werden könnten. Dieses Siegel enthält ökologische, soziokulturelle und ökonomische Kriterien für Gebäude. Seit dem Frühjahr 2022 wird für Neubauten nur noch dann ein staatlich vergünstigter Kredit gewährt, wenn diese eine QNG-Zertifizierung vorweisen können.

Ab dem Jahr 2023 plant die Bundesregierung ein neues Programm „Klimafreundliches Bauen“, um Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Lebenszyklus der Gebäude stärker zu berücksichtigen.

Es wäre anzuraten, die Gewährung von staatlichen Zuschüssen grundsätzlich an die Einhaltung von Klimaschutz- und wissenschaftlich basierten Nachhaltigkeitskriterien zu knüpfen, beispielsweise durch die Festlegung einer Obergrenze für THG-Emissionen je Quadratmeter Nutz- oder Wohnfläche bei Neubauten. Dies würde dem Holzbau aufgrund seiner CO₂-Speicherleistung zugutekommen.

Etablierung stofflicher, innovativer holzbasierter Anwendungen: Governance und (gesetzliche) Rahmenbedingungen kohärent weiterentwickeln

Kohärente Governance. Bei der Etablierung einer (holzbasierter) Bioökonomie können Interessenkonflikte und Problemverlagerungen in andere Teile der Welt (beispielsweise Veränderungen bei der Landnutzung, soziale Aspekte) entstehen. Die aktuellen Krisen und Entwicklungen haben zudem die Auswirkungen von unterbrochenen Lieferketten offengelegt. Eine kohärente Governance sowie eine ressortübergreifende nationale wie internationale Zusammenarbeit sind nötig, um auf Basis gemeinsamer Zielvorstellungen resiliente Strategien zu entwickeln. Um Nutzungskonkurrenzen abzubauen und daraus Prioritäten abzuleiten, ist eine Biomassestrategie für Deutschland unter Einbeziehung der Bundesländer und gesellschaftlicher Stakeholder zu erarbeiten. Gleiches ist auch für die EU-Ebene zu fordern. Um ein Level Playing Field zwischen energetischer und stofflicher Holznutzung herzustellen, ist ein erster Schritt, die bisher spezifischen Anreize für die energetische Holznutzung wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Marktanreizprogramme für erneuerbare Energien abzubauen – insbesondere im Wärmebereich ist hier schnelles Handeln geboten – und perspektivisch durch eine möglichst einheitliche CO₂-Bepreisung aller Sektoren zu ersetzen. Dabei ist entscheidend, dass der CO₂-Preis in eine ambitionierte Klimapolitik eingebettet ist.

Kongruente Gesetzgebung. Im Holzbaubereich sind die Richtlinien an den neuesten Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen. Dies gilt insbesondere für die Aufnahme der Holztafelbauweise im Mehrgeschossbau der Gebäudeklasse 5. Zudem besteht ein großer Normungsstau: Der Entwurf der novellierten Bauproduktenverordnung ist lediglich ein erster Schritt zu dessen Auflösung. Die Bedeutung europaweit harmonisierter Vorgaben zeigt sich beispielsweise beim Thema Volatile Organic Compounds (VOC). Ein Level Playing Field in Bezug auf technische Anforderungen ist Bedingung für eine europaweite holzbasierte Bioökonomie.

Künftigen Anforderungen und Gegebenheiten begegnen: Innovative Geschäftsmodelle generieren, Gesellschaft einbinden, Konsummuster hinterfragen, Aus- und Weiterbildung sowie Forschung anreizen

Generierung innovativer Geschäftsmodelle. Eine holzbasierte Bioökonomie und eine Kreislaufwirtschaft erfordern das Arbeiten und Denken in Wertschöpfungsnetzen, das heißt die Kooperation mit anderen Sektoren außerhalb der Holzwirtschaft. Digitalisierung kann dabei einen wichtigen Beitrag für den (Daten-) Austausch der beteiligten Akteure über Plattformen leisten. So unterstützt sie bei der Simulation, der Normung, der bedarfsgerechten, individualisierten Produktherstellung, -lieferung und -nachverfolgung sowie bei der Kommunikation mit Kundinnen und Kunden, Planerinnen und Planern sowie Behörden. Beispielhaft sind die Etablierung von sogenannten digitalen Produktpässen sowie das sogenannte Building Information Modeling (BIM) im Baubereich zu nennen.

Neue Geschäftsmodelle erfordern zudem Investitionen in Maschinen und Anlagen. Um die hierfür nötigen finanziellen Aufwendungen, vor allem auch für die oftmals mittelständisch geprägte deutsche Holzwirtschaft, zu reduzieren, können Kooperationen wie die gemeinsame Nutzung von Anlagen helfen. Auch sind Handwerk und kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bei Digitalisierung, Automatisierung und Wissensaustausch unbürokratisch zu unterstützen. Auf diese Weise könnte eine Art „industrialisiertes Handwerk“ entstehen, das über digitale Lösungen die unterschiedlichen Holzeigenschaften für Anwendungen in kleineren Stückzahlen nutzen kann. Ferner sind Start-ups über die Bereitstellung von Venture Capital zu fördern. Von einer Ansiedelung von Hightech- beziehungsweise IT-Unternehmen im ländlichen Raum würden Handwerk und KMU sowie die regionale Wertschöpfung vermutlich gleichermaßen profitieren.



Einbindung der Gesellschaft und Hinterfragen von Konsummustern. Hinsichtlich des Konzepts der Bioökonomie gibt es unterschiedliche Sichtweisen und Erwartungen: Für die einen kann Bioökonomie einen Beitrag zu Wohlstand und Arbeitsplatzsicherung leisten, andere sehen darin ein „Weiter so“ mit einem lediglich „grünen“ Wachstumsmodell. Um ein gemeinsames Verständnis zu erreichen und Zielkonflikte in einem breiteren gesellschaftlichen Kontext zu diskutieren, sind Bürgerdialoge zur Bioökonomie unter Einbeziehung des Bioökonomierats fortzuführen. Dabei sollten auch Konsummuster hinterfragt werden sowie Verhaltensänderungen eine Rolle spielen. Ein bewusster und geringerer Konsum (Reduce, Repair, Re-Use, Recycle) trägt den planetaren ökologischen Grenzen Rechnung, leistet einen Beitrag zur Ressourcenschonung und ist wichtiger Baustein einer Kreislaufwirtschaft.

Austausch zwischen Regionen. Die Betrachtung der ausgewählten Modellregionen Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen sowie Sachsen-Anhalt verdeutlicht, dass Bundesländer auf den Erfahrungen anderer aufbauen können. Dies gilt beispielsweise im Hinblick auf das Marketing von Holzprodukten, für Holzbauinitiativen oder die Entwicklung von Strategien. Das bedeutet, dass Maßnahmen spezifisch auf regionale Gegebenheiten und Stärken anzupassen sind. So erklärt sich beispielsweise, warum Bioraffineriekonzepte im stark von der Chemie geprägten Mitteldeutschland realisiert werden. Aber auch auf internationaler Ebene und im kulturellen Austausch kann man voneinander lernen, beispielsweise von Skandinavien, Österreich, der Schweiz, Nordamerika oder Asien, wo der Holzbau bereits stärker verbreitet ist.

Aus- und Weiterbildung sowie Forschung, Wissensvermittlung und Fachkräftesicherung. Es wäre dringend erforderlich, die Wissensvermittlung an Schulen, insbesondere auch in Bezug auf Holznutzung und -verwendung auszubauen. Die Fort- und Weiterbildung zum Beispiel für Architektinnen, Bauingenieure und im Handwerk, vor allem im Holzbau, ist zu intensivieren und dabei ist auf Erfahrungen aus anderen Regionen zurückzugreifen. Ebenso wäre es zielführend, die universitäre und außeruniversitäre Ausbildung sowie die Lehre interdisziplinär anzugehen, ohne dabei auf eine gewisse Spezialisierung zu verzichten. Dabei ist die Förderung von Digitalkompetenz und Kreativität als fester Bestandteil der Ausbildung unverzichtbar. Angesichts der Diskussion im Hinblick auf Souveränität und Suffizienz sollten Forschungsprojekte zu möglichen Verhaltensänderungen und Konsummustern gestartet werden. Dabei ist Suffizienz nicht zwingend gleichzusetzen mit Verzicht, sondern mit der Ermöglichung von Optionen.

Dem sich verschärfenden Fachkräftemangel in der Forst- und Holzindustrie – unter anderem aufgrund der demografischen Entwicklung und Abwanderung von Ausbildungsabsolventinnen und Ausbildungsabsolventen der Holzverarbeitung in besser bezahlte Branchen – ist mit angemessener Bezahlung sowie im Hinblick auf eine Fachkräftezuwanderung mit unbürokratischen Anerkennungsverfahren zu begegnen. Vonseiten der Unternehmen und Verbände gilt es, mit zielgruppenspezifischen Imagekampagnen und attraktiven Angeboten um Fachkräfte zu werben.

Projekt

Projektleitung

- Prof. Dr.-Ing. André Wagenführ, Technische Universität Dresden

Projektgruppe

- Dr. Michael Duetsch, UPM Biochemicals Business
- Prof. Dr. Peter Fratzl, Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung (MPIKG)
- Prof. Dr. Edeltraud Günther, UNU-FLORES
- Prof. Dr. Frank Miletzky, Papiertechnische Stiftung (PTS)
- Dr. Denny Ohnesorge, Hauptverband der Deutschen Holzindustrie und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Industrie- und Wirtschaftszweige e.V.
- Prof. Dr. Klaus Richter, Technische Universität München
- Wolfgang Schäfer, Verband Holzbau Baden-Württemberg
- Dr. Dirk Scheer, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
- Dr. Jörg Schweinle, Thünen-Institut für Waldwirtschaft
- Prof. Dr. Ute Seeling, Berner Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL)
- Dr. Andreas Steffen, Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH
- Anemon Strohmeier, Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI)
- Prof. i. R. Dr. Alfred Teischinger, Universität für Bodenkultur (BOKU), Tulln
- Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)/Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ)
- Prof. Dr.-Ing. Matthias Zscheile, Bioeconomy Cluster Management GmbH (BCM)/Technische Hochschule Rosenheim

Die unten genannten Expertinnen und Experten diskutierten in Workshops beziehungsweise virtuellen Projektgruppensitzungen.

Expertinnen und Experten

- Dr.-Ing. Tiemo Arndt, Reflex GmbH & Co. KG
- Dr. Jürgen Bauer, Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern gGmbH

- Prof. Dr. Michael Böcher, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Dr. Andrea Borgards, Lenzing Group
- Markus Büscher, Delignit AG
- Dr. Thomas Decker, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf/Technische Universität München
- Prof. Dr.-Ing. Christina Dornack, Technische Universität Dresden
- Dr. Dirk-Roger Eisenhauer, Sachsenforst, Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft
- Horst Fehrenbach, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu gGmbH)
- Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme, FH Münster
- Raimund Friderichs, Unternehmensgruppe Fürst von Hohenzollern
- Dr. Karl-Heinz Frieden, Gemeinde- und Städtebund Rheinland-Pfalz
- Ursula Geismann, Furnier + Nature e.V.
- Sven Grasselt-Gille, Technische Universität Dresden
- Alexander Gump, Gump & Maier GmbH
- Prof. Dr.-Ing. Annette Hafner, Ruhr-Universität Bochum
- Prof. Dr.-Ing. Marek Hauptmann, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)/Steinbeis-Hochschule
- Dr. Hartmut Henneken, Jowat SE
- Prof. Dr. Ralf Kindervater, BIOPRO Baden-Württemberg
- Dr. Axel Knörr, Pfeleiderer Deutschland GmbH
- Caroline Kraas, World Wide Fund for Nature (WWF)
- Prof. Dr. Andrea Kruse, Universität Hohenheim
- Dr. Tim Kunkowski, Technische Universität München
- Markus Lager, Lagerschwertfeger GmbH
- Dr. Jan Lüdtke, Thünen-Institut für Holzforschung
- Oliver Lühr, Prognos AG
- Prof. Dr. Udo Mantau, INFRO e. K.
- Yves Mattern, Lignoa Leichtbau GmbH
- Dr. Frank Meister, Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoffforschung (TITK)
- Prof. Dr. (Univ. Florenz) Elisabeth Merk, Referat für Stadtplanung und Bauordnung, Landeshauptstadt München
- Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer, Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ)
- Dr. Steffi Ober, NABU Bundesverband
- Dr. Asta Partanen, nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH
- Ralf Pollmeier, Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG
- Dr.-Ing. Wienke Reynolds, Lignopure GmbH
- Patrik Rodlberger, Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH
- Prof. Dr. Markus Rüggeberg, Technische Universität Dresden



- Christoph Rullmann, Schutzgemeinschaft Deutscher Wald Bundesverband e.V.
- Prof. Dr. Bodo Saake, Universität Hamburg
- Dr. Joachim H. Spangenberg, Wissenschaftlicher Beirat des BUND
- Prof. Dr. Hermann Spellmann, Universität Göttingen
- Michael Stiehl, Rauch GmbH & Co. KG
- Dr. Gerd Unkelbach, UPM Biochemicals GmbH
- Dr. Markus Wildberger, Koehler Innovation & Technology GmbH

Externe Gutachterinnen und Gutachter

- Prof. Dr. Manfred Hennecke, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- Prof. Dr. Stefanie Heiden, Leibniz Universität Hannover
- Prof. Dr. Johannes Konnerth, Universität für Bodenkultur (BOKU), Tulln

Projektkoordination und -team

- Dr. Christine Metz-Schmid, acatech Geschäftsstelle (Projektkoordination)
- Dr. Elisa Wagner, acatech Geschäftsstelle
- Dr.-Ing. Trung Cong Nguyen, Technische Universität Dresden
- Lydia Hofmann, Technische Universität Dresden
- Sören Tech, Technische Universität Dresden

Projektlaufzeit:

01.06.2020–30.11.2022

Diese acatech POSITION wurde im September 2022 durch das acatech Präsidium syndiziert.

Förderung:

Das Verbundprojekt von acatech (Förderkennzeichen: 2220HV005A) und der Technischen Universität Dresden (Förderkennzeichen: 2220HV005B) wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert.

Unteraufträge:

Papiertechnische Stiftung (PTS): „Holzbasierte Bioökonomie – Schwerpunkt Papier- und Zellstoffindustrie“

BioEconomy e.V.: „Holz – Rohstoff für eine innovative Bioökonomie – Schwerpunkt holzbasierte Bioraffinerien“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



1 Ziele und Relevanz einer holzbasierten Bioökonomie

Das Konzept der Bioökonomie hat Ende der Neunzigerjahre des vergangenen Jahrhunderts Eingang in die nationale und internationale Politik¹ gefunden, so auch in Deutschland.^{2,3} In der Nationalen Bioökonomiestrategie der Bundesregierung wird der Begriff wie folgt definiert: „Die Bioökonomie hat das Ziel, Ökonomie und Ökologie für nachhaltiges Wirtschaften zu verbinden. In der Definition der Bundesregierung umfasst die Bioökonomie die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukünftigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. Bioökonomische Innovationen vereinen biologisches Wissen mit technologischen Lösungen und nutzen die natürlichen Eigenschaften biogener Stoffe hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit, Erneuerbarkeit und Anpassungsfähigkeit.“⁴ Es werden Rohstoffe aus Land-, Forst- und Meereswirtschaft, der Fischerei und Aquakultur oder der mikrobiellen Produktion sowie biogene Rest- und Abfallstoffe verwendet, aber auch das Wissen um biologische Prozesse und Systeme für technologische Lösungen herangezogen.⁵

Die holzbasierte Bioökonomie ist ein wesentlicher Teilbereich der Bioökonomie und umfasst die stoffliche und energetische Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs Holz ebenso wie das Wissen um dessen natürliche Strukturen und deren mögliche Übertragung auf technische Systeme und Prozesse. Die Forstwirtschaft ist neben der Landwirtschaft weltweit der wichtigste Produzent pflanzlicher, terrestrischer Rohstoffe. Holz ist die mit Abstand

größte landgebundene Biomassequelle zur stofflichen Nutzung für viele Produkte außerhalb des Lebensmittel- und Futtermittelbereichs.^{6,7}

Dazu gehören neben Frischholz auch Reststoffe, Nebenprodukte und Gebrauchtholz.⁸ Oftmals wird die Forst- und Holzwirtschaft per se der Bioökonomie zugeordnet.⁹

Eine holzbasierte Bioökonomie kann dann die nachhaltige Transformation der Wirtschaft unterstützen, wenn sie

- zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele beiträgt,
- ökologische Grenzen erkennt und ihre Ressourcenbasis nachhaltig ausrichtet,
- zu Wertschöpfung führt, den Innovationsstandort stärkt und Arbeitsplätze schafft.

Dazu bedarf es insbesondere auch der gesellschaftlichen Akzeptanz für eine nachhaltige Nutzung des Rohstoffs Holz.

Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele: Eine holzbasierte Bioökonomie kann Lösungen für die Nachhaltigkeitsagenda,¹⁰ die sogenannten Sustainable Development Goals (SDGs), der Vereinten Nationen¹¹ entwickeln. Sie kann einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz, zum nachhaltigen Umgang mit Wald, Böden, Biodiversität, für nachhaltige Städte – beispielsweise durch Bauen mit Holz –, aber auch für eine saubere Energieversorgung sowie einen verantwortlichen Verbrauch beziehungsweise eine verantwortliche Produktion leisten.

Erkennen der ökologischen Grenzen und nachhaltige Ausrichtung der Ressourcenbasis: Die Holznutzung erlebt eine Renaissance – ihr sind jedoch (natürliche) Grenzen gesetzt. Falls Bioökonomiekonzepte zu einer steigenden Nachfrage nach holzbasierten Produkten führen, stellt sich verstärkt die Frage der

1 | Vgl. Teitelbaum et al. 2020.

2 | Vgl. BMBF/BMEL 2020.

3 | Vgl. Bioökonomierat 2022.

4 | BMBF/BMEL 2020, S. 4.

5 | Vgl. ebd.

6 | Vgl. Teischinger 2016.

7 | Vgl. Jering et al. 2013.

8 | Vgl. Gawel et al. 2016.

9 | Hafner et al. (2021) schlagen vor, Akteure und Wertschöpfungsketten dann einer holzbasierten Bioökonomie zuzurechnen, wenn sie die Kombination aus insbesondere den Kriterien Nachhaltigkeit, Innovation und Mehrwertprodukten erfüllen.

10 | In seinem Werk *Sylvicultura oeconomica* schrieb der Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz bereits im Jahr 1713 unter anderem von der „continuirlichen, beständigen und nachhaltenden Nutzung“ der Wälder und prägte so den Nachhaltigkeitsbegriff (Vgl. Grober 2013; Vgl. Carlowitz 1713).

11 | Vgl. UN 2015.



Rohstoffbereitstellung – auch hinsichtlich Auswirkungen auf Biodiversität sowie Ressourcen- und Flächenkonkurrenz: Wenn die Holznachfrage aufgrund einer wachsenden Weltbevölkerung sowie ergriffener Klimaschutzmaßnahmen steigt und sich das Angebot beziehungsweise die Verfügbarkeit durch Klimafolgen und Katastrophen reduziert, spielt eine nachhaltige und effiziente Bereitstellung und Nutzung von Holz eine wichtige Rolle. Eine zukunftsweisende holzbasierte Bioökonomie setzt auf qualitatives Wachstum, das den Rohstoffverbrauch vom Wirtschaftswachstum entkoppelt. Holzbasierte Produkte sollten daher nicht nur eine reine Eins-zu-eins-Substitution von mit fossilen Rohstoffen beziehungsweise mit fossiler Energie erzeugten Produkten darstellen, sondern vielmehr Produkte mit (qualitativem) Mehrwert schaffen (siehe Kapitel 3.4). Ressourceneffizienz, Kaskadennutzung¹² sowie das Schließen von Kreisläufen sind wichtige Voraussetzungen, die es für den gesamten Lebenszyklus eines Produkts – von der Rohstoffbereitstellung über die Nutzung bis hin zum Recycling – zu beachten gilt. Eine holzbasierte Bioökonomie ist somit ein wichtiger Partner beziehungsweise Baustein einer Kreislaufwirtschaft, die zum Ziel hat, möglichst alle Stoffe wiederzuverwenden beziehungsweise im Kreislauf zu führen.

Beitrag zur Wertschöpfung, Stärkung des Innovationsstandorts, Schaffung von Arbeitsplätzen: Innovationspotenziale ergeben sich aufgrund der spezifischen Eigenschaften von Holz, der Einbeziehung neuer Technologien sowie organisatorischer Innovationen. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil relevante Innovationskennzahlen des Clusters „Forst und Holz“ unter dem Mittelwert des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland liegen.¹³

- Holz besitzt dank seiner Strukturen und Bestandteile intrinsisch spezifische Eigenschaften, die es unmittelbar verwendbar und wertvoll machen. Somit sind bereits im Ausgangsstoff funktionale Eigenschaften vorhanden.
- Eine Kaskadennutzung sowie die Holznutzung in anderen Sektoren bergen große Chancen: In Deutschland stammt

bereits heute der Rohstoff jeweils zur Hälfte aus dem Wald sowie aus Reststoffen und Sekundärrohstoffen,¹⁴ das heißt, die Sekundärintputrate liegt bei über 50 Prozent. Dabei wird Holz (Stamm- und Kronenholz sowie Rinde) idealerweise ganz und kaskadenförmig genutzt,¹⁵ und es werden möglichst auch die Rest- oder Koppelprodukte wiederverwendet.

- Neue Technologieansätze in der Mikroelektronik, Nanotechnologie, Material- und Verfahrenstechnik sowie Künstliche Intelligenz (KI) und Digitalisierung können bei Prozessen, Produkten und Dienstleistungen innerhalb der Holzertschöpfungskette, aber auch in Wertschöpfungsnetzen mit anderen Wirtschaftssektoren unterstützen. Hinzu kommen Technologien, die der Modifizierung, Funktionalisierung und Hybridisierung des Rohstoffs dienen.
- (Organisatorische, regulatorische) Innovationen können unkonventionelle, neuartige Holzprodukte und Dienstleistungen hervorbringen, aber auch klassische Holzprodukte und Prozesse nachhaltiger und wettbewerbsfähiger machen.

Deutschland hat gute Voraussetzungen, um dieses Innovationspotenzial zu erschließen. Zum einen zählt es zu den walddreichen Gebieten Europas – ein Drittel der Landesfläche ist mit Wald bedeckt. Hinzu kommt, dass Holzprodukte nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion („Teller oder Tank“-Diskussion) stehen und langlebige Holzprodukte, beispielsweise im Baubereich, einen zusätzlichen CO₂-Speicher darstellen.¹⁶ Zum anderen verfügt Deutschland über eine gute Forschungslandschaft in für die holzbasierte Bioökonomie relevanten Fachbereichen wie beispielsweise Holzwissenschaften und Holztechnologien sowie über mittlerweile eigene Bioökonomielehrstühle.

Auch hat die stoffliche und energetische Holznutzung hierzulande eine jahrhundertlange Tradition. In den Kernindustrien des Clusters „Forst und Holz“ nimmt Deutschland in Europa eine führende Rolle ein. Dies gilt vor allem für die Holzwerkstoff- und Möbelindustrie sowie den Maschinen- und Anlagenbau. Ausgehend von der klassischen Forst- und Holzwirtschaft können innovative

12 | Bei einer Kaskadennutzung wird der Rohstoff beziehungsweise das daraus hergestellte Produkt in zeitlich aufeinanderfolgenden Schritten so lange, so häufig und so effizient wie möglich stofflich verwendet und erst am Ende des Lebenszyklus energetisch verwertet.

13 | Auch wenn die jährliche Innovationserhebung des Leibniz-Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) nicht alle Branchen des Clusters „Forst und Holz“ umfasst – Forstwirtschaft, Baugewerbe und Holzhandel bleiben außen vor –, so ist eine Tendenz erkennbar: Zwar ist die Innovationsintensität, das heißt der Anteil der Innovationsausgaben am Umsatz in Prozent, von 2017 auf 2019 wieder steigend, sie liegt aber dennoch deutlich unter dem Wert der verarbeitenden Branche in Deutschland. Der Umsatzanteil von Marktneuheiten am gesamten Branchenumsatz ging dagegen im selben Zeitraum zurück (Vgl. FNR 2022a).

14 | Vgl. Bringezu et al. 2020.

15 | Vgl. Miletzky et al. 2020.

16 | Vgl. BMEL 2021e.

Anwendungen in anderen Sektoren erschlossen werden. Dies kann zu höherer Wertschöpfung führen, Arbeitsplätze schaffen und Chancen für die regionale Wirtschaft, insbesondere auch im ländlichen Raum, eröffnen.¹⁷ Eine nachhaltige Holzrohstoffbasis und lokale Verarbeitungsbetriebe können zu einer resilienteren Wirtschaft, auch im Hinblick auf zuverlässige Lieferketten, beitragen.

Neben ökonomischen und ökologischen Fragen sind auch gesellschaftspolitische Aspekte wie Akzeptanz, Bezahlbarkeit sowie Verteilungsgerechtigkeit relevant. Eine holzbasierte Bioökonomie erfordert somit einen sektorübergreifenden Ansatz, das heißt eine systemische Betrachtungsweise.¹⁸

Ziele, Fokus und Vorgehen

Ziel dieser acatech POSITION ist es, ausgehend vom Status quo und den in Kapitel 2 beschriebenen Herausforderungen der holzbasierten Bioökonomie Innovationen sowie Treiber und Hemmnisse für eine erfolgreiche Praxiseinführung der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland darzustellen (siehe Kapitel 3). Daraus werden in Kapitel 4 gesellschaftliche und politische Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Der Fokus dieser acatech POSITION liegt auf der Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs und nicht auf dem weiteren wichtigen Aspekt von Bioökonomie, das Wissen über natürliche Strukturen und Prozesse auf technische Systeme zu übertragen. Dieses Thema wird in Kapitel 3.1 nur kurz angesprochen. Auch auf die energetische Verwendung von Holz wird nur am Rande eingegangen, da diese erst am Ende einer Kaskade stehen sollte. Daher werden primär innovative Technologien, Produkte und Dienstleistungen auf Basis einer stofflichen Holznutzung betrachtet. Neben der klassischen Holzverwendung werden auch andere Sektoren wie der Chemie-, der Transport- oder der Verpackungsbereich erwähnt. Zudem werden Beispiele aus Baden-Württemberg, Bayern sowie Sachsen und Sachsen-Anhalt

vorge stellt. Diese Modellregionen¹⁹ wurden ausgewählt, da dort die Forst- und Holzwirtschaft eine wichtige Rolle spielt, die südlichen Länder im Bundesvergleich eine hohe Holzbauquote aufweisen und die ostdeutschen Länder Teil des Bioökonomiestandorts Mitteldeutschland sind, hervorgegangen aus dem Spitzencluster „BioEconomy“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit einem Fokus auf der regionalen Holzindustrie.

In dieser POSITION wird Innovation als Prozess verstanden, der die Generierung von Neuerungen und deren wirtschaftliche Verbreitung, das heißt Marktreife und erfolgreiche Anwendung sowie Marktdurchdringung von Produkten, Verfahren und Dienstleistungen, zum Ziel hat. Die Erneuerungen können technischer, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und organisatorischer Natur sein.²⁰

Bioökonomie wird als Treiber und Wegbereiter einer Vielzahl von Innovationen angesehen – nicht nur im Hinblick auf Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen, sondern auch als Resultat eines gesellschaftlichen Wandels. Bioökonomie ist somit im System aufzustellen, um dadurch das Wechselwirken unterschiedlicher Akteursgruppen einzubeziehen – Bioökonomie als „Systeminnovation“.²¹ Denn nicht zuletzt wird auch die Akzeptanz der Gesellschaft für eine erfolgreiche Umsetzung benötigt.

Die Ergebnisse und Empfehlungen beruhen auf der Auswertung von Veröffentlichungen, Studien und Stellungnahmen sowie zwei Unteraufträgen zu speziellen Themen. Den Schwerpunkt der Erarbeitung bildete der Austausch innerhalb der Projektgruppe. In vier moderierten Workshops und in virtuellen Projektgruppensitzungen diskutierten zudem weitere Expertinnen und Experten – Gäste aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verbänden und Nichtregierungsorganisationen (NGOs) – mit den Projektgruppenmitgliedern über mögliche Treiber und Hemmnisse für Innovationen entlang der Holzwertschöpfungskette.

17 | Vgl. Weber-Blaschke 2019.

18 | Vgl. Thrän/Moesenfechtel 2020.

19 | Die diese Bundesländer betreffenden Informationen und Beispiele werden in der vorliegenden POSITION durchgehend in blau unterlegten Kästen dargestellt.

20 | Innovation ist nicht gleichzusetzen mit der Entdeckung, der sogenannten Invention: Diese ist eine Vorstufe der Innovation. Innovation ist nicht zeitpunktbezogen, sondern ein Prozess, der auch zeitliche Lücken bis zur Umsetzung neuer Ideen aufweisen kann, an dessen Ende jedoch eine Umsetzung beziehungsweise ein Nutzen steht. Der Status einer Innovation in diesem Prozess wird mithilfe der Skala der Technologiereife (TLR) bewertet. Die OECD unterteilt Innovationen in vier Kategorien: Produkt-, Prozess-, Markt- und Organisationsinnovationen.

21 | Heiden 2020, S. 280.



2 Status quo und Herausforderungen einer holzbasierten Bioökonomie

Im Folgenden werden der Status quo der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland und die damit verbundenen Herausforderungen beschrieben. Ausgehend von der Holznutzung und der Wertschöpfungskette werden der sozioökonomische Beitrag sowie die Rohstoffbereitstellung des Sektors dargestellt. Das Kapitel schließt mit den ökologischen Leistungen des Waldes, dem gesellschaftlichen Diskurs im Spannungsfeld zwischen Schützen und Nutzen sowie relevanten politischen Regelungen.

2.1 Wertschöpfungskette und Rohstoffbilanzen

Die holzbasierte Wertschöpfungskette

Ziel einer nachhaltigen holzbasierten Wertschöpfungskette ist die Nutzung möglichst des gesamten Baumes. Diese durchläuft verschiedene Arbeitsstufen (siehe Abbildung 1): Der Holzrohstoff – Laub- beziehungsweise Nadelholz – wird von den jeweiligen Abnehmern der Holzwirtschaft zu Halbwaren (beispielsweise Vollholz, Furnier, Lagenholz, Span- und Holzfaserwerkstoffe sowie Holz- und Zellstoff) verarbeitet, aus denen wiederum Produkte beziehungsweise Fertigwaren hergestellt werden. So werden aus Vollholz beziehungsweise Hackschnitzeln Bretter, Leisten, Stäbe oder Span- beziehungsweise Holzfaserplatten produziert, aus denen dann Bauprodukte, Möbel oder zum Beispiel Verpackungspaletten entstehen. Unbehandelte Vollholzprodukte können wiederum eine weitere Verwendung (Kaskadennutzung) erfahren. Hinzu kommt die energetische Nutzung von Holz.

Hauptabnehmer für Holzrohstoffe sind die Sägeindustrie, die Holzwerkstoffindustrie sowie die Holz- und Zellstoffindustrie.

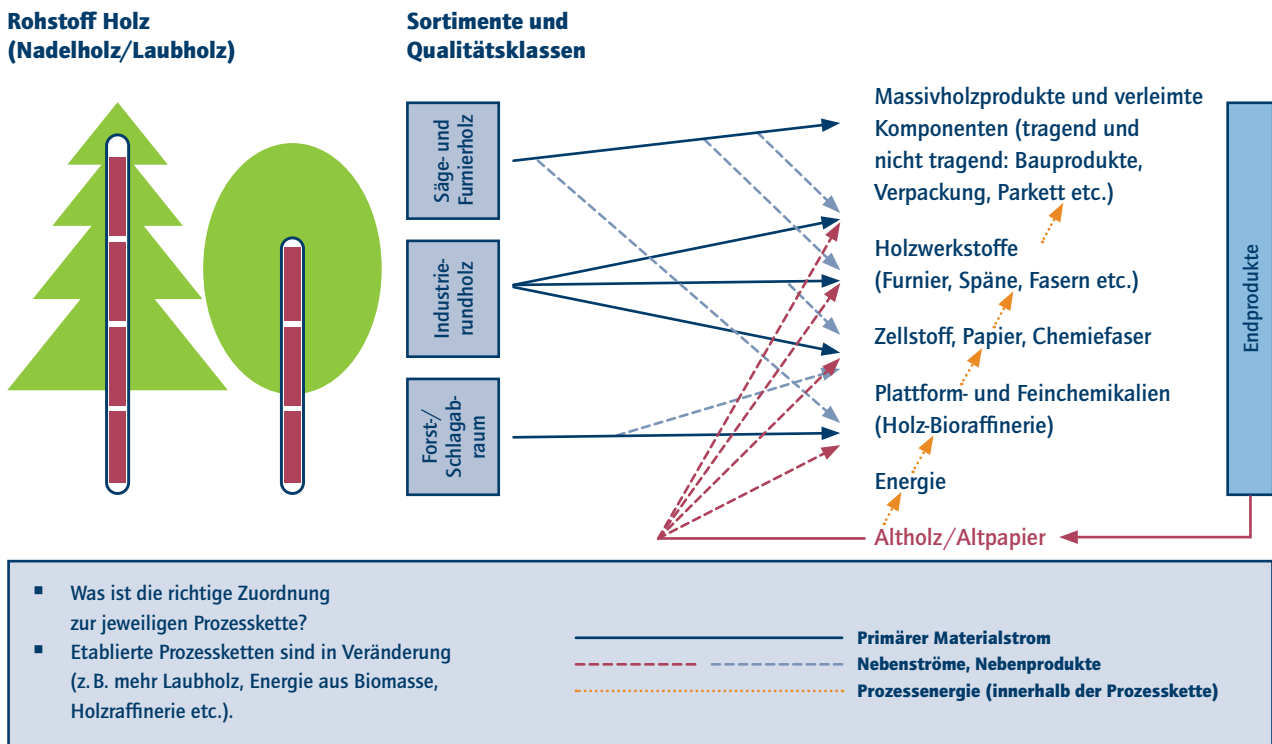


Abbildung 1: Die Prozesskette Forst-Holz-Papier/Chemie (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Teischinger 2014)

Sägeindustrie

In Sägewerken wird in der ersten Verarbeitungsstufe aus Stammholz Schnittholz hergestellt. Dieses wird unter anderem im Baubereich oder in der Möbelindustrie genutzt. Anfallende Sägenebenprodukte beziehungsweise Koppelprodukte wie Rinde, Sägespäne oder Hackgut gehen in weitere Stufen der Prozesskette und in die energetische Nutzung.

Holzwerkstoffindustrie

In der Holzwerkstoffindustrie werden zu unterschiedlichen Anteilen Industrierundholz aus dem Forst (Nadel- und Laubholz) sowie Koppelprodukte aus der Sägeindustrie (Hackgut, Sägespäne, Schwarten, Spreiße) und geeignete Gebrauchtholzsortimente stofflich verarbeitet. Übergeordnete Gruppen von Holzwerkstoffen stellen Furnier, Span-, Faser- sowie Sperrholz und Verbundwerkstoffe dar. Das Einsatzspektrum der Holzwerkstoffe ist vielseitig und reicht vom Holzbau über den Möbel- und Innenausbau sowie Verpackungen bis hin zum Transportbereich mit Schienenfahrzeug-, Schiffs- und Nutzfahrzeugbau.

Im Bereich der Herstellung von Spanplatten und OSB (Oriented Structural Board, Grobspanplatte), aber auch bei MDF (mitteldichte Holzfaserplatten) sowie Holzfaserdämmplatten ist Deutschland europaweit führend: Im Jahr 2021 wurden hierzulande 6 Millionen Kubikmeter Spanplatten, 4,3 Millionen Kubikmeter Faserplatten (davon 1 Million Kubikmeter MDF) sowie fast 1,3 Millionen Kubikmeter OSB produziert.²² Dabei ist die stoffliche Nutzung von Hackschnitzeln aus Altholz in der Spanplattenproduktion fest etabliert. Dies ist derzeit die relevanteste stoffliche Verwendung von Altholz, der Rest des Altholzes geht in die energetische Verwertung (siehe Kasten am Ende von Kapitel 2.1). So ist der aufbereitete Altholzanteil in der Spanplattenproduktion seit 2016²³ auf etwa 36 Prozent oder 2,5 Millionen Festmeter im Jahr 2020 gestiegen.²⁴

Zellstoff- und Papierindustrie

Die Zellstoff- und Holzstoffindustrie verarbeitet Industrierundholz aus dem Forst sowie das Koppelprodukt Sägehackgut (ohne

Rinde). Meist wird Nadelholz verwendet, es kann jedoch auch Laub- und Mischholz zum Einsatz kommen.

Die Papier-, Pappe- und Kartonherstellung basiert wiederum auf den verschiedenen Arten von Papierzellstoff, Holzstoffen und aufbereiteter Recyclingfaser aus Altpapier. Im Jahr 2021 ist die Produktion von Papier, Pappe und Karton in Deutschland auf über 23 Millionen Tonnen gestiegen – etwa 22 Prozent (5,2 Millionen Tonnen) stammten aus Faserstoffen inklusive Faserholz.²⁵ Der Großteil, 18,3 Millionen Tonnen, wurde aus dem Sekundärrohstoff Altpapier gewonnen.²⁶ Altpapier deckt somit zu 79 Prozent (Stand: 2020) den Ressourceneinsatz bei der Papierherstellung ab. Die deutsche Papierindustrie nimmt damit international eine Spitzenposition ein.²⁷

Fertigwaren (Bau-, Möbel- und Verpackungsbereich)

Das Holzhandwerk – beispielsweise Tischlereien, Zimmereibetriebe, Möbel- und Holzbauunternehmen – sowie die Industrie für Holzbauelemente, die Parkettindustrie und die Verpackungsindustrie verarbeiten Halbwaren zu Fertigwaren beziehungsweise Endprodukten. Diese finden sich häufig im Bau- sowie im Möbel-, Papier- und Verpackungssektor.

Insbesondere der Einsatz von Holz im Baubereich leistet nicht nur im Hinblick auf den Klimaschutz, sondern auch in Bezug auf Ressourceneffizienz einen wichtigen Beitrag (siehe Kapitel 3.2). Neben Vollholz und Spanplatten kommen hier auch sogenannte Wood Polymer Composites (WPC) als Verbundwerkstoffe zum Einsatz. Zudem gewinnen (Holz-)Verpackungen aufgrund der deutschen Exportwirtschaft sowie der Zunahme von Lieferdiensten und Onlinehandel an Bedeutung, wie sich zuletzt in der COVID-19-Pandemie gezeigt hat. So erreichte die Produktion von neuen genormten Europaletten – sogenannten EPAL-Paletten (nach European Pallet Association e.V.) – im Jahr 2021 mit über 100 Millionen Stück trotz hoher Holzpreise ein Rekordniveau. EPAL ist nach eigenen Angaben der größte offene Paletten-Tauschpool weltweit. Die Nachfrage nach Paletten spiegelt die wirtschaftliche Entwicklung wider und ist von Nachfrage, Rohstoffverfügbarkeit von Holz, aber auch von Logistik und

22 | Vgl. Lückge 2022.

23 | Im Jahr 2016 betrug der Altholzanteil in der Spanplattenproduktion 27 Prozent oder 1,5 Millionen Tonnen (Vgl. Flamme et al. 2020).

24 | Vgl. Döring et al. 2021.

25 | Bei den Holzfasern wiederum stammten im Jahr 2016 etwa 60 Prozent aus Rundholz und etwa 40 Prozent aus Sägenebenprodukten (Vgl. Mantau et al. 2018).

26 | Vgl. Die Papierindustrie e.V. 2021b.

27 | Vgl. Die Papierindustrie e.V. 2021a.



Lieferketten abhängig, wenn etwa unterbrochene Lieferketten zu einer Verknappung auch durch verstärkte Lagerhaltung von Paletten führen.²⁸

Holzrohstoffbilanzen: Aufkommen und Verwendung

Eine Rohstoffbilanz setzt sich aus Aufkommen und Verwendung zusammen. Eine gesamte Holzrohstoffbilanz für das Jahr 2016 haben Mantau et al. im Jahr 2018 im Rahmen des Forschungsvorhabens „Rohstoffmonitoring Holz“,²⁹ gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), veröffentlicht. Die Verfasser stellen klar, dass eine Holzrohstoffbilanz deutlich über die Einzelbilanzen für beispielsweise Derbholz oder Altholz hinausgeht, da dadurch auch eine Mehrfach- beziehungsweise Kaskadennutzung abgebildet werden kann:

„Die Erhebungen zur Holzrohstoffbilanz bilden systematisch alle Rohstoffströme ab. Sie erfassen sowohl das Aufkommen als auch die Verwendung von Holz, inklusive der mehrfachen Nutzung von Rest- und Recyclinghölzern (Kaskadennutzung). Hieraus ergeben sich Doppelungen der Mengenerfassung, die für die Abbildung einer konsistenten Prozessbilanz notwendig sind bzw. diese erst ermöglichen. Die Prozessbilanz bildet somit die Nutzung aller Holzrohstoffe ab und überschreitet daher deutlich den Einschlag im Wald. Einzelbilanzen, beispielsweise für Waldholz oder Altholz, weisen dagegen ausschließlich die spezifische Verwendung eines Rohstoffs aus, ohne seine Wiederverwendung in anderen Bereichen.“^{30, 31}

Da die Kaskadennutzung für die holzbasierte Bioökonomie eine wichtige Rolle spielt, wird im Folgenden diese Gesamtbilanz

inklusive Rest- und Recyclingholz dargestellt und anschließend die Einzelbilanz zu Derbholz³² betrachtet.

Holzaufkommen

Das gesamte Holzrohstoffaufkommen setzt sich im Wesentlichen aus dem Wald entnommenem, sogenanntem Derbholz, Waldrestholz, den Sekundärrohstoffen (Altholz, Reststoffe) sowie dem Import-/Exportsaldo zusammen. Laut Mantau betrug das Holzaufkommen in Deutschland im Jahr 2016 rund 127 Millionen Kubikmeter (siehe Abbildung 2). Dabei stammten 83,7 Millionen Kubikmeter oder 66 Prozent der Holznutzung aus primärer Produktion verholzter Pflanzen, hiervon wiederum 80 Prozent aus Derbholz (66,7 Millionen Kubikmeter), während der Rest aus Waldrestholz, Landschaftspflegematerial etc. gewonnen wurde. Beim gesamten Holzaufkommen handelte es sich in 30 Prozent der Fälle um Rest- und Recyclinghölzer.³³ Rechnet man das Altpapieraufkommen mit ein, so ergibt sich für die Holzwirtschaft insgesamt eine Sekundärintputrate von 51 Prozent (53,5 Prozent für stoffliche, 45,7 Prozent für energetische Nutzung).³⁴

Holzverwendung

Bei der Holzrohstoffbilanz 2016 liegt die stoffliche und energetische Verwendung mit je 50 Prozent in etwa gleichauf (siehe Abbildung 3; zur energetischen Nutzung siehe Kasten). Zwischen 1990 und 2016 verdoppelte sich die Holzrohstoffnutzung nahezu. In diesem Zeitraum nahm die stoffliche ebenso wie die energetische Verwendung deutlich zu.³⁵ Die Sägeindustrie ist mit 28,5 Prozent der größte Abnehmer der Holzrohstoffe (siehe Abbildung 3).

Im Jahr 2016 wurden dem Wald 62,5 Millionen Kubikmeter Derbholz entnommen.³⁶ Genutzt wurden jedoch 127 Millionen

28 | Vgl. EPAL 2022.

29 | Es wird auf ein Update des Rohstoffmonitorings mit neueren Zahlen verwiesen. Die entsprechende Veröffentlichung lag zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses dieser Studie noch nicht vor.

30 | „Der jährliche Holzeinschlag in der Bundesrepublik Deutschland ist die zentrale Größe zur Nutzung der Ressource Holz und damit eine wesentliche Kennzahl für die Beurteilung von Nachhaltigkeit und für die Abschätzung ungenutzter Rohholzpotenziale. Zusätzlich dient die Größe der Ermittlung der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz“ (Thünen-Institut 2020). Nach Jochem et al. umfasst der Holzeinschlag sowohl das genutzte Derbholz als auch das im Wald verbleibende ungenutzte Derbholz (Vgl. Jochem et al. 2020).

31 | FNR 2018b, S. 3.

32 | Derbholz: Oberirdisches Holzvolumen mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD in 1,3 Metern Höhe) ≥ 7 Zentimeter inklusive Rinde. Nichtderbholz (Reisholz) ist oberirdisches Holz mit BHD < 7 Zentimeter (Vgl. Mantau et al. 2018).

33 | Vgl. ebd.

34 | Vgl. Bringezu et al. 2020.

35 | Vgl. Mantau 2018.

36 | Dieser Wert ergibt sich aus 66,7 Millionen Kubikmetern verwendetem Derbholz unter Berücksichtigung von Importen, Exporten sowie Lagerveränderung (Vgl. Mantau et al. 2018.).

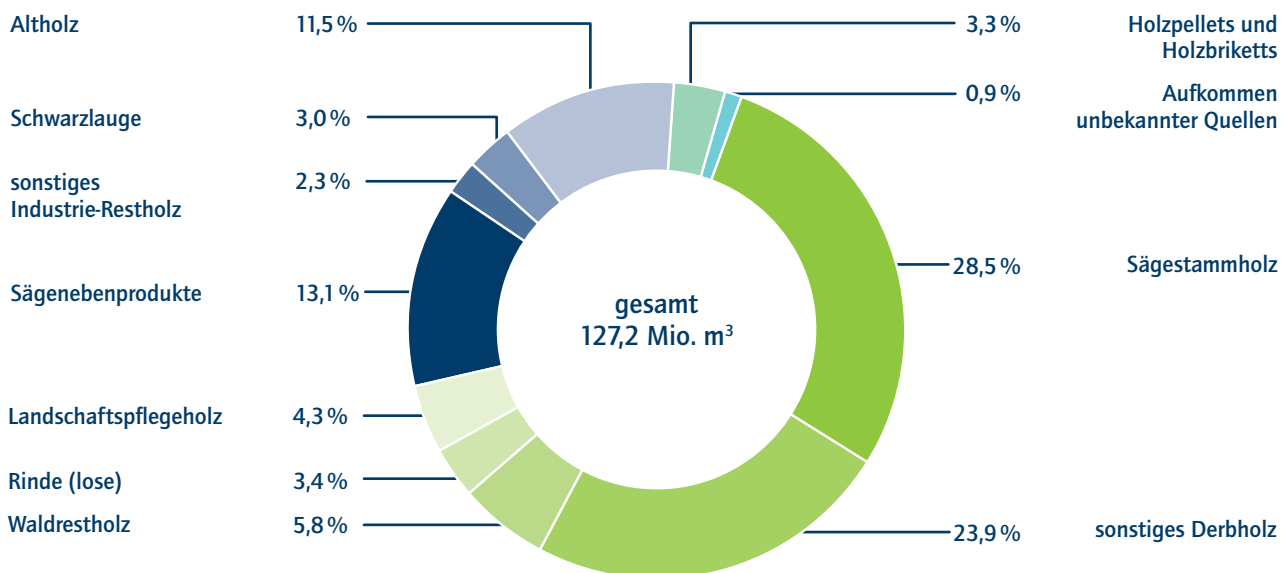


Abbildung 2: Aufkommen der verwendeten Holzrohstoffe 2016 (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR 2018c, unter Verwendung der Daten von INFRO e. k. 2018)

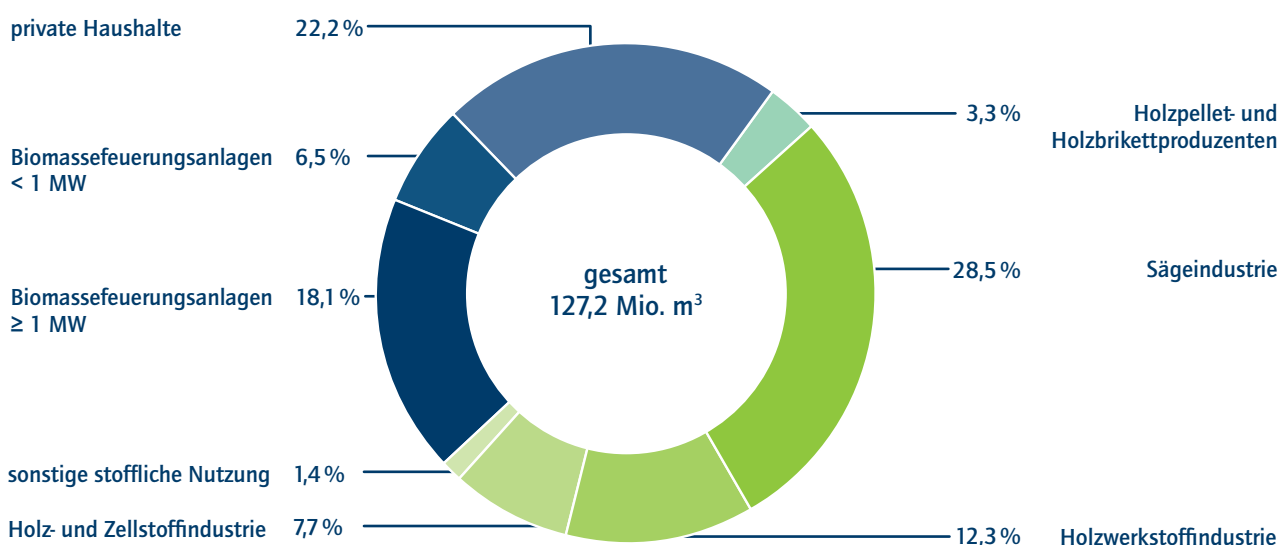


Abbildung 3: Verwendung der Holzrohstoffe nach Nutzergruppen 2016 (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR 2018a, unter Verwendung der Daten von INFRO e. k. 2018)



Kubikmeter an Holzrohstoff: Neben dem Primärrohstoff aus dem Wald, Waldrestholz und Holz aus Landschaftspflegemaßnahmen kamen bei der Verarbeitung auch anfallendes Industrierestholz sowie Nebenprodukte und Altholz zum Einsatz (siehe Abbildung 2), wurden also weiterverwendet und einer Kaskade zugeführt.³⁷ Derbholz wird zu etwa drei Vierteln stofflich und einem Viertel energetisch genutzt, wobei die Sägeindustrie der größte Abnehmer ist. Die stoffliche Verwertung von Nadelholz in der Sägeindustrie dominiert: So macht das Nadelholz 96 Prozent der Holznutzung in der Sägeindustrie aus. Auch in der Holzwerkstoff- und Papierindustrie ist Nadelholz das am meisten verarbeitete Holzsortiment. Die Zellstoff- und Papierindustrie verwendet Restholz und Altpapier, sogenannten Sekundärrohstoff, weshalb hier der

Anteil an Derbholz geringer ausfällt als in anderen Bereichen. Betrachtet man die Nutzung von Laubholz, so ist seit dem Jahr 2000 die stoffliche Nutzung nahezu gleich geblieben, die energetische Nutzung jedoch gestiegen.³⁸

Sekundärressourcen zählen ebenfalls zum Holzrohstoffaufkommen. Sägenebenprodukte stellen dabei die wichtigste Quelle an Restholz dar. So können bei der Herstellung von Furnier- und Sperrholz bis zu 50 Prozent Sägenebenprodukte anfallen.³⁹ Altholz ist eine weitere wichtige Sekundärressource, die hauptsächlich in die Wärme- und Stromerzeugung sowie die Spanplattenproduktion fließt (siehe Abschnitt zu Holzwerkstoffindustrie oben und nachfolgenden Kasten).

Energetische Holznutzung in Deutschland

Von den im Jahr 2016 rund 127 Millionen Kubikmetern genutzter Holzrohstoffe wurden circa 50 Prozent energetisch verwendet – der Großteil davon, etwa 22 Prozent, in privaten Haushalten sowie rund 18 Prozent in Großfeuerungsanlagen (Anlagen > 1 Megawatt, siehe Abbildung 3):

In den Großfeuerungsanlagen kommen vorwiegend Stoffströme aus der Kaskade zum Einsatz – allen voran Altholz mit einem Anteil von 48,6 Prozent oder 6,5 Millionen Tonnen.⁴⁰ Daneben wurden in den Großfeuerungsanlagen Sägenebenprodukte, aber auch in der Papierherstellung anfallende Schwarzlauge und sonstiges industrielles Restholz genutzt.

In Feuerungsanlagen < 1 Megawatt kommen dagegen andere Holzsortimente zum Einsatz – vor allem Waldrestholz (31,4 Prozent), Sägenebenprodukte (18,4 Prozent), Waldderbholz (13,7 Prozent), Landschaftspflegeholz (15,9 Prozent) und Pellets/Briketts (7,3 Prozent).⁴¹

In den Privathaushalten wird Holz meist in Form von Scheitholz, das vielfach dem Privatwald entnommen wird, verwendet. Es werden aber auch zunehmend Briketts und Pellets – Letztere stammen vorwiegend aus

Sägenebenprodukten – eingesetzt. Im Bereich der Kleinfeuerungsanlagen gäbe es zwar Potenzial, Holz vermehrt in die stoffliche Nutzung zu überführen. Allerdings erfolgt die Holznutzung in Privathaushalten für die Wärmebereitstellung in etwa zehn Millionen Feuerstätten, vor allem in den ländlichen Regionen, wo es oft einen günstigen Zugang zu Waldholz gibt. Die Möglichkeiten der zentralen Mobilisierung und stofflichen Nutzung des Holzes sind vor dem Hintergrund der darüber hinaus großen Anzahl an Besitzerinnen und Besitzern von Klein- und Kleinstprivatwald begrenzt.

Der Anteil der energetischen Holznutzung ist über die letzten Jahre nahezu konstant geblieben, nachdem er in den Nullerjahren auch im Zusammenhang mit staatlicher Förderung stark angestiegen war.⁴² Allerdings dürften die derzeit hohen Energiepreise aufgrund aktueller Krisen wie der COVID-19-Pandemie und des Kriegs in der Ukraine gegebenenfalls auch Auswirkungen auf die energetische Holznutzung haben.

Eine möglichst mehrfache stoffliche Holznutzung sollte aber in jedem Fall Vorrang vor der direkten energetischen Nutzung haben (siehe Kapitel 3.2).

37 | Vgl. Berner 2018.

38 | Vgl. Knauf/Frühwald 2020.

39 | Vgl. Mantau et al. 2018.

40 | Vgl. ebd.

41 | Vgl. ebd.

42 | Vgl. ebd.

2.2 Beitrag für die sozioökonomische Entwicklung

In allen für die gesamte Bioökonomie relevanten Bereichen, das heißt in Wirtschaftszweigen mit biobasierter⁴³ Herstellung von Produkten beziehungsweise Dienstleistungen,⁴⁴ sind in Deutschland etwa 3,1 bis 3,6 Millionen Beschäftigte tätig (Stand: 2017)⁴⁵ – dies entspricht etwa 8 bis 9 Prozent der Erwerbstätigen in Deutschland.⁴⁶ Bis 2030 wird in der Bioökonomie ein leichter Rückgang der Beschäftigten prognostiziert, insbesondere in der Land- und Forstwirtschaft, dem verarbeitenden Gewerbe und dem Baugewerbe.⁴⁷ Im Jahr 2017 trug die Bioökonomie 5 bis 6 Prozent zur gesamten Bruttowertschöpfung bei. Bis 2030 wird ein Anstieg des (nominalen) Brutto sozialprodukts von 2,6 Prozent pro Jahr prognostiziert, der vor allem in den für die Bioökonomie relevanten Teilen der Energieversorgung, des Gastgewerbes und von der Forschung und Entwicklung erwartet wird. Unter anderem für die Forstwirtschaft wird dagegen eine unterdurchschnittliche Dynamik bei der Bruttowertschöpfung prognostiziert.⁴⁸

Für die stoffliche Holzverwendung im Cluster „Forst und Holz“⁴⁹ liegen detaillierte Daten vor. So waren hierzulande im Jahr 2019 im Cluster „Forst und Holz“ über 1 Million Menschen beschäftigt. Das Cluster umfasste rund 115.000 Unternehmen. Alle Betriebe des Clusters erwirtschafteten im Jahr 2019 einen Umsatz von rund 183 Milliarden Euro und eine Bruttowertschöpfung von 57 Milliarden Euro. Mehr als 50 Prozent der Bruttowertschöpfung stammt aus dem Verlags- und Druck- sowie dem Papiergewerbe. Seit 2010 ist im Cluster „Forst und Holz“ ein insgesamt steigender Trend bezüglich der Höhe des Umsatzes sowie der

Bruttowertschöpfung zu beobachten. 2019 gab es jedoch im Vergleich zum Vorjahr einen leichten Rückgang des Umsatzes in diesem Cluster. Diese Entwicklung kann insbesondere auf die Branchengruppe Forstwirtschaft zurückgeführt werden, die aufgrund trockenheitsbedingter Waldschäden Umsatzeinbußen zu verzeichnen hatte. Zudem ist seit 2010 eine sinkende Tendenz der Anzahl der dem gesamten Cluster zugehörigen Unternehmen festzustellen. Im Vergleich zu 2018 fiel diese Reduktion im Jahr 2019 besonders deutlich aus. Grund hierfür ist allerdings, dass gemäß Vorschriften des Statistischen Bundesamts keine Daten mehr für den Wirtschaftszweig forstlicher Dienstleister bereitgestellt wurden.⁵⁰ Auch bei den Beschäftigtenzahlen ist von 2010 bis 2018 ein Rückgang zu verzeichnen.

Die demografische Entwicklung – insbesondere in einigen Teilen des ländlichen Raums – sowie ein Trend zu akademischen Berufen können dazu führen, dass weniger junge Menschen eine Berufsausbildung anstreben.⁵¹ Dies kann vor allem im handwerklich geprägten Cluster „Forst und Holz“ zu einem Facharbeitermangel führen. Hinzu kommt, dass Ausbildungsabsolventinnen und -absolventen der Holz ver- und bearbeitenden Industrie oftmals in besser bezahlte Branchen wechseln.

Generell sind darüber hinaus Engpässe bei der Besetzung von Arbeitsplätzen im Cluster „Forst und Holz“ zu verzeichnen. So steigen durchschnittliche Vakanzenzeiten bei der Besetzung von Fachkräftestellen stärker an als im gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt in Deutschland, insbesondere im Bau- und Holzverarbeitenden Gewerbe. Dagegen liegen die unbesetzten Ausbildungsstellen im Cluster „Forst und Holz“ – bei steigender Tendenz – derzeit noch unter dem gesamtdeutschen Durchschnitt. Laut Bundesagentur für Arbeit ist mit

43 | „... wobei biobasiert bedeutet, dass Erzeugnisse vollständig oder teilweise (mindestens 10 Prozent der eingesetzten Menge an Rohstoffen) aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen“ (Bringezu et al. 2020, S. 38).

44 | Beispielsweise Forschung unter anderem im Bereich Biotechnologie sowie Dienstleistungen, die zum Beispiel mit der Verarbeitung von Lebensmitteln im Gastgewerbe im Zusammenhang stehen (Vgl. ebd.).

45 | Vgl. Bringezu et al. 2020.

46 | Vgl. ebd.

47 | Vgl. ebd.

48 | Vgl. ebd.

49 | Die Clusterstatistik des Thünen-Instituts zieht die Clusterkonzeption von Seintsch (2007) als Analysegrundlage heran. Das Cluster ist in folgende sieben Branchengruppen unterteilt: Forstwirtschaft, Holz bearbeitendes Gewerbe, Holz verarbeitendes Gewerbe, Holz im Baugewerbe, Papiergewerbe, Verlags- und Druckereigewerbe sowie Holzhandel. Im Cluster nicht berücksichtigt sind die Zulieferer der Branchen Papier- und Holzbearbeitungsmaschinenhersteller sowie der Klebstoff- und Beschlagindustrie. Auch das Holztransportgewerbe findet sich nicht wieder (Vgl. Seintsch 2007), ebenso wenig finden sich Unternehmen mit energetischer Holzverwendung als Haupttätigkeit (Vgl. Seintsch 2013). Zudem wird Holz im Rahmen der holzbasierten Bioökonomie künftig verstärkt auch in anderen Sektoren wie im Chemie-, Transport- oder Textilbereich verwendet.

50 | Vgl. Thünen-Institut 2022.

51 | Vgl. Cluster-Initiative „Forst und Holz“ in Bayern 2016.



Engpässen in bestimmten Berufen des Clusters „Forst und Holz“ zu rechnen.⁵²

Nicht unerwähnt bleiben sollte die herausragende weltweite Bedeutung des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus in diesem Bereich. So umfasst die deutsche Holzbearbeitungsmaschinenindustrie

etwa 200 meist klein- und mittelständisch geprägte Unternehmen mit etwa 17.500 Beschäftigten, einige davon sind Weltmarktführer. 25 Prozent der Weltproduktion dieser Spezialbranche werden in Deutschland hergestellt und zu 70 Prozent exportiert.⁵³

Sozioökonomische Entwicklung in den Modellregionen⁵⁴

Die Entwicklung im Bund spiegelt sich auch in den Modellregionen Bayern und Baden-Württemberg wider. Diese Modellregionen sind unter den ersten drei Plätzen hinsichtlich oben genannter Kennzahlen im bundesweiten Ländervergleich zu finden: So wies Bayern laut der Clusterstatistik des Thünen-Instituts im Jahr 2019 die meisten Betriebe auf – gefolgt von Nordrhein-Westfalen. In allen weiteren Kategorien nimmt Nordrhein-Westfalen den Spitzenplatz ein, gefolgt von Bayern und Baden-Württemberg.⁵⁵ In allen Modellregionen ist die Anzahl an Beschäftigten zwischen 2010 und 2019 zurückgegangen.⁵⁶ Dies könnte an einer zunehmenden Automatisie-

rung, aber auch am Fachkräftemangel liegen. Das Cluster „Forst und Holz“ spielt nicht zuletzt für den ländlichen Raum eine wichtige Rolle. In Bayern waren beispielsweise je nach Landkreis im Jahr 2015 bis zu 15 Prozent der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Cluster „Forst und Holz“ tätig. Eine Herausforderung für das Cluster „Forst und Holz“ ist neben dem Fachkräftemangel unter anderem der demografische Wandel, der auch die aktuelle Generation der Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer betrifft. Eine Folge könnte sein, dass ohne entsprechende Nachfolge Flächen aus der Bewirtschaftung genommen werden.⁵⁷

52 | Vgl. FNR 2022a.

53 | Vgl. Meißner et al. 2016.

54 | Diese Modellregionen wurden ausgewählt, da in diesen Bundesländern die Forst- und Holzwirtschaft eine relevante Rolle spielt, die südlichen Länder im Bundesvergleich eine hohe Holzbauquote aufweisen und die ostdeutschen Länder Teil des Bioökonomiestandorts Mitteldeutschland sind, hervorgegangen aus dem BMBF-Spitzencluster „BioEconomy“ mit einem Fokus auf die regionale Holzindustrie. Informationen und Beispiele aus den Modellregionen werden im Folgenden durchgehend in blauen Kästen dargestellt.

55 | Vgl. Tabellen der Clusterstatistik für Deutschland und die einzelnen Bundesländer zum Download unter Thünen-Institut 2022.

56 | Vgl. ebd.

57 | Vgl. Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern 2016.

2.3 Rohstoffverfügbarkeit und wirtschaftliche Herausforderungen

Deutschland gehört zu den wald- und vorratsreichsten Ländern Europas (siehe Kasten). Das im Wald eingeschlagene Frisch- und

Durchforstungsholz ist der Primärrohstoff für eine holzbasierte Bioökonomie. Hinzu kommen die daraus durch Wiederaufarbeitung gewonnenen Sekundärrohstoffe.

Kenndaten des Waldes in Deutschland und den Modellregionen⁵⁸

In Deutschland sind 32 Prozent der Landesfläche beziehungsweise 11,4 Millionen Hektar mit Wald bedeckt.⁵⁹ Der Flächenanteil nutzungsfreier Wälder, der für eine natürliche Entwicklung dauerhaft rechtlich gesichert ist, lag Ende 2020 bei 3,1 Prozent.^{60, 61}

Bayern besitzt mit 2,6 Millionen Hektar absolut gesehen die größte Waldfläche, gefolgt von Baden-Württemberg mit 1,37 Millionen Hektar.

Auf etwas mehr als der Hälfte der deutschen Waldfläche finden sich Nadelbäume, allen voran Fichte und Kiefer. Laubbäume stehen auf 45 Prozent der Fläche, wobei Buche und Eiche dominieren (siehe Abbildung 4). Nichtheimische Baumarten mit dem größten Flächenanteil sind Douglasie (2 Prozent), japanische Lärche (0,8 Prozent), Roteiche (0,5 Prozent) sowie Schwarzkiefer.⁶²

In den letzten Jahren hat der Mischwaldanteil zugenommen und liegt jetzt bei 76 Prozent der Waldfläche. Am zuwachsstärksten sind Nadelbaumarten wie Douglasie, Tanne und Fichte mit 18,9 bis 15,3 Kubikmetern pro Hektar und Jahr, während Kiefer, Buche und Eiche mit

9,3 bis 8,3 Kubikmetern pro Hektar und Jahr geringere Zuwächse verzeichnen.⁶³ Die Verjüngung erfolgt überwiegend natürlich (85 Prozent). Fast ein Viertel des Waldes ist über 100 Jahre alt.⁶⁴

Baden-Württemberg hat mit 46,1 Prozent einen deutlich höheren Laubholzanteil als die anderen Modellregionen, gefolgt von Bayern mit 36 Prozent⁶⁵ und Sachsen mit 31,9 Prozent.

Von der Waldfläche befinden sich 48 Prozent in Privatbesitz und 19 Prozent in kommunalem Eigentum. Der Rest der Waldfläche ist zu 29 Prozent Eigentum der Länder und zu 4 Prozent im Besitz des Bundes.⁶⁶ In Summe liegt die Zahl der körperschaftlichen und privaten Waldeigentümer in Deutschland bei etwa 2 Millionen.⁶⁷ Bayern hat mit 55 Prozent den flächenmäßig größten Anteil am Privatwald,⁶⁸ während Baden-Württemberg mit 40 Prozent der Waldfläche den größten Körperschaftswald in Deutschland aufweist. In Sachsen haben der Privat- und Treuhandrestwald mit 45,6 und der Landeswald mit 38,4 Prozent die höchsten Anteile.

58 | Unten genannte Angaben stammen insbesondere aus der Bundeswaldinventur 2012 sowie aus der Kohlenstoffinventur 2017.

59 | Vgl. BMEL 2016.

60 | Vgl. BMEL 2021b.

61 | Nimmt man ungenutzte Wälder ohne einen dauerhaft rechtlichen Schutzstatus und nicht begehbare Waldflächen noch hinzu, so sind derzeit bis zu 5,6 Prozent der deutschen Waldfläche nutzungsfrei (Vgl. ebd.).

62 | Vgl. BMEL 2016.

63 | Vgl. Bolte et al. 2016.

64 | Vgl. BMU 2019.

65 | Vgl. Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern 2020.

66 | Vgl. BMEL 2018b.

67 | Vgl. AGDW 2019.

68 | Vgl. BMEL 2016.



Gesamtfläche Deutschland



Die häufigsten Baumarten im deutschen Wald (bezogen auf die Holzbodenfläche)

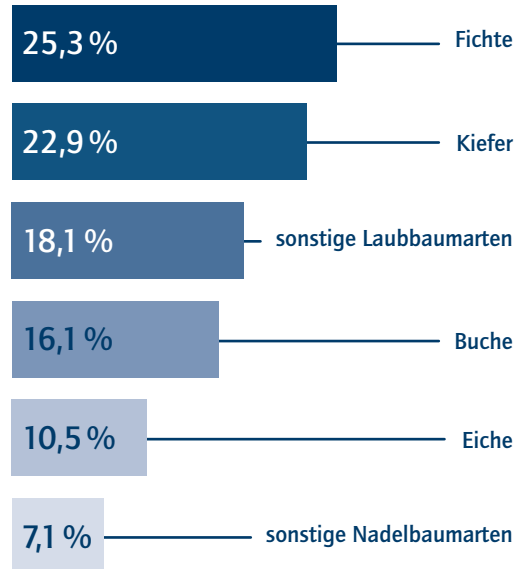


Abbildung 4: Waldfläche und Hauptbaumarten in Deutschland im Jahr 2017 (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR 2020c, unter Verwendung der Daten von KI 2019)

Deutschland hat den größten Holzvorrat in Europa.⁶⁹ Im Jahr 2017 ist dieser auf 3,9 Milliarden Vorratsfestmeter⁷⁰ beziehungsweise 358 Vorratsfestmeter pro Hektar und damit auf einen Höchststand angewachsen.⁷¹ Im Jahr 2012 hatten Bayern und Baden-Württemberg mit Abstand den höchsten Holzvorrat⁷² aller Bundesländer, während Sachsen unter dem bundesdeutschen Durchschnitt

lag.⁷³ Nach Berechnungen des Thünen-Instituts wurden hierzulande von 2010 bis 2019 im Schnitt jährlich etwa 73 Millionen Kubikmeter Erntefestmeter Holz eingeschlagen.^{74, 75} Neben der wirtschaftlichen Holznutzung (siehe Kapitel 2.1) dient der Wald der Erholung und stellt Ökosystemleistungen bereit (siehe Kapitel 2.4).

69 | Vgl. BMEL 2018a.

70 | Dabei wird bei der Bundeswaldinventur nur der stehende Derbholzvorrat > 7 Zentimeter eines Bestands gemessen. Er wird in Vorratsfestmetern (Vfm), das heißt in Kubikmetern mit Rinde, angegeben. Das aufgeschichtete Derbholz wird dagegen in Erntefestmetern (Efm) gemessen. Hier sind die Rinde – wobei die Entrindung erst im verarbeitenden Betrieb erfolgt – ebenso wie Ernteverluste bereits herausgerechnet (Vgl. Mantau et al. 2018). Das bedeutet, dass die Efm-Angaben in der Regel zwanzig Prozent unter denen der Vfm liegen.

71 | Vgl. Hennig et al. 2019.

72 | Der jährliche Aufbau des Holzvorrats im Wald ergibt sich aus der Differenz von Zuwachs und Abgang.

73 | Vgl. BMEL 2016.

74 | Die Menge an eingeschlagenem Holz in Kubikmetern ist in der Regel höher als die genutzte Menge an Kubikmetern Derbholz, da bei Ersterem auch das im Wald verbleibende, nicht verwendete Derbholz nach Definition mitberechnet wird.

75 | Vgl. BMEL 2021d.

Jedoch sind der (heimischen) Rohstoffbereitstellung Grenzen gesetzt. Flächenkonkurrenz, Schadereignisse, beschleunigte Anpassung des Waldes an den Klimawandel, ökologische Anforderungen sowie die Ausweisung von Schutzgebieten werden das Rohstoffangebot verknappen. Auch auf der Nachfrageseite gibt es Nutzungskonkurrenzen. Zudem wird Holz international gehandelt und unterliegt – ebenso wie andere Rohstoffe – Marktschwankungen und Interdependenzen. Die COVID-19-Pandemie und weltweite Krisen haben die Abhängigkeiten von globalen Lieferketten verdeutlicht.⁷⁶ Dies gilt nicht nur im Hinblick auf Holzimporte und -exporte, sondern für die gesamte Holzwirtschaft, vor allem im Holzbaubereich sowie für Vorleistungsprodukte.

Eine nachhaltige Rohstoffverfügbarkeit ist somit ein entscheidender Faktor für eine holzbasierte Bioökonomie und birgt sowohl Risiken als auch Chancen:

- Die Schadereignisse zwischen 2017 und 2020 (siehe Kasten) hatten ökologische, aber auch wirtschaftliche Folgen. In der Forstwirtschaft kam es durch das vorhandene Überangebot an Fichtenrohholz zu hohen Belastungen und Einbußen. Nadelrohholz wurde vielfach in Drittländer exportiert, um den Markt zu entlasten und zumindest Deckungsbeiträge für Aufwendungen zu generieren. Hinzu kommen auch krisenbedingte Personalengpässe und Kosten für die Wiederaufforstung. Dagegen haben in der Sägeindustrie die Inlandsnachfrage vor allem im Baubereich sowie eine gestiegene Exportnachfrage aus den USA und China für eine gute Auftragslage und hohe Preise für Schnittholz gesorgt. Sägewerke erzielten Rekordumsätze⁷⁷ und stießen an ihre Kapazitätsgrenzen.
- Aufgrund des Klimawandels ist künftig mit zunehmender Planungsunsicherheit zu rechnen: Schadereignisse können häufiger und in höherer Intensität auftreten. Zudem führt

ein beschleunigter Waldumbau hin zu klimaangepassten, resilienten Wäldern zu entsprechend langen Produktionszeiten sowie veränderten Sortimenten. Der Holzvorrat, insbesondere an Fichte, dem Brotbaum der Holzwirtschaft, wird über die nächsten Jahrzehnte zurückgehen und gegebenenfalls nicht mehr aus heimischen Beständen gedeckt werden können.⁷⁸ Laut einem Gutachten des Waldbeirats der Bundesregierung wird zwar kurzfristig noch genügend heimisches Nadelholz, vor allem Kalamitätsholz, vorhanden sein.⁷⁹ Mittelfristig (bis 2050) wird Nadelholz – insbesondere die Sortimente mit mittlerem Durchmesser – jedoch knapp und langfristig aufgrund des weiter steigenden Laubholz- und Mischwaldanteils sehr knapp werden. So lag der Anteil der Nadelbäume bei der Jungbestockung (bis 4 Meter) laut Bundeswaldagentur 2012 bei nur noch 25 Prozent. Im Vergleich zu 2012 werden im Jahr 2052 30 Prozent mehr Laubstammholz zur Verfügung stehen.⁸⁰ Hinzu kommt eine verstärkte Nutzungskonkurrenz um den Rohstoff – nicht nur zwischen stofflicher und energetischer Nutzung, sondern auch bei der stofflichen Nutzung innerhalb des Clusters „Forst und Holz“, und in anderen Sektoren außerhalb des Clusters sowie im Hinblick auf Ökosystemleistungen (siehe Kapitel 2.4).

Ein verändertes und begrenztes Angebot sowie eine steigende Holznachfrage eröffnen jedoch auch Chancen. So kann eine höhere Biodiversität beziehungsweise ein größerer Baumartenmix – aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Arten – die Resilienz der Wälder und somit eine nachhaltige Bewirtschaftung sichern. Ein steigender Preisdruck kann Investitionen in Innovationen rentabel machen und zu verstärkter Sekundärrohstoffnutzung führen. Dies kann auch nachfrageseitig, das heißt bei Abnehmerinnen und Abnehmern sowie Endkundinnen und Endkunden, zu einer sparsamen und wertschätzenden Holzverwendung und somit zur Reduktion des Rohstoffbedarfs beitragen.

76 | Vgl. Bergmann 2022.

77 | Vgl. BMEL 2021d.

78 | Vgl. DHWR 2016.

79 | Vgl. WBW 2021.

80 | Vgl. Knauf/Frühwald 2020.



Schadereignisse 2017 bis 2020

Der Zustand der Wälder hat sich durch die Schadereignisse zwischen 2017 und 2020 deutlich verschlechtert. Stürme, Dürre und Hitze sowie die Vermehrung der Borkenkäfer haben die Vitalität der Bäume geschwächt und zu großen Schäden geführt. Davon ist nicht nur die Fichte betroffen, auch Laubbäume wie Buchen leiden zunehmend unter Trockenstress. So betrug der Anteil der Bäume ohne Kronenverlichtung⁸¹ in den Jahren 2020 und 2021 nur etwa 21 Prozent⁸² – der geringste Wert seit 1984.⁸³ Zwar waren aufgrund der besseren Witterungsverhältnisse 2021 im Vergleich zum Vorjahr leichte Verbesserungen festzustellen, allerdings war der Anteil der Kronenverlichtung immer noch hoch und lag über dem Niveau von 2018, dem ersten Dürrejahr. Hinzu kam eine zunehmende Absterberate, die vor allem ältere Bäume über sechzig Jahre betraf.⁸⁴ In den Modellregionen war diese Tendenz ebenfalls festzustellen, lediglich Teile Südbayerns waren wegen der feuchteren Witterung etwas weniger betroffen.

Die wieder zu bewaldende Fläche entspricht mit 277.000 Hektar (Stand: Ende 2020)⁸⁵ etwa der Größe des Saarlands. Laut Satellitenauswertungen sind die Schäden jedoch deutlich höher als bisher erwartet: Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) beziffert sie auf 500.000 Hektar, was fast 5 Prozent der deutschen Waldfläche entspricht.⁸⁶

Dementsprechend hoch ist das Schadholzaufkommen: Der Schadholzanteil am Holzeinschlag in Deutschland lag im Jahr 2020 bei fast 75 Prozent und ist 2021 gesunken.⁸⁷ In Summe belief sich das Schadholzaufkommen von 2018 bis Mitte 2021 auf 187 Millionen Kubikmeter.⁸⁸ Insgesamt fielen rund 16 Prozent des in der Bundeswaldinventur 2012 festgestellten Fichtenvorrats als Kalamitätenholz an.⁸⁹ Besonders betroffen waren Nordrhein-Westfalen, Bayern, Hessen und Baden-Württemberg.

81 | „Beurteilungsmaßstab ist die Verlichtung der Baumkronen im Vergleich zu einer voll belaubten bzw. benadelten Krone. Die Abweichung von einer vollständigen Belaubung wird in 5-%-Stufen geschätzt. 0 % Verlichtung bedeutet eine voll belaubte Krone. 40 % Verlichtung bedeutet: Gegenüber einer voll belaubten Krone fehlen 40 % der Blattmasse bzw. es ist nur 60 % der normalerweise zu erwartenden Blattmasse vorhanden“ (BMEL 2021a, S. 8).

82 | Vgl. BMEL 2022a.

83 | Vgl. BMEL 2021a.

84 | Vgl. ebd.

85 | Vgl. BMEL 2021d.

86 | „Der jährliche ‚Waldzustandsbericht‘ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) dokumentiert den Kronenzustand der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. Dies erfolgt stichprobenartig auf Basis festgelegter Beobachtungsflächen. Es sind somit Momentaufnahmen für eine überschaubare Anzahl an Beobachtungspunkten. Die Berichte weisen bei den Verlusten dabei nur die Flächen aus, die wieder bewaldet werden müssen. Zahlen über die tatsächlich von Baumverlusten betroffenen Flächen findet man darin üblicherweise nicht. Erdbeobachtungssatelliten können hier ergänzende Daten liefern“ (DLR 2022).

87 | Vgl. FNR 2022b.

88 | Vgl. BMEL 2021b.

89 | Vgl. BMEL 2021d.

2.4 Ökologische Herausforderungen und gesellschaftlicher Diskurs

Wald produziert nicht nur Biomasse. Er ist auch ein Raum für Erholung, Sport und Freizeit⁹⁰ und erbringt vielfältige ökologische Leistungen (siehe Abbildung 5). Neben zahlreichen Regulierungs- und Schutzfunktionen (unter anderem Erosionsschutz, Wasserspeicher) ist der Wald vor allem für den Klimaschutz sowie die Artenvielfalt von Bedeutung:

- So liegt derzeit die jährliche Kohlenstoffspeicherleistung des Waldes bei 56 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Zählt man den stofflich genutzten Holzproduktespeicher hinzu, kommt man auf etwa 62 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr an Kohlenstoffspeicherleistung (siehe Abbildung 6) – dies entspricht 7 Prozent der nationalen Treibhausgasemissionen.^{91, 92} Rechnet man die stoffliche und energetische Substitution durch Holzprodukte mit ein, so erhöht sich der jährliche Klimaschutzbeitrag der deutschen Forst- und Holzwirtschaft entsprechend. Wurde der Beitrag bezogen auf das Jahr 2014 mit durchschnittlich 127 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten⁹³ angegeben, geht das Thünen-Institut von einer



Abbildung 5: Darstellung der Leistungen, die der Wald in Deutschland erbringt (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an FNR 2020a; Foto: Marcin/Pixabay.de)

90 | Vgl. BMEL 2017.

91 | Vgl. BMEL 2021b.

92 | Vgl. Riedel et al. 2019.

93 | Vgl. WBAE/WBW 2016.

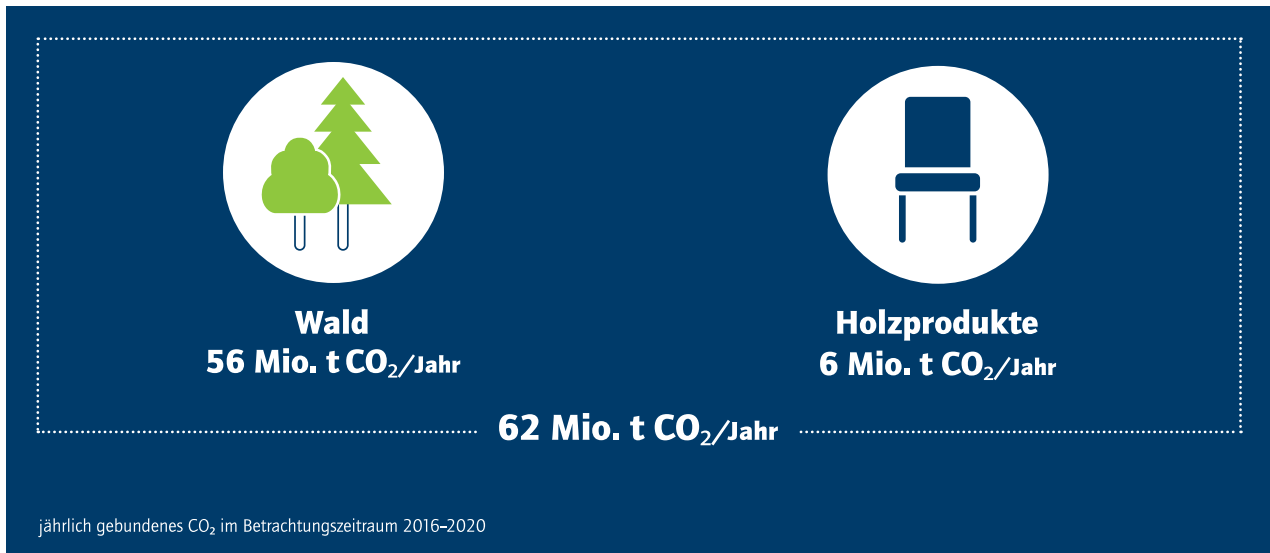


Abbildung 6: Klimaschutzeffekt von Wald und Holz (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR 2022c, unter Verwendung der Daten von Umweltbundesamt 2022, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990–2020, EU-Submission)

Klimaschutzbilanz im Mittel der Jahre 2012 bis 2017 von jährlich 92 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten⁹⁴ aus.

- Der Indikatorenbericht 2021 zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland zeigt, dass die Artenvielfalt in Wäldern am Beispiel von 51 Vogelarten seit 2000 eine steigende Tendenz aufweist.⁹⁵ Ferner finden sich in deutschen Wäldern fast 2.900 Pflanzenarten und Flechten.⁹⁶ Zudem ist der für die Biodiversität wichtige Anteil an sogenanntem Totholz zwischen 2012 und 2017 um 14 Prozent auf 22,2 Kubikmeter je Hektar gestiegen.

Eine multifunktionelle Waldwirtschaft und eine zukunftsweisende holzbasierte Bioökonomie müssen vielseitigen Anforderungen gleichermaßen gerecht werden: Zum einen steht das Waldökosystem durch den Klimawandel selbst unter Druck. Zum anderen ist national und auf EU-Ebene ein verstärkter Beitrag – vor allem des Waldes – zur Kohlenstoffspeicherung und Erreichung der

Klimaneutralität vorgesehen (siehe Kapitel 2.5). Des Weiteren gilt es, die Verlagerung von Konflikten in andere Weltregionen zu vermeiden und Generationengerechtigkeit im Hinblick auf Klimaschutz und Holznutzung zu gewährleisten.⁹⁷ Hierzu, aber auch generell zur Bioökonomie gibt es unterschiedliche gesellschaftliche Auffassungen: In einer 2019 durchgeführten Umfrage⁹⁸ befürworteten 57 Prozent der Befragten die Idee der Bioökonomie, immer mehr fossile durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen. Jedoch werden mit der Bioökonomie oft unterschiedliche gesellschaftliche und politische Erwartungen und Wertvorstellungen – zwischen „grünem Wachstum“ und Reduktion des Konsumlevels⁹⁹ – verbunden, was zu Zielkonflikten führen kann. Sehen einige darin einen Treiber für eine wirtschaftliche Transformation, die Innovationen, Wachstum und Arbeitsplätze auch in ländlichen Regionen ermöglichen kann, weisen andere auf potenzielle ökologische und soziale Verwerfungen hin (siehe Kasten).

94 | Vgl. Bolte et al. 2021.

95 | Vgl. Destatis 2021.

96 | Vgl. FNR 2019.

97 | Vgl. WBW 2021.

98 | Vgl. acatech/Körper-Stiftung 2020.

99 | Vgl. Hausknost et al. 2017.

Gesellschaftliche Fragen und Zielkonflikte im Kontext der Bioökonomie

Oftmals wird darauf verwiesen, dass es, um den steigenden Bedarf an nachwachsender Biomasse zu decken, zu Landnutzungsänderungen und einer Landnutzungsintensivierung vor allem in Entwicklungsländern kommen kann. Derartige Prozesse bergen die Gefahr einer Übernutzung der natürlichen Ressourcen sowie der Zerstörung von Ökosystemen mit Folgen für Biodiversität, Wasserhaushalt und Nährstoffbindung in den Böden. Dies hat wiederum Auswirkungen auf das Klima und droht Ökosysteme irreversibel zu verändern.¹⁰⁰ In diesem Zusammenhang wird auch auf den Eigenwert der Natur und deren ästhetische sowie kulturelle Werte verwiesen.¹⁰¹

Einige Nichtregierungsorganisationen (NGOs) kritisieren, dass die Bioökonomie zu einseitig auf Wachstum und Technologien setze – stattdessen sollten die sozial-ökologischen Auswirkungen stärker bedacht werden: Die

Bioökonomie brauche klar definierte Wachstumsgrenzen und sollte grundsätzlich immer zuerst darauf ausgerichtet sein, deutlich weniger zu produzieren und zu konsumieren, also auch den Suffizienzgedanken stärker zu betonen. Der Ressourcenverbrauch sei stark zu reduzieren, die derzeitigen Bewirtschaftungsformen seien weiter zu ökologisieren. Auch müssten die Auswirkungen auf den globalen Süden stärker beachtet werden, um Umweltzerstörung, soziale Verwerfungen und Menschenrechtsverletzungen zu vermeiden. Aufgrund dessen sollte bei der Umsetzung der Bioökonomiestrategie der Bundesregierung der Fokus auf regionale Ressourcenkreisläufe gelegt werden.¹⁰² Zudem wird eine breite gesellschaftliche Einbindung gefordert. Der Naturschutzbund Deutschland (NABU) hat im Rahmen des Wissenschaftsjahrs Bioökonomie 2020/2021 einen Bürgerdialog zur Bioökonomie durchgeführt, bei dem auch Änderungen in Konsum- und Verhaltensgewohnheiten als wichtig erachtet wurden.¹⁰³

Im Hinblick auf die holzbasierte Bioökonomie herrscht Einigkeit darüber, dass eine aktive Klimaschutzpolitik auch dem Wald hilft und mit hoher Priorität weiterzuverfolgen ist. Ebenso gilt es, Holz so effizient und ressourcenschonend wie möglich zu verwenden, das heißt die prioritäre Nutzung von Abfällen und Reststoffen in Kaskaden sowie eine mehrfache, langlebige stoffliche Holznutzung anzustreben. Unterschiedliche Auffassungen gibt es im Hinblick auf den Waldumbau sowie eine nachhaltige Bewirtschaftung:

Während von Forstwirtschaft und Waldbeirat der Bundesregierung ein aktives Waldmanagement, das heißt ein unterstützen der Waldumbau hin zu resilienteren Arten, gefordert wird, wird dieses Vorhaben von einigen NGOs oftmals skeptisch beurteilt: Für sie sollten Zulassung und Förderung der natürlichen und naturnahen Waldverjüngung und Waldentwicklung höchste Priorität haben, da man nicht wissen könne, welche Baumarten den Klimawandel überstehen und sich durchsetzen werden.¹⁰⁴

Auch in Bezug auf die Holzbewirtschaftung bestehen unterschiedliche Sichtweisen. So werden seitens einiger Stakeholder höhere Unterschutzstellungsziele und deutlich mehr zusammenhängende Naturraumkorridore unterstützt. Eine Ausweitung der Waldnutzung für eine holzbasierte Bioökonomie sei kaum machbar, ohne den bereits vorhandenen Druck auf das Waldökosystem noch zu verstärken. Auch gibt es unterschiedliche Einschätzungen und Argumentationslinien hinsichtlich der CO₂-Senkenleistung beziehungsweise Kohlenstoffspeicherung des Waldes und von Holzprodukten – je nachdem, wie der Sektor Wald – Forst – Holz abgegrenzt und welche räumlichen und zeitlichen Skalen betrachtet werden.¹⁰⁵ Nach Ansicht einiger NGOs trägt ein weniger beziehungsweise komplett ungenutzter Wald mit alten Bäumen nicht nur zu mehr Artenvielfalt bei, sondern speichert auch mehr CO₂ als ein genutzter Wald.¹⁰⁶ Für den Waldbeirat und andere Stakeholder ist keine beziehungsweise eine deutlich weniger intensive Waldnutzung als bisher zwar ein Instrument zur Erreichung der Biodiversitätsziele, aber

100 | Vgl. Pannicke et al. 2015.

101 | Vgl. Grunwald 2020.

102 | Vgl. Aktionsforum Bioökonomie 2021.

103 | Vgl. Berger et al. 2021.

104 | Vgl. Maráz 2021.

105 | Vgl. Schulz/Weber-Blaschke 2022.

106 | Vgl. Hieke et al. 2018.



„keine geeignete Maßnahme des Klimaschutzes“.¹⁰⁷ So weisen einige Studien darauf hin, dass bei einem Vergleich von bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern die Kohlenstoffspeicherung in langlebigen Holzprodukten und Substitutionseffekte nicht unberücksichtigt bleiben sollten, da sie einen wesentlichen Beitrag zur Kohlenstoffbalance leisten.^{108, 109, 110} Unterschiedliche Resultate sind vielfach auf nicht vergleichbare Zeitskalen (Lang- und Kurzeffekte) sowie die Be- und Einberechnung von Substitutionseffekten zurückzuführen.¹¹¹

Die derzeit laufende Bundeswaldinventur im Jahr 2022 wird zeigen, ob sich angesichts der Schäden der Holzvorrat reduziert und die CO₂-Senkenfunktion des Waldes abgenommen hat. In einigen Regionen könnte der Wald – auch aufgrund seiner Altersklassenstruktur¹¹² – von einer C-Senke zu einer C-Quelle werden. Die Auswirkungen von Schadereignissen und Klimawandel auf das komplexe Ökosystem sind derzeit nur bedingt zu erfassen, da diese erst zeitlich versetzt erkennbar werden. Dies gilt auch für die Biodiversität, da Toleranzschwellen und Anpassungsstrategien von Fauna und Flora dazu führen können, dass es Verlierer, aber auch Gewinner wie Mikrofauna, Pilze und Mikroben geben kann.¹¹³

2.5 Politische Strategien und Regelungen

Die für eine holzbasierte Bioökonomie relevanten politischen Strategien und Gesetze spiegeln zum Teil den unter 2.4 beschriebenen gesellschaftlichen Diskurs wider. Auf EU-Ebene und in Deutschland wird auf die Bedeutung der Bioökonomie für Klima-, Natur- und Ressourcenschutz sowie die SDGs und Innovationen verwiesen. Es wird versucht, der Querschnittsaufgabe durch vielfältige Aktivitäten, finanzielle Unterstützung (siehe Kasten), Verlinkung und Einbettung in verschiedene Strategien sowie durch Beratungsgremien und Dialogformate gerecht zu werden: So hat in Deutschland die Bioökonomie Eingang in die Hightech-Strategie 2025 (HTS),¹¹⁴ die Industriestrategie 2030¹¹⁵ und die Nachhaltigkeitsstrategie¹¹⁶ gefunden. Das Zusammenwirken verschiedener Ressorts von Wirtschaft, Energie, Umwelt, Forschung bis hin zu Justiz, Finanzen, Verbraucherfragen und Bauen erfolgt in einer interministeriellen Arbeitsgruppe.¹¹⁷ Bei der Umsetzung der Nationalen Bioökonomiestrategie wird die Bundesregierung weiterhin von einem Bioökonomierat unterstützt.¹¹⁸ Die vom Bundeswirtschaftsministerium gegründete „Plattform Industrielle Bioökonomie“ soll den Austausch zwischen den Akteuren aus Industrie, Öffentlichkeit und Politik stärken und Vorschläge zur Förderung der industriellen Bioökonomie, zu Rahmenbedingungen, zu Nachhaltigkeit sowie zur Kommunikation unterbreiten.¹¹⁹

107 | WBAE/WBW 2016, S. 275.

108 | Vgl. Schweinle et al. 2018.

109 | Vgl. Klein et al. 2013.

110 | Vgl. Martes/Köhl 2022.

111 | Vgl. Skytt et al. 2021.

112 | Vgl. Schweinle et al. 2018.

113 | Vgl. BMEL 2021d.

114 | Vgl. BMBF 2018a.

115 | Vgl. BMWi 2019b.

116 | Vgl. Bundesregierung 2018.

117 | Vgl. Thrän/Moesenfechtel 2020.

118 | Vgl. Bioökonomierat 2021.

119 | Vgl. BMWK 2022c.

Beispiele für Forschungs- und Fördermittel sowie Finanzierungshilfen für Bioökonomie und Forstwirtschaft

In der EU stehen Mittel aus Förderprogrammen sowie aus dem Forschungsprogramm „Horizon Europe“ (siehe Programmsäule: „Globale Herausforderungen und industrielle Wettbewerbsfähigkeit Europas“) für die Bioökonomie zur Verfügung.¹²⁰ Hierbei sind insbesondere Private-Public-Partnership-Projekte wie zum Beispiel BBI JU (Bio-Based Industry Joint Undertaking) zu erwähnen, mit denen sowohl die öffentliche Hand als auch private Geldgeber unter anderem Projekte der zirkulären Bioökonomie fördern.¹²¹ Auch die EU-Taxonomie behandelt das Thema Wald und Forstwirtschaft. Sie stellt eine Art Richtlinie im Hinblick auf nachhaltige Investitionen dar.

In Deutschland werden Mittel für Forschung und Entwicklung (F & E) von Bund¹²² und Ländern für die (holzbasierte) Bioökonomie bereitgestellt. So unterstützt das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) mit dem „Förderprogramm Wachsende Rohstoffe“¹²³ die Bioökonomie durch die Entwicklung technologischer Voraussetzungen über die gesamte Kette von der Forschung bis zum Pilotprojekt, aber auch deren ökonomische und gesellschaftliche Voraussetzungen.

Im Jahr 2014 wurde unter Federführung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) das umfangreiche Förderkonzept „Bioökonomie als gesellschaftlicher Wandel“ aufgelegt.¹²⁴ Der bereits seit 2013 existierende Ideenwettbewerb des BMBF „Neue Produkte für die Bioökonomie“ wurde 2021 in einer neu gefassten Förderrichtlinie fortgeführt: (Nachwuchs-) Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sollen darin unterstützt werden, „sehr frühe und risikoreiche Produktideen für die Bioökonomie auszuarbeiten und die technische Umsetzung sowie die Sondierung wirtschaftlicher

Verwertungsoptionen, gegebenenfalls auch im Rahmen einer Ausgründung, vorzubereiten.“¹²⁵ Auch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) hat Förderprogramme aufgelegt, so ein Förderprogramm zur Nutzung und zum Bau von Demonstrationsanlagen für die industrielle Bioökonomie.¹²⁶

Finanzielle Unterstützung für die Forstwirtschaft wird vor allem aus der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) bereitgestellt. Wegen der aktuellen Schadereignisse hat die Bundesregierung ein Unterstützungspaket von in Summe 1,5 Milliarden Euro für Anpassungs- und Umbaumaßnahmen für private und kommunale Waldbesitzer aufgelegt – 800 Millionen werden zusätzlich für den Wald über die GAK bereitgestellt, 700 Millionen Euro kamen aus dem Konjunktur- und Krisenbewältigungspaket der Bundesregierung.¹²⁷ Von 2022 bis 2026 investiert das BMEL zudem 900 Millionen Euro in ein klimaangepasstes Waldmanagement, um damit Waldbewirtschaftende für zusätzlichen Klima- und Biodiversitätsschutz zu honorieren.¹²⁸ Seit 2013 gibt es zudem den „Waldklimafonds“: Im Jahr 2021 umfasste er 30 Millionen Euro, mit denen unter anderem die CO₂-Speicherung des Waldes und von Holzprodukten sowie die Anpassung des Waldes an den Klimawandel gefördert wurden. Der „Waldklimafonds“ ist bis Ende 2022 verlängert worden. Es ist eine zeitnahe Evaluierung geplant, die eine Anpassung an das ab 2023 geltende EU-Beihilferecht vorsieht.¹²⁹ Darüber hinaus haben viele Bundesländer Vertragsnaturschutzprogramme für den Wald aufgelegt, mit denen sie freiwillige Leistungen für den Natur- und Artenschutz honorieren.¹³⁰

120 | Vgl. BMBF 2022b.

121 | Vgl. Circular Bio-based Europe Joint Undertaking 2022.

122 | Im Jahr 2020 betrugen die Ausgaben des Bundes für Forschung und Entwicklung im Bereich Bioökonomie circa 308 Millionen Euro (Vgl. BMBF 2022a).

123 | Vgl. BMEL 2015.

124 | Vgl. BMBF 2021a.

125 | BMBF 2021b.

126 | Vgl. BMWK 2022b.

127 | Vgl. BMEL 2021d.

128 | Vgl. BMEL 2022b.

129 | Vgl. BMEL 2021c.

130 | Vgl. beispielsweise Richtlinie über Zuwendungen nach dem Bayerischen Vertragsnaturschutzprogramm Wald (VNPWaldR 2021).



Im Folgenden wird auf die für eine holzbasierte Bioökonomie wesentlichen Strategien und Gesetze eingegangen. Dabei spielt der „**Green Deal**“ der EU-Kommission¹³¹ eine wichtige Rolle, zielt er doch darauf ab, Klima-, Umwelt- und Biodiversitätsschutz mit – insbesondere an Environmental-, Social-, Governance-(ESG)-Kriterien orientierten – Investitionsmaßnahmen und nachhaltigen Wachstumsimpulsen zu verbinden. Auch wenn die aktuelle **EU-Bioökonomiestrategie**¹³² dort nicht erwähnt ist, so wird auf für die (holzbasierte) Bioökonomie relevante Aktionspläne und Strategien sowie auf künftige Vorhaben verwiesen.

■ **Kreislaufwirtschaft/Ressourceneffizienz**

Der „**Circular Economy Action Plan**“ der EU von 2020¹³³ adressiert das Design von Produkten, die Verantwortung von Konsumentinnen und Konsumenten und der öffentlichen Hand sowie im Kreislauf geführte Prozesse und verweist auf die für Holz relevanten Bereiche wie Verpackung, Textil sowie Baumaterial. Im Frühjahr 2022 hat die Kommission ihre Pläne mit konkreten Vorschlägen weiter untermauert. So soll mit dem Entwurf einer überarbeiteten **Bauproduktenverordnung** die Nachhaltigkeit im Baubereich durch einen „grünen“ und digitalen Wandel erreicht werden, in dessen Fokus die Bereitstellung von Informationen über die Umweltleistung von Bauprodukten steht.¹³⁴

Der Bausektor findet auch in der „**Renovation Wave**“¹³⁵ und im „**Neuen Europäischen Bauhaus**“¹³⁶ Beachtung. Die überarbeitete **Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden** (EPBD) zielt auf die Emissionsfreiheit sowie Dekarbonisierung des Gebäudebestands bis zum Jahr 2050 ab.¹³⁷ Auch in Deutschland finden sich relevante Punkte zur Ressourceneffizienz in diversen Strategien, zum Beispiel in

der „**Energieeffizienzstrategie 2050**“¹³⁸ sowie der „**Charta für Holz 2.0**“ des Bundeslandwirtschaftsministeriums¹³⁹ mit dem Leitmotiv „Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen“. Auch hier werden das Potenzial von Holz im Baubereich und in der Städtebauförderung sowie die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand betont.

Für die Verarbeitung und Verwertung von Holzprodukten ist das aus der EU-Abfallrahmenrichtlinie abgeleitete **Kreislaufwirtschaftsgesetz** (KrWG)¹⁴⁰ wichtig. Es regelt für Abfall- und Sekundärrohstoffe den Ressourcenfluss und schreibt die fünfstufige Abfallhierarchie fest: Vermeiden, Vorbereiten zur Wiederverwendung, Recyceln, sonstige Verwertung (energetische Nutzung) sowie Beseitigung. Das KrWG verweist zudem auf die gewünschte Hochwertigkeit der Verwertung sowie auf die Kaskadennutzung. Die **Altholzverordnung**¹⁴¹ regelt den Umgang mit Altholzern¹⁴² und ordnet Altholz vier Kategorien von naturbelassen bis schadstoffbelastet zu. Die seit längerem angedachte Novelle soll vor allem darauf abzielen, die stoffliche Altholznutzung zu verstärken.

■ **Klimaschutz**

Im „**Fit for 55**“-Paket¹⁴³ hat die Kommission Vorschläge für eine 55-prozentige Treibhausgaseinsparung bis 2030 sowie für die Klimaneutralität Europas bis 2050 unterbreitet. Dazu soll künftig verstärkt auch der „**Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)**“-Bereich¹⁴⁴ beitragen, indem der CO₂-Senkenbeitrag des Sektors – und somit auch der des Waldes – erhöht und auf die Erreichung des 55-Prozent-Ziels angerechnet wird. Zudem wird auch mithilfe dieser negativen Emissionen Klimaneutralität bis 2050 angestrebt. Erstmals sind LULUCF-Ziele für die Mitgliedstaaten vorgesehen.

131 | Vgl. Europäische Kommission 2019.

132 | Vgl. Europäische Kommission 2018.

133 | Vgl. Europäische Kommission 2020a.

134 | Vgl. Europäische Kommission 2022a.

135 | Vgl. Europäische Kommission 2021b.

136 | Vgl. Europäische Kommission 2021a.

137 | Vgl. Europäische Kommission 2021f.

138 | Vgl. BMWi 2019a.

139 | Vgl. BMEL 2018a.

140 | Vgl. KrWG 2021.

141 | Vgl. AltholzV 2002.

142 | In der Altholzverordnung umfasst der Begriff „Altholz“ Industrierestholz und Gebrauchtholz mit einem überwiegenden Holzanteil mit mehr als 50 Masseprozent.

143 | Vgl. Europäische Kommission 2021g.

144 | „A greenhouse gas inventory sector that covers emissions and removals of greenhouse gases resulting from direct human-induced land use, land-use change and forestry activities“ (UNFCCC 2022).

So müsste der deutsche LULUCF-Sektor im Jahr 2030 fast 31 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente speichern.^{145, 146}

Bereits zuvor war in Deutschland das **Klimaschutzgesetz**¹⁴⁷ im Jahr 2021 geändert worden: Auch dieses sieht einen CO₂-Senkenbeitrag des LULUCF-Sektors – vor allem durch Wälder und die Wiedervernässung von Mooren – in Höhe von 25 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2030 vor. Diese negativen Emissionen sollen zur avisierten Klimaneutralität Deutschlands bis zum Jahr 2045 beitragen.

Diese Ziele werden von einigen Stakeholdern kritisch gesehen, die mit der Erhöhung der Senkenleistung einhergehende Nutzungsverbote befürchten und somit Waldumbau und Holzverwendung bedroht sehen.¹⁴⁸ Andere verweisen darauf, dass die avisierte CO₂-Aufnahmefähigkeit der Wälder und Moore trotz aller Anstrengungen auch unter null liegen kann und somit andere Sektoren dann automatisch einspringen sollten.¹⁴⁹

■ Naturschutz und Biodiversität

Die „**Biodiversity Strategy for 2030**“¹⁵⁰ der EU hat den Artenschutz im Blick und schlägt Ziele für die Unterschutzstellung von Gebieten vor: Dreißig Prozent der Landfläche der EU sollen einem effektiven Managementsystem unterliegen, davon mindestens ein Drittel unter strikten Schutz gestellt werden – inklusive aller noch stehenden Primär- und Urwälder. Die neue „**EU-Waldstrategie**“ von 2021 versucht unter anderem, den Erhalt und die Wiederherstellung klimaangepasster, resilienter Wälder und eine forstbasierte Bioökonomie mit einer nachhaltigen Holznutzung, insbesondere im

Baubereich, zu verbinden. Sie enthält auch eine Roadmap für das Pflanzen von mindestens drei Milliarden zusätzlichen Bäumen in der EU bis 2030.¹⁵¹ Die deutsche „**Biodiversitätsstrategie**“ aus dem Jahr 2007¹⁵² hatte unter anderem Indikatoren und Schutzziele für Wälder bis 2020 formuliert, die jedoch teilweise nicht erreicht wurden.¹⁵³ Derzeit ist eine neue Biodiversitätsstrategie in Anlehnung an oben genannte EU-Biodiversitätsstrategie geplant. Erste Eckpunkte liegen bereits vor.¹⁵⁴ Die deutsche „**Waldstrategie 2050**“¹⁵⁵ beschreibt in zehn Handlungsempfehlungen das Leitbild für 2050. So sollen Ökosystemleistungen des Waldes für Gesellschaft, Natur und Wirtschaft erhalten, an den Klimawandel angepasst und angemessen honoriert werden.

Während NGOs die oben genannten Unterschutzstellungsziele der EU befürworten,¹⁵⁶ kritisieren Forst- und Holzwirtschaft diese als zu hoch und äußern Skepsis gegenüber der erwarteten hohen CO₂-Speicherleistung des Waldes.¹⁵⁷

Zudem regeln in Deutschland weitere Gesetze und Verordnungen die Holznutzung und -produktion: So verbietet das **Holz-sicherungsgesetz (HolzSiG)**¹⁵⁸ – in Umsetzung der EU-Holzhandelsverordnung¹⁵⁹ – den Import von illegal geschlagenem Holz oder entsprechenden Holzprodukten und enthält Sorgfaltsregelungen für Händler und Holzimporteure. Daneben gibt es zahlreiche Verordnungen und DIN-Vorschriften. Beispielhaft wird hier auf die Musterbauordnung (MBO) verwiesen, die als Richtschnur für die Bauordnungen der Länder dient, oder auf die sogenannte Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 (MHolzBauRL).^{160, 161}

145 | Vgl. Europäische Kommission 2021c.

146 | Vgl. Europäische Kommission 2021d.

147 | Vgl. KSG 2019.

148 | Vgl. DeSH 2021.

149 | Vgl. Germanwatch e. V. 2021.

150 | Vgl. Europäische Kommission 2020b.

151 | Vgl. Europäische Kommission 2021e.

152 | Vgl. BMUB 2007.

153 | So lag der Flächenanteil der Wälder mit natürlicher Waldentwicklung (NWE) im Jahr 2020 bei etwas über 3 Prozent anstelle der angestrebten 5 Prozent der Waldfläche in Deutschland (Vgl. BMEL 2021d).

154 | Vgl. BMU 2021.

155 | Vgl. BMEL 2021b.

156 | Vgl. Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung 2020.

157 | Vgl. DFWR 2021.

158 | Vgl. HolzSiG 2011.

159 | Vgl. Europäisches Parlament 2010.

160 | Vgl. Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2020.

161 | Vgl. MBO 2002.



Das **Bundeswaldgesetz**¹⁶² betont die Multifunktionalität der Wälder mit ihrer Schutz-, Nutz- und Erholungsfunktion und regelt deren Erhaltung und Bewirtschaftung sowie die Förderung der Forstwirtschaft. Das **Bundesnaturschutzgesetz**¹⁶³ verweist auf den naturnahen Aufbau sowie eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder. Beide sind Rahmengesetze und in den Bundesländern entsprechend umzusetzen. Die Bundesländer haben darüber hinaus eigene Initiativen gestartet, um die holzbasierte Bioökonomie voranzubringen (siehe Kasten).

Auch im Koalitionsvertrag der 20. Legislaturperiode finden sich relevante Punkte: So wird auf die SDGs als „Richtschnur für politisches Handeln“ verwiesen. Artenschutz und Biodiversität werden als sehr wichtig erachtet und das 30-Prozent-Unterschutzziel der EU-Biodiversitätsstrategie unterstützt. Zudem wird eine Novelle des Waldgesetzes angekündigt und auf den

Einsatz von digitalem Waldmonitoring verwiesen. Ferner sollen Klimaschutz- und Biodiversitätsleistungen durch weiter gefasste Zertifizierungen honoriert und die Weiterentwicklung von klimaresilienten Wäldern unterstützt werden. Der Einschlag in alten, naturnahen Buchenwäldern in öffentlichem Besitz soll gestoppt werden. FSC- oder Naturland-Standards sollen mittelfristig für die Bewirtschaftung von Wäldern im Bundesbesitz gelten. Des Weiteren werden eine Holzbauinitiative auf Bundesebene angekündigt und das Augenmerk auf Kaskadennutzung und Kreislaufwirtschaft gelegt. Im Zuge der energetischen Biomassenutzung soll eine nachhaltige Biomassestrategie erarbeitet werden. Auch werden Themen wie 5G-Ausbau, Forschungsausgaben, Fachkräftemangel und Finanzierungsinstrumente (private Investitionsanreize, Superabschreibungen, Prüfung der Abschaffung umweltschädlicher Subventionen) erwähnt.¹⁶⁴

162 | Vgl. BWaldG 1975.

163 | Vgl. BNatSchG 2009.

164 | Vgl. SPD, Bündnis90/Die Grünen, FDP 2021.

Strategien und Initiativen in den Modellregionen

Baden-Württemberg¹⁶⁵ und Bayern¹⁶⁶ haben jeweils einen Bioökonomierat eingerichtet und eigene Bioökonomiestrategien entwickelt. Die darin enthaltenen Handlungsfelder zielen unter anderem auf Vernetzung, Stärkung von Kooperationen, Wissenstransfer sowie unterstützende Rahmensetzung, Gesetze oder auch Fördergelder ab. Bioökonomie wird als Innovationsmotor betrachtet, der zukunftsfähige Arbeitsplätze schafft und den ländlichen Raum stärkt. Sachsen hat die Bioökonomie in seine Innovationsstrategie¹⁶⁷ integriert. Die Nationale Bioökonomiestrategie profitiert auch von den Initiativen in den Bundesländern. Darin hat die Bundesregierung angekündigt, weitere Maßnahmen im Rahmen einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe abzustimmen, um eine effiziente Entwicklung der Bioökonomie zu ermöglichen. 2012 ging das Spitzencluster „BioEconomy“ des BMBF nach Sachsen-Anhalt beziehungsweise Sachsen.¹⁶⁸ Die Bundesregierung plant, zusammen mit den betroffenen Bundesländern in den Regionen Lausitz, Mitteldeutschland und Rheinland sogenannte Modellregionen der Bioökonomie als „Schaufenster für biobasiertes Wirtschaften“ aufzubauen. Dabei sollen Handlungsempfehlungen zur Ausgestaltung des Transformationsprozesses erarbeitet werden. Im Projekt „MoreBio“ werden dazu Ideen für das Mitteldeutsche und das Lausitzer Revier

entwickelt. Gefördert wird dieses Vorhaben durch die finanziellen Strukturhilfen nach dem Kohleausstieg von Bund und den jeweiligen Ländern.¹⁶⁹ Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen haben analog zum Bund teils auch eigene Nachhaltigkeits-, Biodiversitäts-, Wald- oder Ressourcenstrategien entwickelt, die sich an den SDGs orientieren. Zudem gibt es zahlreiche Netzwerkinitiativen im Forst- und Holzbereich: Bayern und Baden-Württemberg haben ein eigenes Cluster „Forst und Holz“, in Sachsen wird das Kompetenzzentrum LignoSax¹⁷⁰ zur LignoSax e.V. weiterentwickelt. Diese Cluster fördern Austausch und Vernetzung, stellen Informationen bereit und bewerben mit Initiativen wie „proHolz“ die Vermarktung von Holzprodukten. In allen drei Modellregionen gibt es bereits Holzbauinitiativen beziehungsweise Holzbaukompetenzzentren – zuletzt wurde ein solches 2021 in Sachsen gegründet, nach Erfahrungen anderer Bundesländer und mit Unterstützung von „proHolzBW“.¹⁷¹ In Sachsen-Anhalt befindet sich ein InnovationsHub „Zukunft Holz & Klima“ in der Entstehung, der als Art Denkwerkstatt auch einen Informationsknoten für Kooperationen bilden soll.¹⁷² Bayern hat indes angekündigt, bis 2040 klimaneutral sein zu wollen: Es sollen Moore renaturiert, der Waldumbau beschleunigt und der Holzbau auch auf kommunaler Ebene gefördert werden.¹⁷³

165 | Vgl. UM/MLR 2019.

166 | Vgl. StMWi 2020.

167 | Vgl. SWMA 2013.

168 | Vgl. bioökonomie.de 2017a.

169 | Vgl. Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH 2021.

170 | Vgl. LignoSax 2020.

171 | Vgl. proHolzBW 2021.

172 | Vgl. SEG-MSH 2022.

173 | Vgl. Bayerische Staatskanzlei 2021.



3 Innovationen und Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Praxiseinführung

Wie in Kapitel 2.3 und 2.4 beschrieben, ist eine nachhaltige Rohstoffverfügbarkeit, die ökonomischen, ökologischen und sozialen Anforderungen gleichermaßen Rechnung trägt, wichtige Voraussetzung und zugleich auch Ansporn für Innovationen im Rahmen einer holzbasierten Bioökonomie.

Im Folgenden wird nur auf Innovationen der stofflichen Holznutzung eingegangen, da Holz auch aus Klimaschutzgründen primär stofflich und nicht direkt energetisch genutzt werden sollte. Die Beispiele werden entlang des Lebenszyklus dargestellt. Dabei werden die jeweiligen Treiber und Hemmnisse benannt und auch Beispiele aus den Modellregionen (blaue Kästen) beschrieben. Aufgrund des beschleunigten Waldumbaus

(siehe Kapitel 2.3) wird es künftig mehr Mischwälder mit mehr und klimaresilienteren Arten sowie einem höheren Laubholzanteil geben. Dies erfordert Flexibilität, das heißt, hier kommen Innovationen zum Tragen, die diesen langfristigen Änderungen des Sortiments gerecht werden (siehe Kapitel 3.1). Innovationen im Bereich Material- und Produkteffizienz leisten ebenso einen Beitrag für eine zukunftsfähige Bioökonomie wie Produktkreisläufe und Kaskadennutzung, das bedeutet idealerweise eine möglichst mehrfache stoffliche Holzverwendung (siehe Kapitel 3.2). Der Ersatz von auf fossilen Rohstoffen basierenden Erzeugnissen durch holzbasierte Produkte und Dienstleistungen – vor allem dann, wenn sie einen Mehrwert generieren beziehungsweise zur Einsparung des Rohstoffs beitragen – ist ein weiteres Feld für Innovationen (siehe Kapitel 3.3 und 3.4).

Stellvertretend für Innovationen im Forstbereich wird hier auf den Einsatz von Remote Sensing für die Überwachung und das Monitoring von Wäldern sowie digitale Möglichkeiten für eine schonendere Holzentnahme verwiesen (siehe Kasten). Dies kann auch die regionale Ansiedlung von Zukunftstechnologien unter Einbindung von KMU befördern.

Digitalisierung in der Forstwirtschaft

- Hierzu gehören Technologien zur Fernerkundung (Remote Sensing): Die Auswertung von Satellitendaten kann zur Unterstützung des Waldmonitorings und zur Erkennung von Schadereignissen hilfreich sein. Außerdem wurde der Einsatz von Drohnen getestet,¹⁷⁴ um zum Beispiel einen Borkenkäferbefall in einem möglichst frühen Stadium zu entdecken und somit dessen Ausbreitung sowie einen damit einhergehenden Holzpreisverfall zu vermeiden. Nadelwälder reagieren auf Stress, beispielsweise bei einem Borkenkäferbefall, mit einem vermehrten Ausstoß von Monoterpenen. Versuche zeigen, dass Drohnen bestückt mit Gassensoren die erhöhten Monoterpenemissionen detektieren und so bei der Erkennung in einem frühen Stadium des Befalls hilfreich sein können. Auch bei der Waldbrandfrüherkennung kommen Drohnen zum Einsatz.¹⁷⁵
- Die Holzernte im Bereich des Nadelholzes erfolgt in Deutschland bereits größtenteils über hochautomatisierte Erntemaschinen, sogenannte Harvester. Diese sind mit einem Bordcomputer, entsprechender Sensorik und einem Fällaggregat ausgestattet. Somit kann der Baum nicht nur gefällt und entastet, sondern gleich in das von Kundinnen und Kunden gewünschte Sortiment (Länge, Durchmesser, Anzahl der Abschnitte) zerlegt und die Aufträge können sukzessive abgearbeitet werden. Dadurch sind eine Just-in-Time-Bereitstellung des Holzes sowie eine Optimierung der Holzerntekette möglich geworden. Anschließend nimmt der sogenannte Forwarder das geschnittene Holz am Hiebort beziehungsweise an der Rückegasse, also dem unbefestigten Waldweg, auf und transportiert es bis zu einer befestigten Straße, wo dann die Lkw-Verladung erfolgt.

174 | Vgl. Paczkowski et al. 2021.

175 | Vgl. DLR 2019.

Die Ausstattung des Forwarder mit entsprechenden Bordcomputern ist relativ neu: Durch die Übermittlung des Arbeitsfortschritts und der Lagekoordinaten vom Harvester an den Forwarder können heute schon Arbeitsprozesse optimiert und Fahrwege in der Rückegasse reduziert werden – dies trägt wesentlich zur Bodenschonung bei. Die so bereitgestellten Daten können sowohl Hinweise für Wartungsarbeiten geben als auch Standzeiten verkürzen und den Kraftstoffbedarf verringern.

- Eine weitere Nutzung der Harvester-Daten wird diskutiert: Auch wenn die Daten erst ex post zur Verfügung stehen, so sind sie präziser und aussagekräftiger als zum Beispiel konventionelle Holzvermessungsmethoden wie fotooptische Verfahren. Die Verknüpfung von Harvester-Daten mit Geodaten könnte künftig in einem zunehmend heterogenen

Waldbestand die Lokalisierung der Sortimente effizienter machen.¹⁷⁶ Ferner wäre in der Produktkette eine Rückverfolgung bis hin zur Waldeigentümerin und zum Waldeigentümer möglich. Des Weiteren könnte die Verknüpfung von Datenbanken und geeigneten Simulationsmodellen neue Perspektiven zur Schonung der Waldböden eröffnen: So gibt es erste Ansätze, digital vorliegende Standortinformationen mit Bodenzustandsinformationen (zum Beispiel Bodenfeuchte, Wassersättigung) sowie den Prognosedaten des Deutschen Wetterdienstes zu verknüpfen, um auf diese Weise den bestgeeigneten Zeitpunkt für Holzerntemaßnahmen abzuleiten. In vielen der oben genannten Fälle sind jedoch noch rechtliche Aspekte im Hinblick auf Datenhoheit und -schutz zu klären, da Forstbetriebe und Flächeneigentümerinnen beziehungsweise Flächeneigentümer betroffen wären.

3.1 Flexibilität bei der Rohstoffnutzung: Verwendung vielfältiger Sortimente und Qualitäten

Ausgangslage: Der voranschreitende Waldumbau wird zu veränderten Holzsortimenten führen. Es wird mehr Laubholz, aber auch mehr Durchforstungsholz auf den sich entwickelnden beziehungsweise aufgeforsteten Flächen geben. Daneben ist künftig auch verstärkt Holz aus Landschaftspflege und Landwirtschaft (Kurzumtriebsplantagen) sowie Industrierestholz und Altholz (siehe Kapitel 3.2) zu nutzen. So erfordert der in einigen Jahrzehnten zunehmende Laubholzanteil eine Anpassung der Verarbeitungs- und Nutzungsprozesse an die heterogenen Eigenschaften von Laubhölzern. Buche und Esche weisen beispielsweise höhere (absolute) Festigkeiten auf als Nadelhölzer. Dies ermöglicht schlankere Tragkonstruktionen im Holzbau. Jedoch hat beispielsweise die Buche im Vergleich zu Nadelhölzern eine reduzierte Dauerhaftigkeit. Zudem ist ihr Schwind- und Quellverhalten, das heißt mit der Änderung der umgebenden Luftfeuchtigkeit einhergehende Volumenschwankungen, sehr

ausgeprägt. Derzeit finden Laubhölzer wegen ihrer Farbvielfalt und dekorativen Texturen vor allem als Beschichtungsmaterial (Furnier) für Möbel und im Innenausbau (zum Beispiel als Parkett) Verwendung. Auch im Holzwerkstoffbereich wird Laubholz insbesondere bei Furnierlagenholz (zum Beispiel Buchensperrholz oder Formholz), aber zunehmend auch als Brettstichholz und Brettsperrholz eingesetzt.¹⁷⁷ Im Außenbereich wird Laubholz beispielsweise bei der Konstruktion von Spielgeräten auf Spielplätzen verwendet.

Innovative Beispiele: Im Folgenden wird auf den Einsatz von Laubholz als hochtragfähiges Bauprodukt und anschließend auf die Modifizierung von Holz eingegangen. Damit können Holzeigenschaften wie Brennbarkeit, Quellen, Schwinden sowie biologischer Abbau (zum Beispiel durch Pilzbefall) verändert beziehungsweise unterdrückt werden. Aber auch das umgekehrte Vorgehen ist denkbar: Die Übernahme der natürlichen Eigenschaften sowie die Übertragung des Wissens um Strukturen und Prozesse der Natur auf technische Anwendungen im bionischen Sinne können zu einem Mehrwert führen.¹⁷⁸ Ferner wird ein Beispiel für die Verwendung von Durchforstungsholz aufgezeigt.

176 | Vgl. Kemmerer/Labelle 2020.

177 | Vgl. Niemz et al., i. E. 2023.

178 | Vgl. Fratzl et al. 2019.



- In der Holzwerkstoffindustrie werden bereits mehrere Laubholzsortimente genutzt. Jedoch werden Nadelhölzer gerade im Baubereich weiterhin die dominante Holzartengruppe darstellen,¹⁷⁹ auch wenn es entsprechende Beispiele für den Laubholzeinsatz gibt: So steht für den Baubereich Buchenfurnierschichtholz zur Verfügung: Dabei handelt es sich um verklebte Buchenfurniere, die auch für tragende Konstruktionen im Holzbau geeignet sind.¹⁸⁰ Des Weiteren werden tragende Teile aus Massivholzblöcken der Buche angeboten¹⁸¹ und erste Träger aus Stabschichtholz der Eiche verbaut.
- Die Modifizierung von Holz, das heißt die Veränderung der Zellwandstrukturen mit dem Ziel, die Eigenschaften des Holzes zu verbessern, kann biologisch (zum Beispiel enzymatisch), physikalisch (zum Beispiel thermisch, Thermally Modified Timber, TMT), mechanisch (zum Beispiel durch Pressverdichtung) oder chemisch erfolgen. Der Musikinstrumentenbau stellt ein Beispiel für den Einsatz von thermisch modifizierten Laubhölzern dar. Dort können außereuropäische Holzarten, deren Einfuhr dem Artenschutz gemäß EU-Holzhandelsverordnung unterliegt, durch heimische Laubhölzer ersetzt werden – Anwendungen finden sich etwa im Gitarrenbau.¹⁸² Ein Beispiel für eine chemische Modifikation (Chemically Modified Timber, CMT) ist die Acetylierung, das heißt die Behandlung des Holzes zum Beispiel mit Essigsäureanhydrid. Hier kommt es zu chemischen Reaktionen mit den Zellwandkomponenten, wodurch das Andocken der Wassermoleküle vermindert wird. Diese Methode hat insofern Vorteile, als sie die Festigkeitseigenschaften im Unterschied zu einer thermischen Modifizierung nicht negativ beeinträchtigt. Derart modifizierte Hölzer gelten als nicht kontaminiert und können somit wie unbehandeltes Holz wiederverwendet und recycelt werden. Sie werden bereits im Baubereich eingesetzt und zu konstruktiven Holzwerkstoffen (Engineered Wood Products) weiterverarbeitet (siehe Kasten).
- Statt die Eigenschaften des Holzes durch oben beschriebene Modifikation den gewünschten Funktionen anzupassen, können umgekehrt die natürlichen Eigenschaften des Holzes genutzt werden, um daraus andere Funktionen und Ideen zu entwickeln – wie beispielsweise neue geometrische Formen in der Holzarchitektur (siehe Abbildung 7).

Beispiel: Krähenneest, Baden-Württemberg

Für das 13 Meter hohe Krähenneest, das anlässlich der Landesgartenschau in Lahr in Baden-Württemberg 2018 errichtet wurde und als Aussichtsplattform dient, kamen runde Holzsäulen mit 40 Zentimetern Durchmesser aus sogenanntem Accoya-Brettschichtholz zum Einsatz. Dieses acetylierte Brettschichtholz der Kiefer weist eine hohe biologische Resistenz auf und wurde hier erstmals

für eine tragende Konstruktion in Deutschland verwendet.¹⁸³ Somit können Optik und Nachhaltigkeit des Holzes mit filigranen, sparsamen und dauerhaften Materialeigenschaften verbunden werden. Für die konstruktive Verwendung von acetyliertem Brettschichtholz für tragende Zwecke gibt es seit 2019 eine bauaufsichtliche Zulassung.¹⁸⁴

179 | Vgl. FNR 2020b.

180 | Zum Beispiel Baubuche der Firma Pollmeier, <https://www.pollmeier.com/de/>.

181 | Zum Beispiel Fagus-Bauholz (Vgl. Wood Circus 2021b).

182 | Vgl. Krüger et al. 2018.

183 | Vgl. Säulenmanufaktur Gebler GmbH, <https://saehlenmanufaktur.de/das-krähenneest-aus-accoya-ein-hightech-baustoff-fuer-saehlen-im-aussenbereich/>.

184 | Vgl. Oebbecke 2019.

Beispiel: Urbach Turm, Baden-Württemberg

Ein Umdenken im Entwurf und in der Konstruktion sowie neue digitale Materialmodelle ermöglichen es, die normalerweise unerwünschten Eigenschaften des Holzes (Anisotropie und Hygroskopie: unterschiedliches Quellen und Schwinden in radialen, tangentialen und longitudinalen Richtungen) nutzbar zu machen, um in einem völlig neuartigen, programmierten Selbstformungsprozess gekrümmte Holzbauteile zu realisieren: Zwei Holzschichten, eine passive und eine aktive Schicht, werden so zusammengeklebt, dass ihre Faserrichtung unterschiedlich orientiert ist. Diese Holzplatten werden als Bilayer bezeichnet und dienen als Grundbaustein für dieses Verfahren. Trocknet das feuchte Bilayer, schrumpft die aktive Schicht stärker als die passive Schicht. Da die beiden Schichten fest miteinander verklebt sind, biegt sich das Holz ohne weitere Kräfte durch Maschinen. Je

nach Dicke der Schichten, Orientierung der Fasern und Feuchtegehalt können die Verformungen des Grundbauelements mit einem Computermodell berechnet werden. Diese selbstgeformten Bilayer können miteinander zu geformtem Brettschichtholz verleimt und zu verschiedenen Bauelementen verarbeitet werden.¹⁸⁵

Ein Anwendungsbeispiel hierfür ist der Urbach Turm: Die Zweischichtelemente – im flachen Zustand hergestellt – krümmten sich ohne äußere Krafteinwirkung im industriüblichen Trocknungsprozess in die gewünschte Form. Der 14 Meter hohe Turm dient somit nicht nur architektonisch als Schutz und „Landmark“ beziehungsweise Wahrzeichen, sondern ist auch ein Beispiel beziehungsweise Ansatz für einen hochleistungsfähigen und nachhaltigen Holzbau.¹⁸⁶

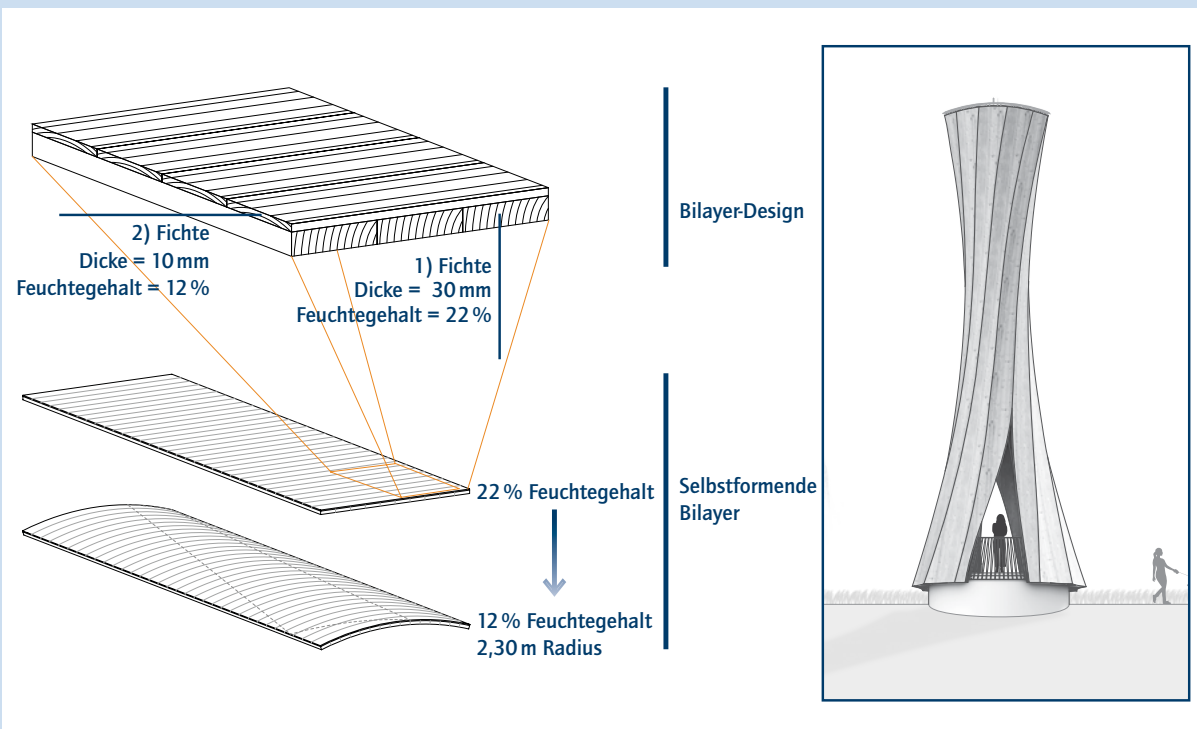


Abbildung 7: Selbstformender Fertigungsprozess zur Herstellung von stark gekrümmten Holzbauteilen für die Turmstruktur (ICD/ITKE – Universität Stuttgart; Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Wood 2021; links). Zeichnung des Turms (Ausschnitt; Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Bechert et al. 2021; rechts)

185 | Vgl. Grönquist et al. 2019.

186 | Vgl. Universität Stuttgart 2019.



- Durchforstungsholz, Sortimente mit geringeren Durchmessern sowie Äste und Kronen von Laubholz und die Wipfelstücke von Nadelbäumen ebenso wie unbehandeltes Industrierestholz aus Sägewerken werden – je nach Dimension und Qualität – in der Zellstoff beziehungsweise Holzwerkstoffindustrie eingesetzt oder energetisch verwendet. Sogenannte Makrofasern (MF)¹⁸⁷ können einen Beitrag leisten, um die stoffliche Nutzung von Schwachholz, insbesondere auch im Laubholzbereich, zu steigern. Dieses weist auch aufgrund des langsameren Wachstums und der Kronenbildung geringere Durchmesser und andere Qualitäten auf als Nadelholz. Mithilfe eines speziellen Prozesses, in dem das Rohholz entlang des natürlichen Holzgefüges aufgespalten wird, entsteht ein neuer Holzwerkstoff, der die von der Natur festgelegte Faserrichtung, Dichte und Festigkeitseigenschaften beibehält. Diese Makrofasern werden mit geeigneten Bindemitteln zu hochwertigen Verbundwerkstoffen verarbeitet. Diese weisen gute mechanische Eigenschaften auf und lassen sich zu Flachpressplatten beziehungsweise hochwertigeren Trägerformen verarbeiten. Dieser Prozess wurde bisher vornehmlich an Nadelhölzern demonstriert und soll mit Laubhölzern fortgesetzt werden. Wenngleich es für das Verfahren bereits Pilotprojekte gibt, hat es sich bisher aus Kostengründen noch nicht am Markt durchgesetzt.

Treiber und Hemmnisse: Ein Treiber für die oben genannten Innovationsbeispiele ist das sich verändernde Portfolio der künftig zur Verfügung stehenden Sortimente sowie gegebenenfalls weiter steigende Rohstoffpreise. Dies erfordert Flexibilität seitens der Einkäufer und entsprechende Anpassungsmaßnahmen in den Holz be- und verarbeitenden Betrieben. Zudem haben die COVID-19-Pandemie und internationale Krisen unterbrochene Transport- und Lieferketten sowie den Arbeitskräftemangel in den Fokus gerückt. Neben der Import- und Exportthematik sind hier Fragen der Logistik und der Organisation, etwa Just-in-Time-Lieferung und Lagerhaltung, zu nennen. Dies verlangt allen Akteuren ein hohes Maß an Flexibilität und Kreativität ab.

Derzeit werden unterschiedliche Holzeigenschaften der verschiedenen Laubholzarten häufig eher als Hemmnis gesehen: Die für deren Nutzung benötigte Prozessanpassung ebenso wie eine optimierte Logistik sind aufwendig und kostentreibend. Einige

Unternehmen scheuen derzeit vor Umstellungen zurück, zumal sich in der aktuellen Lage – bei einem Überangebot von günstigem Nadelholz (siehe Kapitel 2.3) – diese Investitionen noch nicht rechnen. Aber auch Naturschutzaspekte können zu Unsicherheit im Hinblick auf künftige Entwicklungen hinsichtlich der Rohstoffbasis führen. Ältere Buchenwälder im öffentlichen Waldbesitz (Bundeswald) sollen laut Koalitionsvertrag der 20. Legislaturperiode unter Schutz gestellt werden (siehe Kapitel 2.5).¹⁸⁸ Hemmnisse liegen auch in einer kleinteiligen Waldbesitzerstruktur,¹⁸⁹ die eine Mobilisierung von Durchforstungsholz und somit die Erschließung von weiterem Potenzial für die Holznutzung behindern kann.

Handlungsempfehlungen: Hier sind alle Akteure gefragt. Die Politik kann Planungssicherheit gewährleisten, etwa im Hinblick auf die Unterschutzstellung wertvoller Gebiete und nachhaltiger Nutzungskonzepte: Zusammenhängende und unter Schutz gestellte Flächen sind wichtig und haben ihre Berechtigung. Jedoch sollte auch künftig auf möglichst breiter Fläche eine integrative Waldbewirtschaftung – unabhängig von der Waldeigentümerstruktur – möglich sein. Diese sollte auch einen entsprechenden Anteil an Nadelholz berücksichtigen. Werden Flächen nachhaltig bewirtschaftet beziehungsweise erfolgt ein resilienter Waldbau, kann es zu Veränderungen kommen. Dieser dynamischen Entwicklung sollten naturschutzfachliche Anforderungen Rechnung tragen. Deren Einbindung kann helfen, Zielkonflikte zu vermeiden. Im Hinblick auf einen klimaanangepassten Wald sollten Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer für die Erbringung von Ökosystemleistungen honoriert werden. Dabei sind Klimaschutz, Biodiversität und eine nachhaltige Rohstoffversorgung gleichermaßen im Blick zu behalten.

Aufgrund der anderen Eigenschaften von Laubhölzern sowie deren geringerer Wuchsleistung und Ausbeute im Vergleich zu Nadelhölzern ist die Forschung in diesem Bereich weiter zu unterstützen.

Auch die öffentliche Hand kann bei der Beschaffung mit gutem Beispiel vorangehen und beispielsweise in Ausschreibungen die Laubholzverwendung fördern sowie die im Koalitionsvertrag der 20. Legislaturperiode angekündigte Holzbauoffensive voranbringen.

187 | Vgl. Bliem et al. 2020.

188 | Vgl. SPD, Bündnis90/Die Grünen, FDP 2021.

189 | Im Privatwald (48 Prozent der Waldfläche in Deutschland) sind die Eigentumsverhältnisse kleinteilig: In 50 Prozent der Fälle liegen diese bei einer Fläche < 20 Hektar (Kleinprivatwald), wovon wiederum die Hälfte auf sogenannten Kleinstprivatwald bis 5 Hektar entfällt (Vgl. BMEL 2021b).

Zudem sollte die Branche selbst ein Marketing für Laubholz aufbauen beziehungsweise das bestehende verstärken. Die Unternehmen sollten frühzeitig Investitionen tätigen, um sich mittelfristig gegenüber Importrisiken und Lieferkettenausfällen besser abzusichern und verstärkt auf verschiedene Holzsortimente regionaler Herkunft zurückgreifen zu können. Hierzu können langfristig verfügbare und kapazitiv ausreichende Flächen zur werterhaltenden Lagerung von Holz beitragen. Eine Möglichkeit, kostenintensive Anschaffungen im Maschinenpark zu reduzieren, könnte die gemeinsame Nutzung von Prozessanlagen sein. Dieser Ansatz einer „Sharing Economy“,¹⁹⁰ das heißt die geteilte Nutzung von vorhandenen und nur teilweise oder ungenutzten Infrastrukturen, kann auch beim Aufbau von Demonstrationsanlagen und bei Skalierungskapazitäten helfen.

3.2 Herstellung und Nutzung: Effizienz über den gesamten Lebenszyklus

Ausgangslage: Für eine nachhaltige Rohstoffbereitstellung bei steigender Nachfrage ist künftig nicht nur Flexibilität im Umgang mit anderen und verschiedener Sortimenten, sondern insbesondere auch die effiziente Rohstoffnutzung über den gesamten Lebenszyklus von Produkten von zentraler Bedeutung. Dabei leistet die Sekundärrohstoffwirtschaft durch die Verwendung von Altpapier und Altholz schon heute einen wichtigen Beitrag zur Einsparung des Primärrohstoffs und erhöht die Ressourcenproduktivität. Somit zahlen Vermeidungs-, Einspar- und Effizienzprinzipien¹⁹¹ auf Ressourcenschonung, Klimaschutz sowie Naturschutz, insbesondere den Schutz der Biodiversität, gleichermaßen ein. Ziel sollte es sein, aus einem Kubikmeter Holz möglichst viele, mehrfach genutzte und langlebige Produkte mit Mehrwert und hoher Wertschöpfung herzustellen. Insofern ist eine holzbasierte Bioökonomie Partner beziehungsweise wichtiger Baustein einer Kreislaufwirtschaft. Sie kann helfen, die Abfalllücke zu schließen, indem Sekundärrohstoffe möglichst oft,

lange und qualitativ hochwertig wiederverwendet werden. Im Folgenden wird auf Innovationen im Bereich der Material- und Prozesseffizienz verwiesen und anschließend auf das Potenzial von Altholz in der Kaskade eingegangen.

Material- und Prozesseffizienz (Leichtbau): Ein sparsamer Materialeinsatz sowie effiziente Prozesse mit geringem Wasser- und Energieverbrauch bei der Herstellung von Produkten können zur Ressourcenschonung und zu einem verminderten ökologischen Fußabdruck beitragen. Beispielhaft sind hier die Trockenzerfaserung für Papier- und Kartonrecycling sowie innovative Leichtbauansätze, aber auch der Holzbau zu nennen:

- Nicht jedes Papier lässt sich im klassischen Stoffaufbereitungsprozess für Altpapier zerkleinern – insbesondere dann nicht, wenn es nassfest beziehungsweise mit Kunststoff beschichtet ist. Das Papierrecycling ist ein wasser- und energieintensiver Prozess. Die wasserfreie Trockenzerfaserung von Papieren¹⁹² ist ein innovativer Ansatz, der einen hochwertigen, voluminösen Faserstoff erzeugt. Die Anwendungsszenarien für diese Technologie reichen von der Rückführung von Produktionsabfällen bei der Herstellung nassfest ausgestatteter Hygienepapiere über die Erzeugung von Isoliermaterialien (siehe Kapitel 3.3) bis hin zur Vorbereitung von Rohstoffen für die halbtrockene Papierherstellung. Diese Technik ist vielfältig einsetzbar und schont die Umwelt.
- Holz spielt auch in der Leichtbauinitiative der Bundesregierung eine Rolle. Leichtbaukonstruktionen sind vor allem im Logistik- und Transportbereich¹⁹³ weitverbreitet. So werden beispielsweise carbonfaserverstärkte Kunststoff(CFK)-Formteile als Best-Practice-Beispiel im Leichtbauatlas aufgeführt.¹⁹⁴ In diesen Bereichen senkt eine Gewichtseinsparnis den Kraftstoffbedarf, was wiederum Transportkosten reduziert und einen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Außerdem werden neuartige Furnierwerkstoffe beispielsweise in der innerbetrieblichen Transporttechnik der Fahrzeugindustrie eingesetzt (siehe Kasten).

190 | Schulze/Beck 2020, S. 219.

191 | Vgl. Steger et al. 2019.

192 | Vgl. Schrinner et al. 2022.

193 | Die Firma Delignit verwendet neuartige Schichtverbunde aus (Laub-)Holzfurnier und CFK (carbonfaserverstärkter Kunststoff). Dabei handelt es sich um Formteile für den Automobil-, Nutzfahrzeug- und Schienenfahrzeugbau. Dies ermöglicht Gewichtseinsparungen von bis zu 50 Prozent und Energieeinsparungen von bis zu 30 Prozent im Vergleich zur konventionellen Ausführung aus Aluminium. Dabei müssen diese Formteile den gleichen Festigkeitsanforderungen in Crashtests genügen wie herkömmliche Materialien; <https://www.delignitag.de/startseite.html>.

194 | Vgl. BMW 2022a.



Beispiel: ligenium GmbH, Sachsen

Die ligenium GmbH, ein Start-up aus Chemnitz, unterstützt angesichts sich stetig wandelnder Transportanforderungen Unternehmen bei einer reibungslosen Logistik. Das Start-up entwickelt individuelle und passgenaue Ladungsträger aus nachwachsenden Rohstoffen. Hierbei kommen Holzwerkstoffe zum Einsatz – mit den entsprechenden Eigenschaften: Holzbauteile sind nachhaltige Leichtbauelemente mit zudem schallreduzierenden Eigenschaften, was für intralogistische Transportsysteme und

fördertechnische Lösungen vorteilhaft ist. Die ligenium GmbH hilft somit Unternehmen dabei, nachhaltiger und gleichzeitig produktiver zu werden sowie Kosten einzusparen. In Zusammenarbeit mit seinen Kunden entwickelt das Start-up die Dimensionierung und die individuellen Anforderungen der zu transportierenden Bauteile, insbesondere für den Automobilbereich.¹⁹⁵ So war das Start-up sechs Monate lang im „Future Mobility Incubator“ von Volkswagen in Dresden tätig.¹⁹⁶

- Auch im Baubereich verbraucht eine Holzkonstruktion etwa 50 Prozent weniger Materialien pro Kopf als eine entsprechende Stahl-Beton-Konstruktion: Die Holzbauweise ist leichter und benötigt daher ein geringeres Fundament.¹⁹⁷

Aufgrund der geringeren Stärke kann zudem mehr Wohnfläche mit insgesamt weniger Material zur Verfügung gestellt werden (siehe Kasten).

Baubereich in Deutschland: Ausgangslage, innovative Beispiele, Treiber und Hemmnisse, Handlungsempfehlungen

Ausgangslage: Der Holzbau hat Eingang in politische Strategien und Maßnahmen gefunden (siehe Kapitel 2.5). Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, die derzeitige Holzbauquote zu steigern. Der Deutsche Holzwirtschaftsrat (DHWR) strebt an, die Holzbauquote bis 2030 auf 30 Prozent und bis 2050 auf 50 Prozent zu erhöhen.¹⁹⁸ 2020 lag die Holzbauquote im Wohnungsneubau deutschlandweit durchschnittlich bei 20,4 Prozent (18,7 Prozent in 2019). Dabei belegten Baden-Württemberg und Bayern im Bundesländervergleich die Plätze 1 und 2. Beim Neubau von Nichtwohnungsbauten lag der Holzbauanteil bei 20,9 Prozent im Jahr 2020 (19,5 Prozent in 2019).¹⁹⁹ In beiden Bereichen ist eine leichte Steigerung im Vergleich zum Vorjahr zu verzeichnen.

Innovative Beispiele: Weltweit, in Europa sowie in vielen deutschen Städten und Regionen gibt es architektonische Vorbilder und Leuchttürme für den Holzbau. So stehen Holzhochhäuser in Tokio, Wien oder Heilbronn. Derzeit entsteht in Hamburg das höchste Holzhochhaus Deutschlands.²⁰⁰ Aber auch ganze Stadtquartiere wie der Prinz-Eugen-Park in München wurden bereits in Holzbauweise realisiert (siehe Beispiel am Ende des Kastens auf S. 44) beziehungsweise sind in Planung, so etwa bei der Nachfolgenutzung des Flughafens Tegel in Berlin.

Konstruktions- und Prozessinnovationen rücken auch aus Gründen der Rohstoffverfügbarkeit und der steigenden Kosten in den Vordergrund – von der digitalen Planung bis hin zum „Design for Re-Use and Recycling“.

195 | Vgl. CLEANTECH 2020.

196 | Vgl. ACOD 2021.

197 | Vgl. Churkina et al. 2020.

198 | Vgl. DHWR 2020.

199 | Vgl. Holzbau Deutschland 2021.

200 | Vgl. HafenCity Hamburg GmbH 2021.

Treiber und Hemmnisse: Neben dem geringeren Materialeinsatz und Gewicht hat Holz im Baubereich einen zweifachen Klimanutzen: Zum einen bindet es den Kohlenstoff dauerhaft als Kohlenstoffspeicher, denn Holzgebäude haben eine durchschnittliche Gesamtnutzungsdauer von etwa 80 Jahren, wobei die technische Lebensdauer weit höher liegen kann. Dadurch werden 75 Prozent des Kohlenstoffs gespeichert,²⁰¹ bei einer Wiederverwendung alter Holzbalken entsprechend länger. Zudem kann Holz energieintensiv produzierte Baumaterialien wie Stahl und Beton substituieren, wodurch die CO₂-Speicherleistung erhöht wird (siehe Kapitel 2.4). Ein weiterer Vorteil liegt in einem verbesserten, gesunden Wohnklima aufgrund der Feuchtigkeitsregulation und der geringeren Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu Stahl und Beton. Die gute Wärmedämmung von Holz hat zudem einen geringeren Heizbedarf in Holzhäusern zur Folge. Hemmnisse sind zum einen regulatorischen Ursprungs wie beispielsweise die Muster-Holzbaurichtlinie, zum anderen sind die Kosten derzeit oftmals noch höher im Vergleich zu anderen Baumaterialien. Eine hohe Vorfertigungsquote sowie die witterungsunabhängige Teilvorfertigung von Elementen in der Halle sind wichtige Treiber für die Holzbauoffensive: Sie erlauben eine schnellere und qualitätsüberwachte Montage auf der Baustelle und sparen somit Zeit und Geld.

Handlungsempfehlungen: Serielle beziehungsweise modulare Bauweisen können sowohl im Neubau als auch in der Nachverdichtung und Sanierung dazu beitragen, Kosten zu senken, und sind somit verstärkt zu fordern und zu fördern. Entsprechende Weiterbildungsangebote sind auszubauen, um die Kenntnisse von Planern, Ingenieurinnen und Genehmigungsbehörden in Bezug auf den Werkstoff Holz zu vertiefen. Zur stofflichen Wiederverwendung von verbauten Holzbestandteilen bedarf es Informationen über deren Qualität, vor allem auch im Hinblick auf ihre Demontierbarkeit. Die Einführung eines Gebäudepasses kann hier die Grundlage für das „Urban Mining“²⁰² verbessern.²⁰³ Es gilt, frühzeitig im

Gesamtprozess von Planen und Bauen durch digitale Kommunikation zwischen Verwaltung und Antragsteller relevante Informationen durchgängig zu verknüpfen. Hierfür kann „Building Information Modeling“ (BIM) – eine Arbeitsmethode für vernetzte Planung, Bau und Bewirtschaftung von Gebäuden mittels Software – mit einem virtuellen Gebäudemodell als datenbasierter Prozess einen wichtigen Beitrag leisten. Durch BIM lassen sich der Koordinierungs- und Arbeitsaufwand sowie die Terminplanung zwischen Planerinnen beziehungsweise Planern, Architektinnen und Architekten, Holzbauunternehmen und allen beteiligten Gewerken durch den zentralisierten Datenaustausch über eine Cloudlösung vereinfachen. Im „BIMWood“-Projekt der Technischen Universität München wird untersucht, welche Hemmnisse einer BIM-Anwendung im Holzbau derzeit entgegenstehen, um daraus konkrete Verbesserungsvorschläge abzuleiten.²⁰⁴ Das Personal in den zuständigen Behörden und Verwaltungen ist entsprechend zu schulen.

Die angepasste Muster-Holzbaurichtlinie von 2021 hatte zum Ziel, das Bauen mit Holz zu vereinfachen und Regelwerke zu modernisieren. Jedoch fehlen wesentliche Ergänzungen, um die Richtlinie an den neuesten Stand von Technik, Wissenschaft und Praxis anzupassen und insbesondere den mehrgeschossigen Holzbau in Deutschland weiter voranzubringen. Dies gilt vor allem für die Aufnahme der Holztafelbauweise auch im Mehrgeschossbau der Gebäudeklasse 5, in der bislang nur mit erheblichen Beschränkungen die Holzmassivbauweise zugelassen ist. Dies ist insofern von Bedeutung, als durch konstruktive Elemente beim Holzrahmenbau im Vergleich zum Massivholzeinsatz bei gleicher Funktionalität eine deutliche Materialersparnis zu verzeichnen ist.

Szenarien zeigen, dass der Sektor europaweit zu einer Netto-Kohlenstoffspeicherung von bis zu 46 Millionen Tonnen CO₂ jährlich bis 2030 beitragen könnte²⁰⁵ – vorausgesetzt, der Holzbau erfährt Unterstützung durch einen Mix aus indirekten und direkten politischen

201 | Vgl. Weber-Blaschke 2019.

202 | „Aus Sicht des Umweltbundesamtes ist Urban Mining die integrale Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers mit dem Ziel, aus langlebigen Gütern sowie Ablagerungen Sekundärrohstoffe zu gewinnen“ (UBA 2022).

203 | Vgl. Purkus et al. 2020.

204 | Vgl. BLE 2022.

205 | Vgl. Hildebrandt et al. 2017.



Anreizen beziehungsweise Vorgaben. So könnte die öffentliche Hand mit Vorbildwirkung bei Ausschreibungen vorgehen.²⁰⁶ Zudem sollten die Gewährung von Zuschüssen und das Zinsniveau für Förderkredite für Neubauten stärker als bisher an die Erfüllung von

Nachhaltigkeitsanforderungen des Gebäudes und aller verwendeten Baustoffe geknüpft und die Anforderungserfüllung über Zertifizierungen nachgewiesen werden müssen.

Beispiel: Prinz-Eugen-Park, Bayern

Die Anwendung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Vergabe städtischer Baugrundstücke ist eine Möglichkeit, Klimaschutz und Ressourceneffizienz in der städtebaulichen Entwicklung voranzubringen. So ist in München auf einem ehemaligen Kasernengelände, im Süden des Prinz-Eugen-Parks, die größte zusammenhängende Holzbausiedlung Deutschlands mit etwa 570 Wohnungen in 8 Gebäuden entstanden. Es wurden unterschiedliche Gebäudetypen bis hin zu siebengeschossigen Häusern in Holzbauweise von verschiedenen Bauherren und Bauherren errichtet. Die Grundstücksvergabe erfolgte im Rahmen einer Konzeptausschreibung, bei der – neben anderen Kriterien – auch Holzbaukriterien eine Rolle

spielten. Über ein Münchner Förderprogramm wurde der Einsatz nachwachsender, Kohlenstoff speichernder Baustoffe der Gebäudehülle mit 0,20 Euro je Kilogramm langfristig im Gebäude verbaute nachwachsende Kohlenstoff gefördert. Nachhaltigkeitsnachweise sind durch Zertifizierung oder eine regionale Herkunft der Baustoffe zu erbringen.²⁰⁷ Nach Angaben der Stadt konnten je nach Konstruktion zwischen 9 und 56 Prozent an CO₂-Emissionen eingespart werden. Das Projekt leistet somit zusammen mit seinen Grünflächen und dem alten Baumbestand einen Beitrag zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung sowie zum Klimaschutz.²⁰⁸

Kaskade: Neben der Vermeidung und der Wiederverwendung für gleiche Zwecke (beispielsweise Re-Use im Möbelbereich) ist der mehrfache stoffliche Einsatz in Produktkreisläufen oder in Kaskaden ein weiterer zentraler Baustein (siehe Abbildung 8).

So gibt es im Papier- und Zellstoffbereich bereits etablierte Produktkreisläufe mit hohen Recyclingquoten (siehe Kapitel 2.1). Ähnliche Entwicklungen sind gegebenenfalls auch künftig für Textilien zu erwarten, da ab 2025 für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger die Verpflichtung besteht, auch Textilabfälle getrennt zu sammeln.²⁰⁹ Somit können auch (zellulosehaltige) Textilien künftig einem Recyclingkreislauf zugeführt werden.

Um eine hohe Rohstoffproduktivität zu erreichen, sollte eine Kaskade „eine mindestens zweimalige stoffliche Nutzung umfassen, und erst am Ende der Gesamtkaskade steht dann die Nutzung der Reststoffe als Energieträger.“²¹⁰ Die Holzwirtschaft beziehungsweise holzbasierte Industrie – vor allem die Holzwerkstoffindustrie – ist mit einem Kaskadenfaktor von im Schnitt 1,5 schon relativ fortgeschritten.²¹¹

Bisher ist die Kaskadennutzung oftmals noch mit einem Downcycling verbunden, das heißt, das recycelte Material hat eine geringere Qualität und Funktionalität als das Ausgangsmaterial. Für eine mehrfache stoffliche Kaskade, gegebenenfalls verbunden

206 | Seit 2011 gilt bei Büro- und Verwaltungsneubauten der Leitfaden Nachhaltiges Bauen sowie das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Hierbei muss mindestens der Qualitätsstandard „Silber“ eingehalten werden. Dieser Standard wurde von einigen Bundesländern und Kommunen übernommen. Baden-Württemberg, Berlin oder Hamburg fordern zudem, bei öffentlichen Bauten die mögliche Verwendung von Holz für Baukonstruktion und tragende Bauteile zu prüfen (Vgl. Purkus et al. 2020).

207 | Vgl. Landeshauptstadt München, Referat für Klima- und Umweltschutz 2021.

208 | Vgl. Wilke 2020.

209 | Vgl. KrWG 2021.

210 | Miletzky et al. 2020, S. 55.

211 | Vgl. Mantau 2012.

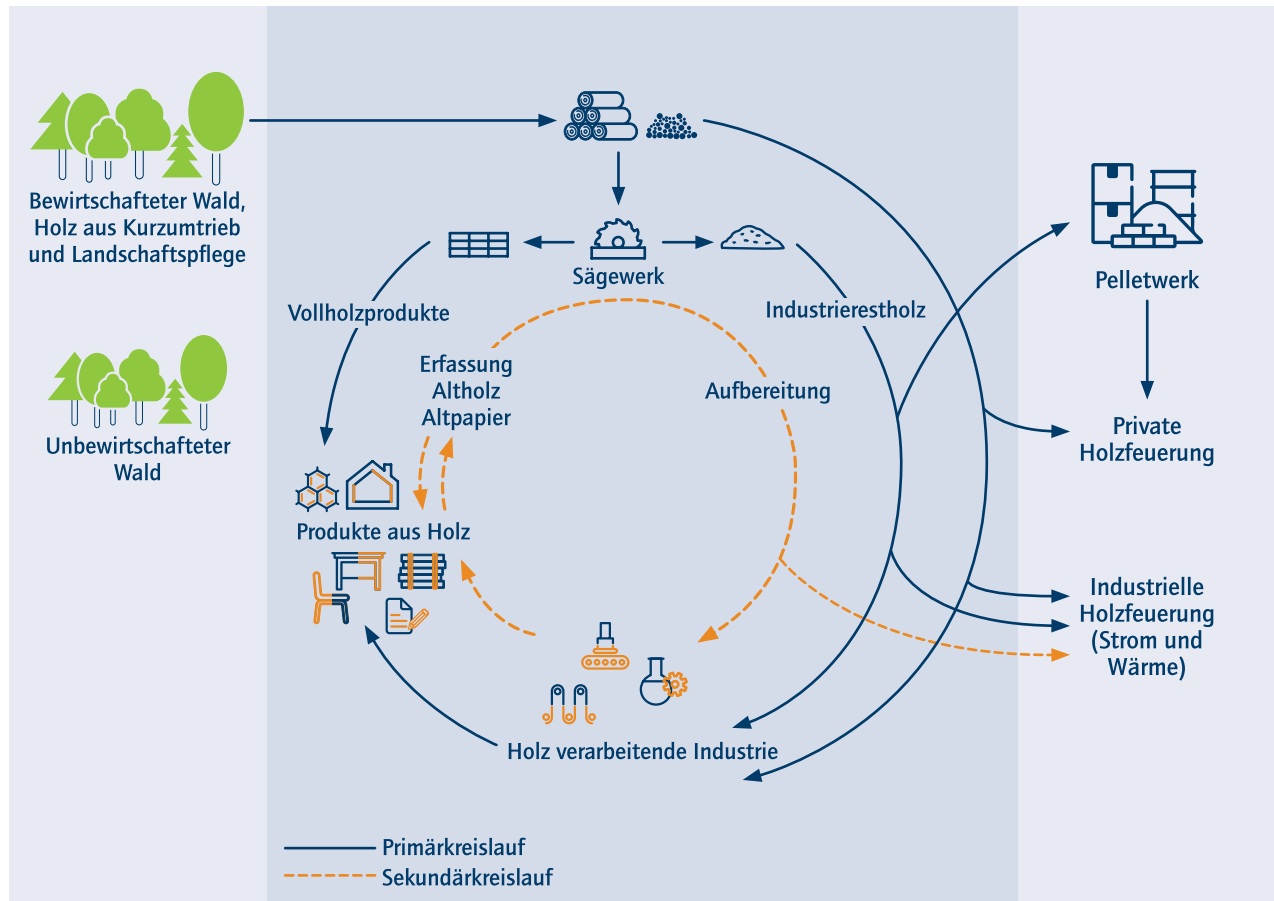


Abbildung 8: Prinzip der zirkulären Nutzung von Holz – Holznutzung/Kaskade (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an BMEL 2021e, basierend auf Strohmeier (VHI), Meinschmidt (WKI), Lüdtko (Thünen-Institut), 2020)

mit einem Upcycling, gibt es derzeit trotz erwiesener Vorteile (siehe Kasten) nur wenige Beispiele. In Umfragen bei Industrie und Unternehmen zur Kaskadennutzung wurden vor allem ökonomische (Logistik), Skalen- sowie Qualitätsaspekte als Hemmnisse angeführt.²¹² Zudem fehlt es oftmals an der notwendigen Vernetzung der an einer Kaskade beteiligten Akteure.²¹³ Die Unternehmen, die gebrauchtes Holz weiterverarbeiten, sind abhängig von den Akteuren, die das Holz vorher verarbeitet haben – diese Vernetzung wird umso komplexer, je mehr Kaskaden der

Rohstoff durchläuft und je langlebiger die jeweiligen Produkte sind. Bei den Konsumentinnen und Konsumenten scheint hingegen insofern eine aufgeschlossene Haltung gegenüber der Verwendung von Altholz zu herrschen, als bei geringeren Kosten dem Produkt aus Altholz der Vorzug gegeben würde. Weitere Kaufanreize sind demnach auch gegeben, wenn diese Produkte eine Kennzeichnung haben, die eine geringere Umweltauswirkung gegenüber Frischholzprodukten zertifiziert.²¹⁴

212 | Vgl. Husgafvel et al. 2018.

213 | Vgl. Jarre et al. 2020.

214 | Vgl. CaReWood 2017.



Kaskadennutzung und Handlungsempfehlungen für die energetische Holznutzung

Kaskadennutzung: Je nach Ziel und Systembetrachtung bei Vergleichen von Kaskaden (stoffliche Altholznutzung) mit beispielsweise dem direkten energetischen Altholzeinsatz oder der Frischholzverwendung können die Umweltauswirkungen im Rahmen von Life Cycle Assessments unterschiedlich ausfallen. Allerdings weisen viele Studien auf die ökologischen Vorteile einer Kaskadennutzung. So hat das Cascading-Recovered-Wood-Projekt (CaReWood) gezeigt, dass bei einem Kaskadenprozess im Baubereich das stoffliche Recycling des Baualtholzes im Vergleich zu dessen Verbrennung rund 29 Prozent weniger umweltrelevanten Impact (beispielsweise im Hinblick auf Klimawandel, CO₂-Emissionen, Bodenversauerung, Trinkwasser-Eutrophierung) und 32 Prozent geringere Kosten verursacht.^{215, 216} Wird Massivholz aus dem Bau in gleicher Funktion erneut im Baubereich eingesetzt, können energieintensive Materialien (Stahl, Beton) ersetzt werden. Zusätzlich zum reinen Kaskadeneffekt hinsichtlich THG-Emissionen beziehungsweise Kohlenstoffspeicherung käme somit noch ein Substitutionseffekt hinzu.²¹⁷

Auch Gärtner et al. haben bereits 2013 in ihrer *Gesamt-ökologischen Bewertung der Kaskadennutzung von Holz* gezeigt, dass bei einem Vergleich der Kaskadennutzung gegenüber Nichtholzprodukten die Kaskadennutzung ökologisch vorteilhafter ist.²¹⁸ Mit zunehmenden Kaskadenstufen vergrößert sich dieser Vorteil. Hierbei ergeben sich zwei Effekte: Zum reinen Kaskadeneffekt (Altholz im Vergleich zu Frischholzverwendung) kommt der Substitutionseffekt: Energieintensiv herzustellende Produkte werden durch langlebige Holzprodukte ersetzt, die zusätzlich CO₂-biogenen Kohlenstoff speichern. Die stoffliche (Kaskaden-)Nutzung hat gegenüber der direkten energetischen Holznutzung auch ökonomische Vorteile im Hinblick auf eine höhere Wertschöpfung und

auf Beschäftigungseffekte. Studien führen an, dass die stoffliche Holznutzung zu einer 7-fach höheren Beschäftigung führt als die energetische Holznutzung bezogen auf die gleiche Masse und eine Steigerung der Wertschöpfung etwa um den Faktor 4 bis 9 erreicht werden kann.²¹⁹

Handlungsempfehlungen für die energetische Holznutzung: Die energetische Biomassenutzung sollte vor allem aus Rest- und Abfallstoffen erfolgen, um nicht mit anderen Nutzungen in Konkurrenz zu treten.²²⁰ Dabei sind Entwicklung und Standardisierung von Brennstoffen aus Reststoffen und Abfällen genauso zu beachten wie eine saubere und effiziente Verbrennung hinsichtlich CO₂ und Feinstaub. Die energetische Holznutzung, sei es in Kraftwerken oder für Kraftstoffe, sollte am Ende einer Kaskade stehen.

Im Übrigen sollten künftig holzbasierte Bioenergieanlagen nur noch in Form hocheffizienter, flexibler und regelbarer Wärme- oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) – in Ergänzung und als Backup zum prioritären Ausbau von Wärmepumpen, Photovoltaik- und Windkraftanlagen – genehmigt werden. Diese sollen darüber hinaus auch nur Biomasse nutzen, die anderweitig nicht stofflich sinnvoll verwendet werden kann oder darf. Bisher ungenutzte holzartige und weitere Reststoffe sollen zielgerichtet mobilisiert werden. Darüber hinaus sollte eine Umstellung von Kohlekraftwerken auf Biomasse, wie dies in einigen EU-Ländern bereits der Fall ist,²²¹ nicht erfolgen – dies vor dem Hintergrund, dass für eine derartige mögliche Umrüstung keine ausreichenden Belege hinsichtlich energiewirtschaftlicher Vorteile vorliegen. Hinzu kommen schwer absehbare Nachhaltigkeitsrisiken, sodass in diesem Bereich der Einsatz von Biomasse zumindest nicht gefördert werden sollte.²²²

215 | Vgl. Risse et al. 2019.

216 | Vgl. Höglmeier 2014.

217 | Vgl. ebd.

218 | Vgl. Gärtner et al. 2013.

219 | Vgl. Carus et al. 2010.

220 | Vgl. acatech et al. 2019.

221 | Vgl. Norton et al. 2019.

222 | Vgl. DBFZ 2021.

Auch die derzeit gültige Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (RED II), die Regelungen zur Förderung erneuerbarer Energien vorgibt, verweist auf den Vorrang von Abfallvermeidung, stofflicher Nutzung und Recycling vor der energetischen Verwertung.²²³ Im derzeit laufenden Novellierungsprozess ist geplant, die Förderung von nachwachsenden Rohstoffen zu begrenzen und die dafür gültigen Nachhaltigkeitskriterien auch im Hinblick auf den Effizienzaspekt zu verstärken. Der Weltklimarat und verschiedene Studien verweisen darauf, dass Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung, Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS), eine wichtige Option für netto-negative Emissionen (negative CO₂-Emissionen) darstellen und einen Beitrag zur Einhaltung der Klimaschutzziele leisten könnte.^{224, 225} Die Frage, ob und wie das Potenzial gegebenenfalls in Deutschland erschlossen werden kann, sollte durch eine ganzheitliche Bewertung unter Beachtung technischer, ökonomischer, ökologischer sowie sozialer, institutioneller und rechtlicher Aspekte geklärt werden. Schließlich gilt es, bestehende Wettbewerbsverzerrungen zwischen stofflicher

und energetischer Holznutzung abzubauen. Für die stoffliche Holznutzung gibt es neben Produkt- und Vergaberecht zwar Beschaffungserlasse und Zertifizierungen²²⁶ sowie Produktdeklarationen, die entsprechende (Nachhaltigkeits-)Kriterien für Abnehmer sowie Konsumentinnen und Konsumenten dokumentieren, aber keine vergleichbare finanzielle Förderung wie für die energetische Holzverwertung.

Der Abbau von Fördermaßnahmen konkurrierender Biomassenutzungen wird daher vielfach als wichtiger Baustein genannt, um die Biomassenutzung in Kaskaden zu verlängern.²²⁷ Hierfür ist ein erster wichtiger Schritt, die bisher spezifischen Anreize für die energetische Holznutzung wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Marktanreizprogramme für erneuerbare Energien abzubauen²²⁸ – insbesondere im Wärmebereich ist hier schnelles Handeln geboten – und durch eine CO₂-Bepreisung aller Sektoren zu ersetzen.²²⁹ Dabei ist entscheidend, dass der CO₂-Preis in eine ambitionierte Klimapolitik eingebettet ist.

Altholz ist ein ökonomisch und ökologisch bedeutsamer Sekundärrohstoff, der weniger Trocknungsenergie verbraucht als Frischholz. Die stoffliche Altholznutzung wird daher aus Klima- und Ressourcengründen an Bedeutung gewinnen. Oftmals stehen jedoch schadstoffhaltige Additive einer stofflichen Kaskadennutzung von Altholz im Wege. Innovative Schadstofferkennungsverfahren sowie umweltfreundliche Additive können ebenso dazu beitragen, den stofflich einsetzbaren Altholzanteil und dessen Qualität zu steigern, wie die rechtzeitige Entwicklung effizienter Erfassungs- und Rücknahme- sowie Aufbereitungssysteme:

- Durch optische Echtzeit-Erkennungsverfahren wie zum Beispiel Röntgenfluoreszenz (RFA) oder Nahinfrarot-Spektroskopie (NIR) können Schadbestandteile effizient aussortiert werden. Deren Einsatz in Altholzaufbereitungsanlagen kann dazu beitragen, dass das anfallende Bauholz nach Abriss oder Rückbau schnell untersucht, sicher sortiert und somit verstärkt stofflich genutzt werden kann. Die mögliche Wiederverwendung auch von Konstruktionshölzern aus dem Baubereich ist insofern von Bedeutung, als der gesamte Bausektor mit über 54 Prozent am Abfallaufkommen in Deutschland beteiligt ist. Zudem sollen der Wohnungsbau forciert und die Holzbauquote gesteigert werden. Baualthölzer, das heißt

223 | Vgl. Europäisches Parlament 2018.

224 | Vgl. acatech et al. 2019.

225 | Vgl. Prognos AG et al. 2021.

226 | Seit 2010 beschafft die Bundesregierung nur noch Holzprodukte aus Beständen, die nach PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification), FSC (Forest Stewardship Council) oder vergleichbaren Systemen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zertifiziert sind. Im Jahr 2020 waren etwa 80 Prozent der deutschen Waldfläche zertifiziert. Von Juli 2020 bis Mai 2021 war ein deutlicher Anstieg der PEFC-Zertifizierung zu verzeichnen, der etwa 10 Prozent der bisher zertifizierten Fläche entspricht. Dieser Zuwachs ist auf die Nachhaltigkeitsprämie des Bundes zurückzuführen, dessen Vergabe an eine Zertifizierung gebunden ist (Vgl. BMEL 2021d).

227 | Vgl. Fehrenbach et al. 2017.

228 | Vgl. Hennenberg et al. 2022.

229 | Vgl. acatech et al. 2019.



Konstruktionshölzer, Dachsparren, Außentüren und Fensterahmen, werden derzeit oftmals pauschal der Altholzkategorie A IV zugerechnet, unabhängig vom jeweiligen Anteil an Störstoffen. Damit geht ein großes Potenzial für die stoffliche Kaskade verloren.

Weiter werden an den Brandschutz – vor allem im Holzmehrgeschossbau der Gebäudeklasse 5 – hohe Anforderungen an Baustoffe und Bauteile gestellt.²³⁰ Dabei kommen oftmals halogenierte und andere Flammschutzmittel zum Einsatz, die Schadstoffe enthalten. Der Einsatz von in der Forschung entwickelten biobasierten Flammschutzmitteln²³¹ wäre nicht nur ökologisch vorteilhaft, sondern könnte auch einen Beitrag für die stoffliche Wiederverwendung im Sinne der Kaskadennutzung leisten.

- Verbundmaterialien wie beispielsweise Wood Polymer Composites (WPC), die häufig als Terrassenböden eingesetzt werden und somit unter anderem Tropenholz ersetzen, werden bei aktuell noch geringen Mengen meist über Sperrmüllentsorgungen oder Wertstoffhöfe erfasst. In den Altholzverarbeitungsanlagen werden sie mangels Einsatzfähigkeit als Rezyklat in der Spanplattenindustrie aussortiert und anschließend in Abfallverbrennungsanlagen verbrannt. Mittlerweile wurden jedoch erste Aufarbeitungs- und Recyclingverfahren für WPC entwickelt, sodass zerkleinertes Altholz-WPC wieder zu WPC-Elementen verarbeitet werden kann, deren Qualität (zum Beispiel Bruchfestigkeit) die Hersteller mit einem eigenen Siegel garantieren. Der qualitätsgesicherte Einsatz von Rezyklaten wird sowohl bei den Naturfasern als auch bei den Polymeren vorangetrieben.

Bereits jetzt sind WPC-Hersteller in Deutschland eine freiwillige Rücknahmeverpflichtung eingegangen, auch wenn die Frage der flächendeckenden Sammellogistik noch ausstehend ist: So lohnt sich die WPC-Erfassung insbesondere durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger in Vorbereitung auf die Kaskadennutzung aktuell nicht, da deren Sammelmenge noch zu gering ist. Außerdem bedarf es einer Detektion und Trennung je nach Polymerart, bevor diese Stoffe dann getrennt aufgeschmolzen und weiterverarbeitet werden. Diese Detektion sollte idealerweise bereits an der Sammelstelle erfolgen, sodass die anfallende Menge

entsprechend sortiert und zum geeigneten WPC-Recycler zurückgeführt werden kann.

Treiber und Hemmnisse: Die oben genannten Beispiele zeigen, dass es künftig noch Potenzial bei der stofflichen Altholznutzung gibt. Wesentliche Treiber für eine Kaskadennutzung sind die Holzverknappung und daraus resultierend höhere Preise für den Primärrohstoff. Somit könnten Investitionen in die verstärkte stoffliche Altholznutzung auch in weiteren Produktkaskaden rentabel werden. Zudem zeigen Untersuchungen, dass die ökonomischen Nachteile einer Kaskade zu negativ eingeschätzt werden.

Allerdings ist jüngst auch Altholz knapp geworden und die Preise sind gestiegen – aufgrund höherer Nachfrage und wegen Aufhol-effekten nach den ersten Wellen der COVID-19-Pandemie im In- und Ausland. Zudem dürfte derzeit auch stofflich verwertbares Altholz in die energetische Nutzung gehen.²³² Je höher sich die Energiepreise auch aufgrund des Krieges in der Ukraine und der daraus folgenden Entwicklungen gestalten, desto länger dürfte diese Tendenz anhalten. Die stoffliche (Alt-)Holznutzung hängt somit auch von der Förderpolitik für die energetische Holznutzung und den Energiepreisen ab (siehe Kasten oben). Es gilt, die Mengenverfügbarkeit von Reststoffen und Gebrauchthölzern für die stoffliche Kaskade zu erhöhen. Hierzu kann eine Erfassungs- und Versorgungslogistik beitragen. Insbesondere sind hier die separate Erfassung und Aufbereitung von holzhaltigem Sperrmüll hervorzuheben. Aber auch die Qualität des Altholzes ist entscheidend: Eine Anreicherung von Schadstoffen aus der Erstnutzung kann sich gegebenenfalls ungünstig auf eine Kaskadennutzung auswirken, wenn diese aufwendig entfernt werden müssen. Im Unterschied zu vielen anderen europäischen Ländern hat Deutschland eine Altholzverordnung, die eine Altholzklassifikation und Vorgaben zur Aufbereitung für Gebraucht- und Industrieböden enthält, aber in ihrer derzeitigen Fassung den Vorrang einer stofflichen Nutzung nur unzureichend abbildet.

Handlungsempfehlungen: Die lange angekündigte Novelle der Altholzverordnung in Deutschland ist zur Umsetzung der Kaskade zügig zu realisieren. Ziel sollte es sein, die stoffliche Verwendung prioritär für Althölzer der Kategorie A I, A I/A II sowie

230 | Vgl. MBO 2002.

231 | Vgl. Gebke et al. 2020.

232 | Vgl. Bergmann 2022.

AlI vorzuschreiben,^{233, 234} den Sperrmüllanteil als Potenzial zu begreifen,²³⁵ das heißt dessen Sammlung und Management zu verbessern, sowie Bau- und Konstruktionshölzer nicht pauschal in Kategorie AIV einzustufen, sondern deren stoffliches Verwendungspotenzial mit dem neuesten Stand der Technik der Altholzaufbereitung zu erschließen. Abfallerzeuger sind hinsichtlich der Sekundärrohstoffpotenziale ihrer Abfälle zu sensibilisieren und Unternehmen hinsichtlich innovativer Aufbereitungsprozesstechnik durch entsprechende Förderung zu unterstützen.

Zudem sollte der Umgang mit Althölzern zumindest europaweit harmonisiert geregelt und deren Potenzial durch Erfassung und gezielte Aufbereitung der Althölzer genutzt werden.

Es ist von der im KrWG vorhandenen Verordnungsermächtigung Gebrauch zu machen, um die Kaskadennutzung prioritär festzuschreiben, zum Beispiel im Hinblick auf eine Sperrmüllverordnung.

Entscheidend für die Qualitätssicherung in einer Kaskade ist auch die Berücksichtigung der Wieder- und Weiterverwendung von Holz bereits im Designprozess.²³⁶ Das Prinzip „Design for Re-Use“ beziehungsweise „Design for Recycling“ sollte daher – wo immer möglich – zum Maßstab beziehungsweise zur Richtschnur für die Produkthersteller werden. Zudem könnten weitere, sektorübergreifende Ideenwettbewerbe für „Langes Leben – Holz als Kohlenstoffspeicher“ oder zum Thema „Upcycling“ angedacht werden.

Es sind verstärkt Life Cycle Assessments (LCAs) für einen transparenten Vergleich von Holzprodukten mit funktional vergleichbaren Produkten aus anderen Materialien heranzuziehen. Ökobilanzen und LCAs liefern wichtige Erkenntnisse über den Beitrag von Produkten zu Klimaschutzleistungen (beispielsweise Kohlenstoffspeicherung) sowie zu anderen Nachhaltigkeitskriterien.

Sie sind bereits heute vielfach Grundlage von einigen Siegeln, Umweltlabels und Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration, EPD) sowie für Zertifizierungen, auf denen Förderprogramme und Zuschüsse aufsetzen. So ist beispielsweise die Zertifizierung mit dem staatlichen Gütesiegel „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG)²³⁷ Voraussetzung, um im Rahmen der „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) einen Kredit der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) beziehungsweise Zuschuss für Neubauten zu bekommen.²³⁸ Die Nachweiserführung erfolgt über Ökobilanzen. Seitens der Bundesregierung ist ab 2023 ein neues Programm „Klimafreundliches Bauen“ geplant.²³⁹ Dabei sollen Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus der Gebäude stärker in den Fokus rücken. Grundsätzlich sollten staatliche Zuschüsse an die Einhaltung von Klimaschutz- und wissenschaftlich basierten Nachhaltigkeitskriterien gebunden werden. Dies könnte beispielsweise in Form einer Obergrenze für THG-Emissionen je Quadratmeter Nutz- beziehungsweise Wohnfläche im Neubaubereich erfolgen, was wiederum dem Holzbau im Hinblick auf dessen CO₂-Speicherleistung zugutekommen würde.

Für den Aufbau von Sammel- und Sortiersystemen ist eine effiziente und digitalisierte Logistik entscheidend. Dies gilt in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und die Akzeptanz seitens der Unternehmen sowie der Kundinnen und Kunden – insbesondere im Hinblick auf Erfassungs-, Detektier-, Trenn- und Reinigungsverfahren –, aber auch im Hinblick auf den Flächenbedarf in urbanen Räumen sowie kurze Transportwege. Die Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten kann auch anhand klarer Verbraucherinformation beziehungsweise Zertifizierung über die Umweltvorteile von Recyclingprodukten durch die Unternehmen gesteigert werden.

233 | Vgl. Flamme et al. 2020.

234 | Altholzkategorie AlI: naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holz-fremden Stoffen verunreinigt wurde, Altholzkategorie AlII: verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel (Vgl. AltholzV 2002).

235 | Vgl. Strohmeyer 2019.

236 | Vgl. Jarre et al. 2020.

237 | Vgl. BMWStB 2022.

238 | Vgl. BPA 2022.

239 | Vgl. ebd.



Beitrag der Digitalisierung für Ressourceneffizienz und Kaskadennutzung

Digitalisierung ist für den gesamten Lebenszyklus eines Produkts von entscheidender Bedeutung – von dessen Herstellung, einer gegebenenfalls virtuellen Wartung und Überwachung von Maschinen über die Nutzung bis hin zur Nachverfolgung von Produktkomponenten. Digitalisierung kann darüber hinaus die Vernetzung von Unternehmen in einer Kaskade wesentlich fördern, beispielsweise über die Bereitstellung und das Teilen von Produktdaten auf Plattformen oder aber auch im Hinblick auf logistische Fragen. So können Angebot und Nachfrage von speziellen Produkten beziehungsweise Intermediaten in Wertschöpfungsketten koordiniert werden.

Ein Beispiel ist das von der EU geförderte Projekt „AlpLinkBioEco“: Mittels einer Software können über „Bio-links“ Lücken in Wertschöpfungsketten/-netzen geschlossen werden.²⁴⁰ So können unter anderem Akteure des Clusters „Forst und Holz“ mit anderen Wirtschaftszweigen – beispielsweise Chemie oder Automotive – vernetzt werden. Aber auch das sogenannte Tracing, beispielsweise mittels RFID-Chips,²⁴¹ erlaubt die Nachverfolgung von Holzprodukten und erleichtert so deren Wiedereinsatz.

Des Weiteren können digitale Produktpässe, wie von der nationalen Politik sowie auf EU-Ebene auch für den Baubereich²⁴² angekündigt, dabei unterstützen, relevante Informationen zum Produkt sowie zu dessen Eigenschaften und Recyclingfähigkeit gebündelt, standardisiert und transparent den relevanten Akteuren einer Wertschöpfungskette zur Verfügung zu stellen, um somit die Kreislaufwirtschaft zu fördern und eine EU-weite Harmonisierung von Bauprodukten voranzutreiben. Einsatzbeispiele für Industrie 4.0 und Robotik finden sich bereits im Bereich der Holzernte, der Möbelindustrie oder im Holzbau. So können Roboter ressourcenschonend bei der Herstellung individualisierter Bauteile mit erhöhter Tragfähigkeit, aber auch in der Montage eingesetzt werden, wie unter anderem der im Rahmen der Landesgartenschau in Schwäbisch Gmünd 2014 errichtete Forstpavillon²⁴³ zeigt. In allen Fällen muss eine hohe Datenmenge in Echtzeit zur Verfügung gestellt und verarbeitet werden. Hierfür ist der möglichst flächendeckende, zügige Ausbau des 5G-Netzes in Deutschland weiter voranzutreiben.²⁴⁴

3.3 Substitution: „Drop-ins“ – Prozess- und Produktinnovationen

Ausgangslage: Ein Ziel der Bioökonomiestrategie ist es, Produkte auf Basis fossiler Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe mit den gleichen Eigenschaften und Funktionalitäten zu ersetzen, um einen Beitrag zu Klimaschutz und für eine Kreislaufwirtschaft zu leisten.

Jedoch ist nicht jedes biobasierte Produkt per se bioabbaubar und ökologisch vorteilhafter als das ersetzte Produkt, das aus fossilen, petrochemischen Rohstoffen hergestellt wurde. Die Umweltauswirkungen hängen von verschiedenen Faktoren wie beispielsweise der Zusammensetzung in möglichen Materialverbunden oder den verwendeten Bindemitteln und Additiven ab. Dies ist durch entsprechende transparente und vergleichbare Ökobilanzen nachzuweisen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass auch nachwachsende, holzbasierte Ressourcen nur begrenzt verfügbar sind.

240 | Vgl. BIOPRO 2021.

241 | Vgl. Wood Circus 2021a.

242 | Vgl. Europäische Kommission 2022b.

243 | Vgl. ITKE 2014.

244 | Vgl. Fleischer et al. 2021.

Bereits heute sind eine Reihe von holzbasierten Ersatzprodukten auf dem Markt. So werden Komponenten aus den akzessorischen Bestandteilen zahlreicher Hölzer, zum Beispiel Harz, Terpene oder phenolische Verbindungen, im medizinischen, pharmazeutischen und kosmetischen Bereich, für Klebstoffe oder zur Oberflächenversiegelung eingesetzt. Im Folgenden liegt der Fokus auf den chemischen Hauptbestandteilen des Holzes: Zellulose, Hemizellulosen und Lignin als Ausgangsstoffe. Diese Komponenten können in sogenannten Bioraffinerien²⁴⁵ gewonnen werden.

Je nachdem, welcher nachwachsende Rohstoff eingesetzt wird, wird zwischen verschiedenen Typen von Bioraffinerien unterschieden. Im Folgenden wird auf die holzbasierte Lignozellulose-Bioraffinerie eingegangen. Dabei werden im Wesentlichen zwei Ansätze verfolgt: Der „Bottom-up“-Ansatz beschreibt die Erweiterung einer bereits vorhandenen Biomasseverwertungsanlage, wie beispielsweise eines Zellstoffwerks, bei dem die oben genannten Komponenten anfallen und weiterverarbeitet werden. Unter dem „Top-down“-Ansatz werden neue, hochintegrierte Anlagen subsumiert, die eigens für Primär- und Sekundärraffination errichtet werden – mit dem Ziel, aus Holz eine Vielzahl an Produkten für verschiedenste Märkte möglichst abfallfrei zu produzieren. Hier wird das Holz zuerst vorbehandelt und dann in seine oben genannten Bestandteile zerlegt. Diese können anschließend zu Plattformchemikalien (beispielsweise Ethanol, Glycerin, Furfural etc.) weiterverarbeitet werden. Daraus können wiederum veredelte Produkte wie Kraftstoffe, Textilien, Werkstoffe, Verpackungen, Baustoffe, Kosmetika oder Tenside entstehen.^{246, 247}

Da Holz im Vergleich zu fossilen Rohstoffen eine komplexere Struktur hat, sind Aufschlussverfahren nötig.

Innovative Prozessbeispiele: Im Jahr 2017 gab es in Europa 25 holzbasierte Bioraffinerien (ohne reine Papierzellstoffwerke).²⁴⁸ Viele davon arbeiten nach dem „Bottom-up“-Ansatz und sind in Skandinavien zu finden. Sie verwenden vor allem Fichte und Kiefer als Rohstoff. Laut Forschungsergebnissen kommen neben Fichte und Kiefer auch andere Nadelhölzer wie Douglasie²⁴⁹ oder Lärche²⁵⁰ als Rohstoff für die Bioraffinerie infrage, teilweise ist deren Eignung noch Gegenstand der Forschung. Auch Laubhölzer können eingesetzt werden.²⁵¹ In Deutschland befinden sich holzbasierte Bioraffinerien nach dem „Top-down“-Ansatz noch in der Entwicklung beziehungsweise im Bau. Aus diesem Grund existieren hierzulande lediglich Zahlen über die Kapazität der im Bau befindlichen Bioraffinerieanlage in Leuna (siehe Kasten Bioraffinerieanlage UPM) sowie zu einigen Pilot- oder Demonstrationsanlagen wie der 2012 in Betrieb genommenen Demonstrationsanlage zur Bioethanolherstellung in Straubing.^{252, 253}

Innovative Produktbeispiele: Im Folgenden werden innovative Substitutionsbeispiele, sogenannte Drop-ins, dargestellt, die entweder bereits am Markt verfügbar sind oder bei denen noch Forschungsarbeit zu leisten ist. So können aus Zellulose beziehungsweise Zellulosefasern unter anderem Isolationsmaterialien (siehe Kasten easy2cool), holzbasierte Verpackungen oder Carbonfasern hergestellt werden. Aus der Lignin-Fraktion können beispielsweise Füllstoffe entstehen.

245 | „Eine Bioraffinerie zeichnet sich durch ein explizit integratives, multifunktionelles Gesamtkonzept aus, das Biomasse als vielfältige Rohstoffquelle für die nachhaltige Erzeugung eines Spektrums unterschiedlicher Zwischenprodukte und Produkte (Chemikalien, Werkstoffe, Bioenergie inkl. Biokraftstoffe) unter möglichst vollständiger Verwendung aller Rohstoffkomponenten nutzt; als Koppelprodukte können ggf. zusätzlich auch Nahrungs- und/oder Futtermittel anfallen. Hierfür erfolgt die Integration unterschiedlicher Verfahren und Technologien“ (FNR 2014, S. 21).

246 | Vgl. Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern 2020.

247 | Vgl. Platt et al. 2021.

248 | Vgl. bioökonomie.de 2017b.

249 | Vgl. Carvalheiro et al. 2008.

250 | Vgl. Kuznetsov et al. 2018.

251 | Vgl. Nitzsche et al. 2021.

252 | Vgl. Fraunhofer IGB 2022.

253 | Vgl. Sunliquid-Projekt 2021.



Beispiel: Bioraffinerieanlage UPM, Sachsen-Anhalt

Die im Bau befindliche Bioraffinerie in Leuna (Sachsen-Anhalt) von UPM soll eine Gesamtproduktkapazität von 220.000 Tonnen pro Jahr haben und Ende 2023 in Betrieb gehen. Dort sollen Laubholzsägespäne und Buchenholz als Rohstoffe eingesetzt werden und daraus nachhaltige chemische Grundstoffe wie Bio-Monoethylenglykol (bMEG), funktionelle Füllstoffe, Bio-Monopropylenglykol (bMPG) sowie Industriezucker entstehen.²⁵⁴ Das Konzept dieser Bioraffinerie ist bisher

insofern einzigartig, als sämtliche Komponenten des Holzes stofflich genutzt werden: Aus Zellulose werden Glykole, aus Hemizellulose Industriezucker und aus Lignin funktionelle, erneuerbare Füllstoffe hergestellt. Diese ersetzen Industrieruße, bei deren Herstellung (Verbrennung fossiler Rohstoffe) viel CO₂ emittiert wird, sowie Silikate in Gummianwendungen wie beispielsweise Reifen, Dichtungen oder Schläuchen.²⁵⁵

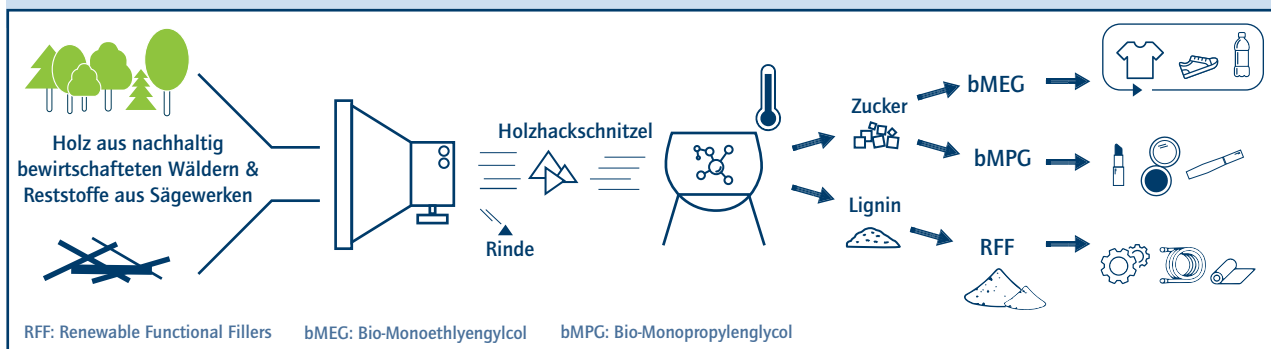


Abbildung 9: Prozesse und Produkte aus der UPM-Bioraffinerieanlage in Leuna (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an UPM GmbH 2020)

Beispiel: easy2cool, Bayern

Das Unternehmen easy2cool GmbH aus Bayern hat in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden ein neues Wärmeisulationsmaterial entwickelt, das aus Zellulosefasern besteht. Dazu wird Altpapier in einem speziellen Prozess (Trockenerfaserung) zerkleinert und zu Isoliermaterial weiterverarbeitet. Das Portfolio umfasst Kühlboxen für den Freizeit- und Festivalbereich

sowie für Tiefkühltransporte. Die Lösung ist kosteneffizient und kann den Einsatz von Styropor substituieren. Hierfür wurde die GmbH im Rahmen des Innovations-tags Mittelstand 2021 vom Bundeswirtschaftsministerium im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) als Kooperationsprojekt des Jahres ausgezeichnet.²⁵⁶

254 | Vgl. <https://www.upm.com/de/uber-UPM/for-media/releases/2020/01/upm-investiert-in-biochemikalienproduktion-der-zukunft-am-standort-leuna/>.

255 | Vgl. <https://www.upm.com/de/businesses/upm-biochemicals/>.

256 | Vgl. BMWi 2021.

- Verpackungen machen einen großen Teil an Kunststoffabfällen aus – mit steigender Tendenz, unter anderem aufgrund des steigenden Gebrauchs von Um- und Transportverpackungen. Auch der Markt der Lebensmittelverpackung ist in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung: Es gilt, das verpackte Gut dauerhaft und sicher zu schützen und zu konservieren, insbesondere im Hinblick auf Haltbarkeit, Geschmack und Aromen. Dabei geht es auch darum, die Gesundheit der Konsumentinnen und Konsumenten zu schützen. Neben Bemühungen, so weit wie möglich auf Verpackungen zu verzichten beziehungsweise auf Mehrschichtsysteme zu setzen, gibt es immer mehr Beispiele, bei denen die notwendige Lebensmittelverpackung zum Großteil aus Holz beziehungsweise Zellulosefasern statt aus Kunststoff besteht und zudem funktionell beschichtet werden kann. Beispiele hierfür sind verschweißbare, funktionell beschichtete Papierverpackungen,²⁵⁷ die den gleichen Barrierefunktionen (Aroma, Feuchte, UV etc.) im Hinblick auf Haltbarkeit und Schutz des Lebensmittels genügen müssen wie Kunststoffverpackungen. Während dies durch Kunststofflamine sichergestellt wird, ist bei Nutzung biobasierter Rohstoffe wie Papier zumeist eine Kombination mehrerer Funktionsschichten notwendig. Dennoch ist davon auszugehen, dass das Segment „Flexible Paper Packaging“ in den nächsten Jahren weiter wachsen wird.
 - Ein weiteres Beispiel ist der mögliche Einsatz von Zellulose zur Herstellung von Carbonfasern. Diese kommen als hochwertiges, festes und zugleich leichtes Material vor allem im Luft- und Raumfahrtbereich sowie im Automotive-Sektor, das heißt im Leichtbau, zum Einsatz. Carbonfasern werden konventionell in einem petrochemischen Industrieprozess hergestellt. Ein neues Verfahren erlaubt es, diese aus Holz durch Nassspinnen von Zellulosefasern herzustellen.²⁵⁸ Die so produzierten Zellulosefasern werden anschließend durch einen Niederdruck-Stabilisierungsprozess, gefolgt von einem Carbonisierungsprozess, direkt in Carbonfasern umgewandelt. Dieser Prozess kommt ohne toxische Nebenprodukte aus und ist insofern nachhaltig, als das verwendete Lösungsmittel komplett recycelbar ist und industriell hergestellte Carbonfasern durch erneuerbare Biopolymere ersetzt werden.
 - Als Bestandteil der Schwarzlauge, die bei der Zellstoffproduktion entsteht, wird Lignin noch immer überwiegend energetisch genutzt. Lignin hat jedoch eine komplexe Struktur, kommt sehr häufig in der Natur vor und besitzt einen sehr hohen aromatischen Kohlenstoffanteil – Kriterien, die dafür sprechen, Lignin künftig verstärkt stofflich zu nutzen. So können aus Lignin erneuerbare Füllstoffe (siehe Abbildung 9) sowie Bindemittel für den Einsatz im Holzwerkstoffbereich hergestellt werden.²⁵⁹ Diese Bindemittel haben die gleiche Klebefestigkeit wie herkömmliche Bindemittel, sind meist vollständig biobasiert und zudem frei von Formaldehyd, was der Verwendung in Innenräumen zuträglich ist. Sie sind somit nicht nur ein reines Substitut, sondern haben einen Mehrwert für Verarbeiter sowie Konsumentinnen und Konsumenten.
- Treiber und Hemmnisse:** Als Treiber für die Herstellung sogenannter Drop-ins können die Einhaltung der Klimaziele sowie angesichts endlicher fossiler Ressourcen der Umbau in Richtung einer nachhaltigen Chemie genannt werden. Auch die steigenden Rohölpreise sowie die Herstellung von Produkten, die im Vergleich zu bisherigen, fossilen Produkten zusätzlichen Mehrwert schaffen, können einen verstärkten Einsatz holzbasierter Substitute fördern. Während einige Produkte bereits auf dem Markt sind, ist davon auszugehen, dass auch für andere wie beispielsweise „grüne“ Plattformchemikalien eine Wirtschaftlichkeit zu erwarten ist, da Unternehmen nur dann bereit sind, erhebliche Summen in solche Bioraffinerien zu investieren.
- Handlungsempfehlungen:** Auch hier sind verschiedene Akteure gefordert. So können Unternehmen die Wirtschaftlichkeit des Produktionsprozesses verbessern, indem sie alle anfallenden Komponenten aus einer holzbasierten Bioraffinerieanlage möglichst vollständig und hochwertig verwenden. Gleichzeitig gilt es, nicht nur Nischenprodukte herzustellen (beispielsweise Einsatz von Lignin in der Produktion von Kosmetik), sondern – auch im Hinblick auf Economy of Scales – auf größere Mengen abzielen.
- Im Hinblick auf eine gegebenenfalls künftig verstärkte Konkurrenz um Holzrohstoffe, auch innerhalb der stofflichen

257 | Beispiel: Firma Koehler, <https://www.koehlerpaper.com/de/produkte/Flexible-Verpackungspapiere/NexPlus/NexPlus-Advanced.php>.

258 | Mit der neuen HighPerCellCarbon®-Technologie können Carbonfasern aus dem Rohstoff Holz produziert werden. Dieses patentierte Verfahren, entwickelt am Deutschen Institut für Textil- und Faserforschung (DITF), beinhaltet das Nassspinnen von Zellulosefasern unter Verwendung von ionischen Flüssigkeiten (Vgl. DITF 2022; Vgl. nova-Institut 2022).

259 | Beispielsweise NeoLigno der Firma Stora Enso, <https://www.storaenso.com/en/products/bio-based-materials/neoligno-by-stora-enso>.



Nutzungsmöglichkeiten, ist langfristig auch an den Einsatz von recyceltem Holz (Altholzklasse I) in Bioraffinerien zu denken, sollten sich diese künftig etablieren.

In jedem Fall ist die im Koalitionsvertrag der 20. Legislaturperiode im Zusammenhang mit der energetischen Biomassenutzung angekündigte Erarbeitung einer Biomassestrategie in Deutschland und auch auf EU-Ebene sinnvoll, um rechtzeitig Szenarien über künftige – auch stoffliche – Verwendungspfade und politische Prioritäten zu erhalten. Dies fördert die Planungssicherheit der gesamten Wirtschaft.

Um ein Level Playing Field zu etablieren und Wettbewerbsnachteile im Vergleich zu anderen EU-Mitgliedstaaten zu vermeiden, ist die europäische Politik auch bei der Regelung von Grenzwerten beispielsweise bei den Volatile Organic Compounds (VOC) im Baubereich beziehungsweise im Innenraum gefragt. Hierzu gilt es, den Normungsstau auf europäischer Ebene aufzuheben: Ein erster Schritt ist, die angestoßene Novelle der Bauproduktenverordnung und gleichzeitig eine wissenschaftlich basierte Harmonisierung beziehungsweise Vereinheitlichung von Prüfverfahren und Grenzwerten auf nationaler und EU-Ebene herbeizuführen.

Auch die Konsumentinnen und Konsumenten sind gefragt. Es gilt, zu eruieren, inwiefern sie einen Aufpreis für nachhaltigere (Chemie-) Produkte aus Holz zu zahlen bereit sind („Willingness to Pay“, siehe Kapitel 3.4). Dies wird möglicherweise dann der Fall sein, wenn nicht nur Eins-zu-eins-Substitute, sondern Produkte und Leistungen mit ökologischem oder funktionalem Mehrwert angeboten werden.

3.4 Nachfrageseite: Innovative Produkte und Dienstleistungen – Mehrwert für Kundinnen und Kunden sowie Umwelt

Ausgangslage: Die holzbasierte Bioökonomie wird insbesondere dann zu einem Treiber für Innovationen, wenn sie durch die Herstellung von Produkten beziehungsweise die Entwicklung von Prozessen einen Mehrwert für Verarbeiter, Kundinnen und Kunden sowie die Umwelt liefert. Ein solcher Mehrwert kann beispielsweise durch Schadstofffreiheit (siehe Kapitel 3.3) entstehen. Aber auch Einspar- und Vermeidungsaspekte können einen

Mehrwert bieten. So gilt es, auch im Hinblick auf die ökologischen Grenzen einer (holzbasierten) Bioökonomie sogenannte Reboundeffekte, das heißt Bumerangeffekte, etwa durch den Kauf zusätzlicher Produkte, zu vermeiden. Einsparpotenzial besteht nicht nur darin, auf (zusätzliche) Produkte zu verzichten: Auch der Erwerb von langlebigen, reparierbaren Produkten sowie das Mieten von Produkten können zu Einsparung, mehr Lebensqualität, Verringerung von Abhängigkeit und somit größerer Souveränität beitragen.

Innovative Beispiele: Im Folgenden werden Beispiele genannt, deren Mehrwert durch Schadstofffreiheit, einen geringeren Werkstoffverschleiß sowie Funktionalisierung und Individualisierung entsteht. Auch die Wiederverwertung sowie das Mieten und Teilen von Produkten können einen Mehrwert für Kundinnen und Kunden ebenso wie für die Umwelt schaffen.

- Die Verwendung von Holznägeln ist nicht nur ein Beispiel für eine klassische Substitution von Nägeln aus Eisen oder anderen Materialien, sondern hat noch weitere Vorteile. So haben aus verdichtetem heimischem Buchenholz hergestellte Nägel im Jahr 2020 die bautechnische Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik erhalten: Die mit einem Druckluftnagler eingeschossenen Nägel erlauben eine schnelle und ökologische Verarbeitung.²⁶⁰ Durch den Einsatz von Holznägeln bei Holzverbindungen kann auf eine Presse verzichtet und die Produktionszeit verkürzt werden, was zeitliche und ökologische Vorteile bringt.
- In der Möbelindustrie, insbesondere in den Bereichen Wohnen, Gesundheit und Pflege, gibt es Einsatzmöglichkeiten für holzbasierte, innovative Produkte mit Zusatzfunktionen. Beispiele sind beheizbare Tischplatten und Tapeten, bewegliche Möbelsysteme²⁶¹ sowie sich selbst öffnende Türen für seniorengerechte Einrichtungen. Aber auch die Individualisierung von Produkten wie die Herstellung von Möbeln und Möbelteilen in kleinen Stückzahlen, beispielsweise über einen Holz-3D-Druck, kann für die Konsumentinnen und Konsumenten interessant sein und auch dem regionalen Handwerk neue Perspektiven eröffnen: Individuelle Produkte können auch entstehen, wenn man sich die Variabilität des natürlichen Holzes zunutze macht, anstatt diese Sortimente wegen fehlender standardisierter Qualitätsmerkmale (Farbigkeit und Astformationen) auszusortieren, zum Beispiel im Parkettsektor. Derartige Holzmanufakturen gibt es bereits einige, gerade auch im Mittelstand.²⁶²

260 | Vgl. Wood Circus 2021c.

261 | Vgl. Ori Design Studio 2022.

262 | Vgl. Häuslmayer et al. 2006.

- Über Möbelbörsen und Kaufhäuser für Gebrauchsgüter werden derzeit in vielen deutschen Städten und Kommunen unter anderem gebrauchte Holzmöbel nach deren Aufbereitung sowie Reparatur angeboten. Dies hat ökonomische, ökologische und soziale Vorteile, da auf diese Weise die Produkte länger verwendet werden und Zusatzeinnahmen für soziale oder oftmals karitative Einrichtungen bringen.
- Dienstleistungsangebote wie das Leasing von Produkten sowie Sharingangebote können die Umwelt entlasten und nehmen den Konsumentinnen und Konsumenten die Verantwortung für eine umweltgerechte Entsorgung der Produkte ab. Diese Tendenz erfreut sich beispielsweise im Rahmen des Carsharings zunehmender Beliebtheit. Auch für Büro- und Wohnmöbel gibt es bereits entsprechende Leasingangebote.²⁶³ Diese ermöglichen den Kundinnen und Kunden Flexibilität sowie an sich verändernde Bedürfnisse und Situationen angepasste Möbel. Im Baubereich gibt es Firmen, die Holzschalungselemente mehrmals vermieten und so deren meist energetische Entsorgung ersetzen. Die wiederverwendbaren Schalungen sind zwar im Herstellungsprozess teurer, dennoch rechnet sich dieses Geschäftsmodell aufgrund der knapper werdenden Ressourcen und steigenden Preise.²⁶⁴

Treiber und Hemmnisse: Treiber können neben der begrenzten Rohstoffverfügbarkeit vor allem der Mehrwert der Produkte beziehungsweise Dienstleistungen sein, beispielsweise das Angebot eines „Rundum-sorglos-Pakets“ für die Kundinnen und Kunden, in dem die gesamte Produktverantwortung beim Vermieter liegt, sowie eine gegebenenfalls langfristige Kostenreduktion durch Reduce, Repair, Re-Use. Diese sogenannten R-Regeln tragen zudem zur Ressourcenschonung bei. Als mögliche Hemmnisse für Leasingmodelle im Möbelbereich werden unter anderem eine geringe Nachfrage (den Kundinnen und Kunden ist diese Möglichkeit noch zu wenig bekannt), die Preisfrage (Erwartung, dass das Angebot günstiger ist als der Möbelkauf, was aber unter anderem abhängig von der Mietdauer sein kann) sowie das Angebot genannt.^{265, 266}

Handlungsempfehlungen: Schon heute bieten viele Unternehmen neben Produkten auch Serviceleistungen wie beispielsweise

Reparaturfunktionen an. Die Erfüllung von Bedürfnissen über Sharingangebote, Leasing oder Vermietung ist auch in einer holz-basierten Bioökonomie zu verstärken. So erhält die Konsumentin beziehungsweise der Konsument die Möglichkeit, bestimmte Produkte selbst gar nicht mehr besitzen zu müssen beziehungsweise ganz auf sie verzichten zu können. Der Suffizienzaspekt ist dabei nicht unbedingt gleichzusetzen mit Verzicht: Das Hinterfragen von Verhaltens- und Konsummustern kann auch zu mehr Unabhängigkeit und je nach Sichtweise zu mehr Lebensqualität beitragen.²⁶⁷ Unternehmen sollten sich an individuellen Kundenbedürfnissen orientieren und können von den Sharing-Economy-Erfahrungen oder Rückgabe- und Pfandsystemen anderer Branchen wie im Mobilitäts- oder Gastronomiebereich lernen. Zudem sind in Forschung, Design sowie Unternehmen ein Umdenken und Kreativität im Sinne eines „industrialisierten Handwerks“ gefragt: Wie können die wertvollen intrinsischen Eigenschaften des Holzes direkt ohne Veränderungen für mögliche neue Funktionen oder individuelle Produkte genutzt werden? Dies wirft gerade bei natürlichen Materialien Normungs- und Standardisierungsfragen auf. So wie derzeit Unikate nach Kundenwünschen (beispielsweise über Robotik, durch Additive Fertigung) hergestellt werden können, so könnte analog mit den variablen natürlichen Eigenschaften der verschiedenen Holzarten verfahren werden. Über IT-Lösungen wäre auch diese Art von „Uniqueness“ zu lösen, sodass man die nicht immer gleichwertigen Rohstoffe trotzdem produktiv nutzen könnte. Dabei würden die „Handshakes“ zwischen den involvierten Wertschöpfungsketten durch die IT erfolgen, und man könnte die Normungsschritte umgehen – diese kämen allenfalls erst am Ende, nämlich beim Produkt, zum Tragen.

Handwerk und Mittelstand bieten meist in einem Nichtmassenwarenssegment innovative, auch individuelle Lösungen an. Die Politik sollte daher das Handwerk im Hinblick auf Wissensaustausch und Kooperationen, aber auch Automatisierung und Digitalisierung fördern und unterstützen.

Ferner sollte die Politik erwägen, die Produktverantwortung für die Hersteller und Inverkehrbringer zu stärken, beziehungsweise darüber nachdenken, wie der Recycling- und Leasingansatz durch Rückgabe- oder Pfandsysteme weiter vorangebracht werden kann (Beispiel Europalette).

263 | Vgl. Penquitt 2021.

264 | Beispiel: Deutsche Doka Schalungstechnik GmbH, <https://www.doka.com/de/about/sustainability/nachhaltigkeit>.

265 | Vgl. Schoonover et al. 2021.

266 | Vgl. Loučanová et al. 2021.

267 | Vgl. BUND 2017.



Kundenakzeptanz von holzbasierten Produkten: Willingness to Pay und Informationsbedarf

Wie bereits in den Kapiteln 3.2 und 3.3 beschrieben, spielt für die Kundinnen und Kunden bei der Kaufentscheidung oftmals der Preis eine große Rolle. Nicht nur bei holzbasierten, sondern auch bei anderen „grünen“ Produkten ist die sogenannte „Willingness to Pay“ (WTP) von Bedeutung, das heißt der Aufpreis, den Kundinnen und Kunden für ein ökologischeres und zertifiziertes Produkt zu zahlen bereit sind. Dabei sind zwischen der in vielen Studien theoretisch belegten Bereitschaft und dem tatsächlichen Einkaufsverhalten Diskrepanzen festzustellen. Dennoch kann die WTP wichtige Informationen über die Bewertung der Kundinnen und Kunden im Hinblick auf eine Umweltzertifizierung liefern.²⁶⁸ Umweltrelevante Zertifizierungen und Siegel können die Wahrscheinlichkeit einer Entscheidung für holzbasierte Produkte erhöhen, wenn sie eine solide Basis für eine solche Entscheidung liefern. Zudem scheinen Persönlichkeitsmerkmale wie Werte, Haltung und Wissen von Konsumentinnen und Konsumenten das Kaufverhalten besser vorherzusagen als soziodemografische Parameter (Alter, Geschlecht, Bildungsgrad usw.).

Für eine gegebenenfalls höhere Zahlungsbereitschaft sowie die Kaufentscheidung für Holzprodukte sind somit vor allem transparente, aussagekräftige Produktinformationen erforderlich. Jedoch gibt es auch beim Informationsbedarf Unterschiede: Während sich einige Kundinnen und Kunden sehr umfangreiche Informationen zu einem Produkt wünschen, die über die Angaben aus den bekannten Zertifizierungen beziehungsweise Siegeln (FSC und PEFC) hinausgehen, sind andere mit weniger Informationen zufrieden. Hier ist somit eine Balance zu wahren beziehungsweise sind seitens der Unternehmen gestaffelte Informationen anzubieten – auch um einen „Information Overload“ zu vermeiden.²⁶⁹ Hierbei können zum Beispiel QR-Codes hilfreich sein, durch die sich die Kundin beziehungsweise der Kunde eigenständig detailliertere Angaben über das Produkt holen kann. Dieser Nachverfolgungs- und Zertifizierungsprozess ist allerdings kosten- und personalaufwendig, was sich kleinere Unternehmen oftmals nicht leisten können – vor allem, wenn für diese Produkte kein Aufpreis gezahlt wird.

268 | Vgl. Stern/Schwarzbauer 2013.

269 | Vgl. Osburg et al. 2016.

4 Wege in eine nachhaltige und zirkuläre holzbasierte Bioökonomie: Handlungsempfehlungen

Im Folgenden werden – basierend auf dem oben erläuterten Istzustand der holzbasierten Bioökonomie (siehe Kapitel 2), den angeführten Innovationen in diesem Bereich sowie identifizierten möglichen Treibern und Hemmnissen (siehe Kapitel 3) – wesentliche Handlungsempfehlungen für eine holzbasierte Bioökonomie abgeleitet: Damit diese einen zukunftsweisenden Beitrag für einen Strukturwandel der Wirtschaft leisten kann, Arbeitsplätze gerade auch im ländlichen Raum schafft sowie von der Bevölkerung mitgetragen und akzeptiert wird, muss sie ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Erfordernissen gleichermaßen Rechnung tragen.

Die im Folgenden beschriebenen Handlungsempfehlungen zählen daher auf eine nachhaltige, effiziente und zirkuläre holzbasierte Bioökonomie ein und richten sich an die Politik (national wie international), die Wirtschaft – Forstwirtschaft, Rohstoff- und Biomassebereitsteller; Verwender (Holzbe- und Verarbeiter sowie Unternehmen aus anderen Sektoren); Handel und Logistik – sowie an Endkundinnen und Endkunden/Gesellschaft und Wissenschaft, Aus- und Weiterbildung (siehe Tabelle 1). Die Handlungsempfehlungen sind folgenden fünf Handlungsfeldern zugeordnet:

- **Langfristige Sicherung der Primärrohstoffbasis:** Nachhaltige Waldbewirtschaftung honorieren.
- **Sparsame und effiziente Holzverwendung:** Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung stärken.
- **Stärkung der Akzeptanz für stoffliche, innovative holzbasierte Anwendungen:** Transparente Informationen bereitstellen und Fördervoraussetzungen optimieren.
- **Etablierung stofflicher, innovativer holzbasierter Anwendungen:** Governance und (gesetzliche) Rahmenbedingungen kohärent weiterentwickeln.
- **Künftigen Anforderungen und Gegebenheiten begegnen:** Innovative Geschäftsmodelle generieren, Gesellschaft einbinden, Konsummuster hinterfragen, Aus- und Weiterbildung sowie Forschung anreizen.

4.1 Langfristige Sicherung der Primärrohstoffbasis: Nachhaltige Waldbewirtschaftung honorieren

Frischholz aus dem Wald bildet die primäre Rohstoffbasis für eine holzbasierte Bioökonomie. Darüber hinaus hat der Wald auch Schutz- und Regulierungsfunktionen (inklusive Klima-, Natur- und Erosionsschutz, Wasserspeicherung, Luftfilterfunktion etc.) und ist Erholungs- und Freizeitraum für die Gesellschaft. Um diese Funktionen des Waldes weiterhin zu gewährleisten, wird Folgendes empfohlen:

Unter Berücksichtigung regionaler Besonderheiten sollte ein Waldumbau hin zu einem klimaangepassten Mischwald stattfinden. Dieser sollte auch einen entsprechenden Nadelholzanteil aufweisen, um die Produktion zahlreicher und insbesondere langlebiger Holzprodukte mittel- und langfristig weiter zu ermöglichen. Eine vielfältigere Baumartenzusammensetzung kann aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Arten zu mehr Resilienz beitragen. Unter Schutz stehende Gebiete sind wichtig im Hinblick auf Biodiversität – aber auch, um wichtige Erkenntnisse über künftig sich herausbildende resilientere und klimaadaptierte Arten zu gewinnen. Jedoch sollte auf möglichst großer Fläche eine integrative Waldbewirtschaftung betrieben werden, die Schutz und Nutzung gleichermaßen berücksichtigt.

Derzeit werden vor allem forstliche Maßnahmen (Abtransport von Schadholz und Wiederaufforstung) gefördert. Darüber hinaus werden Vertragsnaturschutzprogramme angeboten, die ökologische Ziele wie den Wald- und Biodiversitätsschutz im Blick haben. In einigen Studien und auch auf politischer Ebene wird zunehmend gefordert, die ökologischen Leistungen des Waldes – vor allem seine Klimaschutz- und Biodiversitätsleistung, aber auch seine Erholungsfunktion – entsprechend zu honorieren. Somit würden Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer neben dem Ertrag aus dem Holzeinschlag weitere Einnahmen für Leistungen erhalten, die sie für die Allgemeinheit und zur Erfüllung staatlicher Verträge und Abkommen, wie zum Beispiel der CO₂-Senke im Hinblick auf negative Emissionen, erbringen. Diese positiven Effekte sind – auch aus Effizienzgründen – zu internalisieren, zumal sie oft mit Mehrkosten für die Waldbewirtschaftenden verbunden sind. So hat das Thünen-Institut vorgeschlagen, die zentrale staatliche Förderung von Bund und Ländern über die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK), die für bestimmte Maßnahmen eine Kostenerstattung vorsieht, um eine erfolgsorientierte Förderung zu ergänzen. Eine derart ergebnisorientierte



Honorierung – finanziert durch die öffentliche Hand – könnte somit erbrachte Leistungen anstelle einzelner Maßnahmen²⁷⁰ fördern und sollte entsprechend langfristig angelegt sein. Auch der Waldbeirat der Bundesregierung schlägt vor, nicht einzelne Maßnahmen finanziell zu unterstützen, sondern das Ergebnis, das heißt die Anpassungsfähigkeit des Waldes im Hinblick auf dessen Resilienz, zu honorieren (Ampelsystem²⁷¹), wobei 1) eine nachhaltige Rohstoffversorgung, 2) Klimaschutzleistungen sowie 3) biologische Vielfalt gewährleistet sein müssen. Hierfür ist vorab eine wissenschaftlich fundierte Ausarbeitung geeigneter Indikatoren notwendig.

Die Politik sollte aufbauend auf vorhandenen und noch zu erarbeitenden Vorschlägen – auch aus anderen Ländern²⁷² – den Gedanken der Honorierung von Ökosystemleistungen des Waldes umsetzen.

Um Schadereignisse frühzeitig zu erkennen und die primäre Rohstoffbasis hinsichtlich Menge und Qualität zu sichern, empfiehlt es sich, das digitale Waldmonitoring auszubauen. Dabei sind verstärkt Fernerkundungssysteme heranzuziehen, wie beispielsweise satellitengestützte Schaderkundung oder drohnen-gestützte Detektion von Insektenbefall beziehungsweise von Waldbränden.

4.2 Sparsame und effiziente Holzverwendung: Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung stärken

Neben der Sicherung der primären Rohstoffbasis gilt es, den Primärrohstoff so effizient und so lange wie möglich zu nutzen.

So sollte zum einen möglichst der ganze Baum (inklusive Kronen- sowie Restholz), aber auch Durchforstungsholz sowie Holz aus landwirtschaftlicher Nutzung (Kurzumtriebsplantagen) und Landschaftspflegemaßnahmen verwendet und prioritär stofflich

möglichst lange genutzt werden. Dies gilt für die bei der Be- und Verarbeitung in Sägewerken oder in der Holzwerkstoffindustrie anfallenden Reststoffe und Koppelprodukte ebenso wie für die Produkte selbst. Letztere können beispielsweise in ihrem ursprünglichen Einsatzbereich, etwa Möbel, nach deren Aufbereitung wiederverwendet (Re-Use) oder in Produktkreisläufen (Recycling) geführt werden. Exemplarisch sei hier auf den Papierkreislauf beziehungsweise das Papierrecycling verwiesen: Hier werden Primär- und Sekundärmaterialien eingesetzt, um daraus wieder Papier, Pappe oder Kartonagen zu erzeugen (siehe Kapitel 2.1).

Um die Unternehmen einer holzbasierten Bioökonomie ergänzend zum knapper werdenden Frischholz mit zusätzlichem Rohstoff zu versorgen, gilt es, die Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen zu steigern. Auch schadstofffreies Altholz ist ein wertvoller Sekundärrohstoff, der möglichst effizient und in einer Kaskade zu nutzen ist.

In einer Kaskade wird Holz idealerweise möglichst mehrfach und hochwertig stofflich verwendet. Somit trägt die Kaskadennutzung zur Ressourcenschonung bei und steigert die Rohstoffproduktivität. Zudem verlängert sie die CO₂-Speicherung in Holzprodukten und leistet einen Beitrag zum Klimaschutz. Um die verfügbare Menge und entsprechende Qualität von Frisch- und Altholz für eine weitere stoffliche Verwendung zu steigern, werden folgende Maßnahmen empfohlen:

Umsetzung der Kreislaufwirtschaft: Für eine Umsetzung der Kreislaufwirtschaft bedarf es eines Recyclingvorrangs für stofflich einsetzbare Produkt- und Altholzsortimente gegenüber ihrer energetischen Verwertung. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) sieht mit seiner Abfallhierarchie bereits den Vorrang der stofflichen Nutzung vor. Dieser entfaltet jedoch bisher nur eine begrenzte Lenkungswirkung, da auch wirtschaftliche und technische Vorbehalte zum Tragen kommen können. Daher sollten Regelungsspielräume entsprechend ausgestaltet und bereits bestehende Regelungen in die Praxis umgesetzt werden. So ist von der im Kreislaufwirtschaftsgesetz enthaltenen Verordnungsmächtigung Gebrauch zu machen, um die mehrfache stoffliche

270 | Vgl. Elsasser et al. 2020.

271 | „Für ein solches System wäre eine gewisse Differenzierung nach dem Grad der Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit möglich, beispielsweise in Form eines Ampelsystems. Ein solches System sollte unterscheiden zwischen Wäldern, die nach jetzigem Wissensstand als weitgehend resilient und anpassungsfähig betrachtet werden können, solchen, die durch Waldumbaumaßnahmen in diese Richtung entwickelt werden, und solchen, die als Risikobestockung einzustufen sind“ (WBW 2021, S. 127).

272 | Vgl. Fuss et al. 2021.

Verwertung in einer Kaskade prioritär festzuschreiben,²⁷³ zum Beispiel in Form einer Sperrmüllverordnung. Zudem könnte die Kaskadennutzung durch einen bundesweiten, sektorübergreifenden Ideenwettbewerb beispielsweise mit dem Schwerpunkt „Langes Leben – Holz als Kohlenstoffspeicher“ oder durch Forschungsprojekte zum Thema „Upcycling“ gefördert werden. Des Weiteren sollten die bereits bestehenden Sperrmüllsammelpflichten des KrWG umgesetzt werden, um diesen mengenmäßig großen Sektor für eine stoffliche Wiederverwendung zu erschließen.²⁷⁴ Es sollten Anforderungen an die öffentlich-rechtlichen Entsorger gestellt werden, um eine sachgerechte Umsetzung der Sperrmüllsammlung und des Sperrmüllmanagements zu gewährleisten (technisch wie wirtschaftlich).

Wiederverwertung von Altholz: Auch in der zu novellierenden Altholzverordnung sollten weitere Potenziale der stofflichen Verwendung erschlossen werden. Hier ist der Vorrang einer stofflichen Nutzung für die Altholzkategorien AI, AI-/AII-Mischsortimente sowie AII (siehe Kapitel 3.2) verbindlich vorzuschreiben. Bau- und Abbruchhölzer werden derzeit aufgrund möglicher Schadstoffe teilweise der Kategorie AIV zugeordnet und somit dann oftmals in Altholzverbrennungsanlagen entsorgt. Die bereits jetzt verlangte separate Erfassung von Holz auf der Baustelle könnte dazu beitragen,²⁷⁵ weitere Potenziale zu erschließen – ebenso wie eine das Recycling unterstützende, praxismgerechte, prozessbegleitende Probenahme und statistisch hinterlegte Analytik (nach Median und 80 Perzentil).²⁷⁶ Diese Vorschläge sollten in die Novellierung Eingang finden. Zudem sind Altholzaufbereiter entsprechend zu schulen. Da Altholz international gehandelt wird, sollten insbesondere die Qualitätsregelungen zur Erfassung, Aufbereitung und Analytik im nächsten Schritt mindestens europaweit harmonisiert werden. Die energetische Verwertung sollte erst am Ende jeder Kaskade stehen und sich auf

nicht recyclingfähige beziehungsweise stofflich nicht verwertbare Sortimente beschränken. Es sollten zudem nur neue, hocheffiziente (bei der Stromerzeugung Kraft-Wärme-gekoppelte Anlagen), flexible sowie regelbare Biomasseanlagen genehmigt werden, um in systemischer Perspektive als Speicher die oft fluktuierend erzeugenden erneuerbaren Anlagen (Photovoltaik- und Windkraftanlagen) sowie die damit betriebenen Wärmepumpen zu ergänzen. Zudem sollten auch neue Anlagen nur stofflich nicht verwertbare Holzsortimente nutzen (siehe Kapitel 3.2).

„Design for Re-Use and Recycling“: Neben den oben genannten Rahmenbedingungen spielen auch ein wiederverwendungs- und recyclinggerechtes Produktdesign („Design for Re-Use and Recycling“) sowie die Akzeptanz von Recyclingprodukten bei den Konsumentinnen und Konsumenten eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang gilt es, die für eine Kreislaufwirtschaft relevanten Produkthanforderungen – Langlebigkeit, Wiederverwendbarkeit und Wiederverwertbarkeit – entsprechend umzusetzen. Hersteller sollten die Kreislaufwirtschaft als Chance für ihr Unternehmen begreifen. Das bedeutet, auch in sektorübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken zu denken sowie sich mit anderen Akteuren auf Plattformen zu vernetzen und entsprechende Daten auszutauschen. Zudem sind die Abfallentsorger im Hinblick auf die Trennung und die „richtige Entsorgung“ stärker zu sensibilisieren. Für die Kundinnen und Kunden heißt dies, sich für ein kreislauffähiges Produkt zu entscheiden und bei dessen Wiederverwendung – zum Beispiel durch Reparatur und Sammlung – aktiv mitzuwirken. Für Unternehmen könnte dies bedeuten, als Reaktion auf die entsprechend höhere Nachfrage nach Recyclingprodukten ihre Prozesse anzupassen, um recycelte Produkte anbieten zu können. Zudem können Unternehmen durch Information, Imagekampagnen und Siegel die Akzeptanz für qualitätsgesicherte Sekundärrohstoffe in Produkten^{277, 278} erhöhen.

273 | Siehe § 8 Abs. 2 KrWG: „Die Bundesregierung bestimmt nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 68) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates für bestimmte Abfallarten auf Grund der in § 6 Absatz 2 Satz 2 und 3 festgelegten Kriterien 1. den Vorrang oder Gleichrang einer Verwertungsmaßnahme und 2. Anforderungen an die Hochwertigkeit der Verwertung. Durch Rechtsverordnung nach Satz 1 kann insbesondere bestimmt werden, dass die Verwertung des Abfalls entsprechend seiner Art, Beschaffenheit, Menge und Inhaltsstoffe durch mehrfache, hintereinander geschaltete stoffliche und anschließende energetische Verwertungsmaßnahmen (Kaskadennutzung) zu erfolgen hat“ (KrWG 2021).

274 | Siehe KrWG § 20 Abs. 2 Nr. 7: „Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sammeln Sperrmüll in einer Weise, welche die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Recycling der einzelnen Bestandteile ermöglicht“ (ebd.).

275 | Vgl. GewAbfV 2017.

276 | Vgl. Flamme et al. 2020.

277 | Vgl. Die Verbraucher Initiative e.V. 2022.

278 | Vgl. RAL/UBA 2022.



4.3 Stärkung der Akzeptanz für stoffliche, innovative holzbasierte Anwendungen: Transparente Informationen bereitstellen und Fördervoraussetzungen optimieren

Voraussetzung für die Akzeptanz und Förderung innovativer, kreislauffähiger und möglicherweise auch teurerer holzbasierter Produkte und Dienstleistungen sind transparente Kriterien und Informationen zu deren Vorteilen, gerade auch im Hinblick auf Nachhaltigkeit.

Dabei leisten Ökobilanzen beziehungsweise Life Cycle Assessments (LCAs) einen wichtigen Beitrag: Sie ermöglichen idealerweise eine umfassende Aufstellung von verschiedenen Nachhaltigkeitsparametern, so zum Beispiel auch bezüglich des CO₂-Fußabdrucks oder der Kohlenstoffspeicherung eines holzbasierten Produkts über den gesamten Lebenszyklus. Oftmals werden sie auch zu Vergleichen mit Produkten aus anderen Materialien mit gleicher Funktionalität herangezogen.

Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse können wiederum in Kaufentscheidungen und mögliche Fördermaßnahmen einfließen. Bereits heute sind Ökobilanzen vielfach Grundlage von Siegeln beziehungsweise Umweltlabels sowie Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declaration, EPD). Letztere sind vor allem im Baubereich für Baumaterialien etabliert und bilden mittlerweile auch den gesamten Lebenszyklus des Produkts ab. Im Gegensatz zu Siegeln beinhalten sie jedoch keine Produktbewertung, sondern stellen Wirtschaftsakteuren und Auditoren lediglich transparente Informationen zur Verfügung.²⁷⁹ Um transparente und vergleichbare Informationen zu erhalten, wird Folgendes empfohlen:

Ökobilanzen und Life Cycle Assessments (LCAs): LCAs sollten idealerweise nicht nur den Carbon Footprint, sondern auch andere Umweltauswirkungen wie Wasser- und Materialverbrauch oder Eutrophierung, aber auch die Materialstruktur sowie gegebenenfalls Transportentfernungen über den gesamten Lebenszyklus inklusive Nachnutzung eines Produkts berücksichtigen.²⁸⁰ Wichtig ist, dass eine sogenannte funktionelle Einheit festgelegt

wird, das heißt der quantifizierte Nutzen eines Produktsystems, zum Beispiel im Fall von Furnier ein Quadratmeter dekorativer Fläche. Entscheidend ist, dass LCAs vergleichbar (unter anderem im Hinblick auf Zeitrahmen, Kriterien wie beispielsweise Systemgrenzen inklusive Raumbezügen, weitere Annahmen etc.), möglichst standardisiert und vor allem praktikabel sowie „lesbar“ beziehungsweise interpretierbar bleiben. Um die Anforderungen im Hinblick auf Methodik, Bewertung und Gewichtung im Rahmen von LCAs umsetzen zu können, ist weitere Forschung, Standardisierung sowie die Fortentwicklung auch über ISO-Normen nötig. Unternehmen, Verbände und Behörden sind ebenso gefordert, entsprechende Daten zu erheben und zur Verfügung zu stellen.

Attraktivität für Kundinnen und Kunden: Unternehmen können entsprechend nachhaltige Produkte anbieten und Kundinnen und Kunden können durch ihr Konsumverhalten entsprechende Nachfrage schaffen und somit zur Ressourceneffizienz beitragen („Push and Pull“). Aus diesem Grund sollten Unternehmen den Konsumentinnen und Konsumenten passgenaue, transparente Informationen zu ihren Produkten und Dienstleistungen bereitstellen. Diese sollten je nach Kundenbedürfnis gestaffelt ausgestaltet sein. Um einen „Information Overload“ zu vermeiden, kann über QR-Codes auf weitergehende Informationen verwiesen werden. Bei gleichem Preis sind die meisten Kundinnen und Kunden bereit, zu nachhaltigeren Produkten zu greifen. Da holzbasierte Erzeugnisse oftmals mehr kosten als vergleichbare Produkte aus anderen Materialien, ist hier die sogenannte Willingness to Pay entscheidend (siehe Kapitel 3.4). Die Kundinnen und Kunden sind möglicherweise dann bereit, mehr zu zahlen, wenn sie einen Mehrwert für Umwelt oder für soziale Belange sowie einen funktionellen Zusatznutzen erkennen – dies kann und könnte durch entsprechende Siegel beziehungsweise neue Zertifizierung zum Beispiel in Form eines Recyclingsiegels für Materialien biogenen Ursprungs belegt werden. Mehrwert kann aber auch durch Langlebigkeit und Reparaturfähigkeit sowie Leasing- und Sharingleistungen entstehen. Hierfür sollten Unternehmen die Kundinnen und Kunden sensibilisieren sowie Angebote für Rücknahme und Reparatur unterbreiten beziehungsweise zusichern.

Vorbildfunktion der öffentlichen Hand und Fördervoraussetzung: Der öffentlichen Hand kommt im Hinblick auf den nachhaltigen Einsatz von Holz eine Vorbildfunktion zu. So gibt

279 | Vgl. IBU 2020.

280 | Vgl. Finnveden et al. 2009.

es bereits eine entsprechende Vorschrift des Bundes, nur noch Holzprodukte aus zertifizierten Beständen zu beschaffen (siehe Kapitel 2.5). Wird dieser Gedanke weitergedacht, sollten Ausschreibungen und Vergaben der öffentlichen Hand zwar materialneutral und funktional erfolgen, jedoch wissenschaftlich basierte Nachhaltigkeitsaspekte und Kriterien hinsichtlich Klimaschutz und -neutralität beinhalten. Diese Kriterien sollten zumindest bei der Bewertung und beim Zuschlag entscheidend berücksichtigt werden, sodass nicht allein der Angebotspreis den Ausschlag gibt. So könnte beispielsweise für Baumaterialien die Vorlage entsprechender EPD-Informationen verpflichtend werden. Ferner wäre zu überlegen, ob die Anforderungen des staatlichen Gütesiegels „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) auch bei öffentlichen Ausschreibungen für Neubauten verpflichtend werden könnten. Es enthält Anforderungen an die ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität von Gebäuden sowie die Qualität der Planungs- und Bauprozesse.²⁸¹ Voraussetzung für eine derartige Verpflichtung ist unter anderem eine ausreichende Anzahl von entsprechenden Zertifizierungsstellen. Zudem sollte die Gewährung von Zuschüssen in Förderprogrammen grundsätzlich an Anforderungen im Hinblick auf Klimaschutzleistung/Klimaneutralität gekoppelt werden. Dies ist derzeit bereits im Rahmen der „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) der Fall: KfW-Kredite und Zuschüsse für Neubauten sind an die Vorlage der oben genannten QNG-Zertifizierung gebunden, wo neben sozialen und anderen Kriterien auch eine Obergrenze für Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich festgelegt ist.²⁸² Bei dem für 2023 angekündigten neuen Programm „Klimafreundliches Bauen“²⁸³ sollte noch stärker auf Klimaschutzaspekte und wissenschaftlich basierte Nachhaltigkeitskriterien bei Baumaterialien sowie im gesamten Gebäudelebenszyklus abgestellt und diese sollten für Fördermaßnahmen im Neubaubereich verpflichtend etabliert werden. Dies kommt dem Holzbau im Hinblick auf dessen CO₂-Speicherleistung zugute.

4.4 Etablierung stofflicher, innovativer holzbasierter Anwendungen: Governance und (gesetzliche) Rahmenbedingungen kohärent weiterentwickeln

Bei der Etablierung einer holzbasierten Bioökonomie können Zielkonflikte entstehen, die es gesellschaftlich zu diskutieren und möglichst zu lösen gilt. Zum einen werden an den Wald selbst verschiedene Schutz- und Nutzungsanforderungen gestellt, die in eine Balance zu bringen sind. Zum anderen gibt es eine Nutzungskonkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Holzverwendung. Auch innerhalb der stofflichen Holznutzung kommt es zu einem Wettbewerb um verfügbare Rohstoffe. Dies könnte negative Verlagerungseffekte – so etwa ökologisch schädliche Landnutzungsänderungen, aber auch soziale Verwerfungen – in anderen Regionen der Welt auslösen, die es zu vermeiden gilt. Die aktuellen Krisen und Entwicklungen haben zudem Schwachpunkte des Just-in-Time-Ansatzes und im Hinblick auf Unterbrechungen von Lieferketten aufgezeigt. All das sollte so weit wie möglich durch eine kohärente Governance abgebildet werden. Darüber hinaus bedarf es harmonisierter, kongruenter Regelungen, die Innovationen fördern und nicht hemmen. Folgendes wird empfohlen:

Kohärente Governance: Dies ist nur durch eine ressortübergreifende Zusammenarbeit sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene möglich. Es gilt, stärker als bisher ein gemeinsames Verständnis und Zielvorstellungen zu entwickeln, um darauf aufbauend konsistente und resiliente Strategien abzuleiten. Ein Monitoring der für die Bioökonomie wichtigen Kriterien kann dazu beitragen, sich einen Überblick über den Status quo zu verschaffen.²⁸⁴ Neben ökologischen und ökonomischen Kriterien sollten hierbei künftig auch soziologische Aspekte im Hinblick auf Armut und Verteilungsgerechtigkeit stärker berücksichtigt werden.²⁸⁵ Um Nutzungskonkurrenzen abzubauen und daraus Prioritäten abzuleiten, ist als ein Element des Umsetzungsplans der Nationalen

281 | Vgl. BMI 2021.

282 | „Dem Gebäude darf das QNG-Zertifikat zuerkannt werden, wenn die gemäß der Methodik der Anlage ‚LCA-Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude‘ ermittelten Treibhausgasemissionen im Gebäudelebenszyklus maximal 28 kg CO₂ Äqu./m² a (QNG-PLUS) / maximal 20 kg CO₂ Äqu./m² a (QNG-PREMIUM) betragen“ (Ebd., S. 16).

283 | Vgl. BPA 2022.

284 | Vgl. Bringezu et al. 2020.

285 | Vgl. Zeug et al. 2021.



Bioökonomiestrategie eine Biomassestrategie für Deutschland unter Einbeziehung der Bundesländer und gesellschaftlicher Stakeholder zu erarbeiten. Idealerweise sollte eine solche Biomassestrategie auch auf EU-Ebene entwickelt werden. Eine Biomassestrategie kann einen Beitrag zu langfristiger Planungssicherheit für Akteure im Hinblick auf Innovationsentwicklung und dafür nötige Investitionen leisten. Dabei ist auch die Erweiterung der Biomassebasis durch Aufforstung, Agroforst, aber auch durch forstliche, landwirtschaftliche und industrielle Nebenprodukte und Abfälle für die stoffliche Nutzung in den Blick zu nehmen. Es ist ein Level Playing Field zwischen energetischer und stofflicher Nutzung zu gewährleisten. Hierfür ist ein erster wichtiger Schritt, die bisher spezifischen Anreize für die energetische Holznutzung wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Marktanreizprogramme für erneuerbare Energien abzubauen – insbesondere im Wärmebereich ist hier schnelles Handeln geboten – und perspektivisch durch eine möglichst einheitliche CO₂-Bepreisung aller Sektoren zu ersetzen. Dabei ist es entscheidend, dass der CO₂-Preis in eine ambitionierte Klimapolitik eingebettet ist.

Kongruente Gesetzgebung: Im mengenmäßig großen und derzeit stark nachgefragten Bereich des Holzbaus sind noch bestehende Hemmnisse abzubauen. So schließt beispielsweise die aktuelle Muster-Holzbaurichtlinie die ressourceneffiziente Holztafelbauweise im Mehrgeschossbau der Gebäudeklasse 5 aus. Dies ist entsprechend zu ändern und sollte anschließend in die entsprechenden Landesbauordnungen übernommen werden (siehe Kapitel 3.2). Zudem gilt es, den Normungsstau aufzuheben – hierzu ist die angestoßene Novellierung der Bauproduktenverordnung auf EU-Ebene ein erster Schritt. Zudem sollten Hemmnisse auf nationaler Ebene beseitigt werden, zum Beispiel hinsichtlich der derzeitigen Regelungen zu VOC-Emissionen aus Holzwerkstoffen in Innenräumen. Es bedarf realistischer Szenarien und wissenschaftlich basierter Ableitungen bei Festlegung der Anforderungen an die beste verfügbare Technik im Bereich Emissionsminderung und realistischer Richt- beziehungsweise Grenzwerte. Auch dies ist EU-weit zu regeln.

4.5 Künftigen Anforderungen und Gegebenheiten begegnen: Innovative Geschäftsmodelle generieren, Gesellschaft einbinden, Konsummuster hinterfragen, Aus- und Weiterbildung sowie Forschung anreizen

Sowohl Unternehmen einer holzbasierten Bioökonomie als auch Kundinnen und Kunden müssen sich auf sich verändernde Gegebenheiten und Herausforderungen einstellen. Unternehmen können entsprechend handeln, um Risiken zu minimieren und Chancen zu antizipieren. Auch Kundinnen und Kunden können handeln und Konsummuster hinterfragen, beispielsweise Produkte mieten statt kaufen. Es sind ein offener gesellschaftlicher Dialog über mögliche Zielkonflikte zu führen und die Wissensvermittlung zu intensivieren. Forschung und Entwicklung sind ebenso zu fördern wie die Fachkräfteausbildung. Davon können auch das Handwerk, KMU und die regionale Wertschöpfung profitieren – vor allem, wenn die Maßnahmen zu Ansiedlung von Hightech- beziehungsweise IT-Unternehmen im ländlichen Raum führen.

Generierung innovativer Geschäftsmodelle: Eine holzbasierte Bioökonomie sowie eine damit verbundene Kreislaufwirtschaft erfordern eine arbeitsteilige Wirtschaftsweise. Für das Denken in Wertschöpfungsnetzen, also auch die Zusammenarbeit mit anderen Sektoren außerhalb der Holzwirtschaft wie dem Chemie- oder dem Transportbereich, sind Kommunikation, Kooperation und Kreativität essenziell. Ein digitaler Austausch sowie Datenbereitstellung sind über die gesamte Wertschöpfungskette beziehungsweise das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk von der Rohstoffbereitstellung in der Forstwirtschaft über Verwender, Handel, Logistik bis hin zu den Endkundinnen und Endkunden zu etablieren. So ist der (Daten-)Austausch der an einer Kaskade beteiligten Akteure mithilfe von digitalen Plattformen zu verbessern – gegebenenfalls unter Vermittlung von Dritten anonymisiert und aggregiert. Außerdem sollten Unternehmen und Behörden bei Genehmigungsverfahren die jeweiligen Anforderungen frühzeitig kennen und sich über kompatible Systeme austauschen. Ein Beispiel hierfür ist das „Building Information Modeling“ (BIM) im Holzbaubereich – eine Software für vernetzte Planung, Bau und Bewirtschaftung sowie Genehmigung. Digitalisierung unterstützt auch bei der Simulation, der bedarfsgerechten, individualisierten Produktherstellung und -lieferung sowie

bei der Produktnachverfolgung – wie beispielsweise durch digitale Produktpässe – und bei der Kommunikation mit den Kundinnen und Kunden (Information, Wartungs- und Reparaturservice). Angesichts der sich verändernden Rohstoffzusammensetzung und höheren Baumartenvielfalt – künftig mehr Laubholz mit entsprechend anderen Eigenschaften als Nadelholz sowie ein höherer Schad- und Altholzanteil – sind andere sowie flexible Verarbeitungsverfahren in der Prozesskette und gegebenenfalls eine andere Logistik erforderlich. Um die hierfür nötigen Investitionen zu tätigen und auch für KMU erschwinglich zu halten, können Kooperationen wie die gemeinsame Nutzung von Anlagen in einem (modular aufgebauten) Maschinenpark beziehungsweise Werksgelände helfen, Kosten zu reduzieren. Umgekehrt können aber auch die intrinsischen Eigenschaften des natürlichen Rohstoffs genutzt werden. Das heißt, das Holz wird nicht an Produktanforderungen angepasst, sondern man arbeitet vielmehr mit seinen natürlichen Eigenschaften: So wie derzeit Unikate nach Kundenwünschen hergestellt werden, beispielsweise über Robotik oder Additive Fertigung, könnte in Zukunft entsprechend mit den variablen natürlichen Eigenschaften des Holzes verfahren werden. Die dafür nötigen „Handshakes“ zwischen den Prozessen könnten IT-gestützt erfolgen und somit Normungsschritte während des Herstellungsprozesses umgangen werden. Auf diese Weise könnte eine Art „industrialisiertes Handwerk“ entstehen, das über digitale Lösungen die unterschiedlichen Eigenschaften produktiv nutzen kann (siehe Kapitel 3.4). Um dieses „industrialisierte Handwerk“ voranzubringen, ist Forschung in diesem Bereich zu fördern. Statt „nur“ Produkte auf fossiler Rohstoffbasis eins zu eins durch Produkte auf Holzrohstoffbasis zu substituieren, sollten Unternehmen langlebige und reparierbare Produkte und Dienstleistungen mit Mehrwert für Kundinnen und Kunden sowie die Umwelt schaffen. Dazu zählen Produkte mit zusätzlichen funktionalen Eigenschaften wie smarte Möbel für den Gesundheits- oder Seniorenbereich oder Ideen im Bereich der Sharing Economy und von Leasingangeboten (siehe Kapitel 3.4). Zudem ist der sektorübergreifende Wissensaustausch zu forcieren. Dies gilt im Hinblick auf die Sharing Economy, wo andere Branchen bereits fortgeschrittene Erfahrungen haben, ebenso wie beispielsweise für den Austausch zwischen Zellstoff- und Chemieindustrie im Hinblick auf grüne Plattformchemikalien aus Bioraffinerieanlagen. Wie in anderen Bereichen ist die Bereitstellung von Venture Capital für Startups im Rahmen der holzbasierten Bioökonomie ein wichtiger Aspekt. Ferner

gilt es, gezielt Handwerk und KMU bei Digitalisierung, Automatisierung und Wissensaustausch zu unterstützen, da diese vielfach weder finanzielle noch personelle Ressourcen für Forschung und Entwicklung haben. Hierbei können Kammern, Innungen sowie regionale Handwerkszentren einen Beitrag leisten. Auch eine steuerliche Forschungsunterstützung kann helfen – ebenso wie der von der Bundesregierung geplante Aufbau der „Deutschen Agentur für Transfer und Innovation“ (DATI). Deren Aufgabe soll es sein, die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) und KMU zu stärken sowie Ausgründungen in den Regionen zu fördern.

Einbindung der Gesellschaft und Hinterfragen von Konsummustern: In der Gesellschaft gibt es unterschiedliche Sichtweisen und Erwartungen hinsichtlich der (holzbasierten) Bioökonomie – auch weil der Begriff wenig bekannt und erklärungsbedürftig ist: Für die einen kann Bioökonomie einen Beitrag zu Wohlstand und Arbeitsplatzsicherung leisten, andere sehen darin ein „Weiter so“ mit einem lediglich „grünen“ Wachstumsmodell. In Deutschland besteht einerseits eine besondere Verbundenheit zum Wald – auch werden Holzprodukte meist positiv beurteilt (Optik,²⁸⁶ Natürlichkeit, Geruch) –, andererseits ist Holz oftmals mit negativen Eigenschaften (brennbar, nicht witterungsbeständig) konnotiert.^{287, 288} Aufgrund dessen ist es wichtig, eine gesellschaftliche Diskussion über Zielkonflikte zu führen und die Informationsbereitstellung für Kundinnen und Kunden sowie den Austausch mit diesen zu intensivieren. So sind Bürgerdialoge zur Bioökonomie wie im Wissenschaftsjahr 2020/2021 unter Einbeziehung des Bioökonomierats fortzuführen, um sowohl zu informieren als auch Zielkonflikte zu verhandeln. Dabei sollten ebenso Konsummuster hinterfragt werden und Verhaltensänderungen eine Rolle spielen. Ein bewusster und geringerer Konsum (Reduce, Repair, Re-Use, Recycle) trägt den planetaren ökologischen Grenzen Rechnung, leistet einen Beitrag zur Ressourcenschonung und ist wichtiger Baustein einer umfassenden Kreislaufwirtschaft.

Austausch zwischen Regionen: Die Betrachtung der Modellregionen Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen und Sachsen-Anhalt hat gezeigt, dass Bundesländer auf Erfahrungen anderer aufbauen und davon profitieren können (beispielsweise im Hinblick auf das Marketing von Holzprodukten, Holzbauinitiativen). Dieser Austausch ist auch außerhalb der institutionalisierten

286 | Vgl. Wagenführ/Wagenführ 2022.

287 | Vgl. Gold/Rubik 2009.

288 | Vgl. Nyrd/Bringslimark 2010.



Länderberatungen zu intensivieren. Das heißt nicht, Konzepte eins zu eins nach dem Motto „One Size Fits All“ zu übernehmen, sondern Maßnahmen auf die regionalen Gegebenheiten und Stärken anzupassen. So erklärt sich beispielsweise, warum Bioraffineriekonzepte im stark von der Chemie geprägten Mitteldeutschland realisiert werden. Aber auch auf internationaler Ebene und von anderen Kulturen kann man lernen. So ist beispielsweise im Baubereich an Länder wie Skandinavien, Österreich, die Schweiz, Nordamerika oder Asien zu denken, wo der Holzbau bereits stärker verbreitet ist.

Aus- und Weiterbildung sowie Forschung, Wissensvermittlung und Fachkräftesicherung: Die Wissensvermittlung an Schulen im Hinblick auf die Bioökonomie als Nachhaltigkeitsansatz sowie in Bezug auf Rohstoffbereitstellung, Holznutzung und -verwendung ist auszubauen. Dies ist wichtig, um den Zusammenhang zwischen Schützen und Nutzen des Waldes aufzuzeigen und Vorbehalte abzubauen. Aber auch die Fort- und Weiterbildung ist zu intensivieren – so zum Beispiel für Architektinnen und Architekten im Hinblick auf den Holzbau generell und den Brandschutz im Speziellen. Hier kann die Ausbildung wiederum von anderen Kulturen und Regionen profitieren und auf deren Erfahrungen zurückgreifen. Neben einer Vielzahl von forst- und holzwirtschaftlichen sowie holztechnologischen Studiengängen und Instituten gibt es in Deutschland zahlreiche Lehr- und Studienangebote zu den Themen „Nachwachsende Rohstoffe“ beziehungsweise „Biological Resources“ sowie zu „Industrieller Biotechnologie“ und „Nachhaltigkeit und Ressourcenmanagement“ im weiteren Sinn. Hinzu kommen eigene Bioökonomielehrstühle und Studiengänge wie etwa in Bayern oder Baden-Württemberg.²⁸⁹ Die holzbasierte Bioökonomie ist systemisch zu betrachten. Demzufolge sind universitäre und außeruniversitäre Ausbildung und Lehre

interdisziplinär (beispielsweise unter anderem durch Vermittlung von Grundlagen in Design, Kreislaufwirtschaft und Ökonomie) anzugehen, ohne dabei auf eine gewisse Spezialisierung zu verzichten. Auch die Förderung von Digitalkompetenz und Kreativität sollte fester Bestandteil der Ausbildung sein. Bereits heute gibt es seitens verschiedener Bundesministerien – Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) – Forschungs- und Förderprogramme im Bereich der holzbasierten Bioökonomie. Diese erstrecken sich nicht nur auf technologische und ökologische Felder, sondern auch auf soziale Begleitforschung. Oben genannte Ideenwettbewerbe mit den Schwerpunkten „Langes Leben – Holz als Kohlenstoffspeicher“ und „Upcycling“ sowie Forschung zum „industrialisierten Handwerk“ im Hinblick auf eine mögliche Normung natürlicher Produkte mit variablen Eigenschaften sind ebenfalls zu fördern. Angesichts der verstärkt aufkommenden Diskussion im Hinblick auf Souveränität und Suffizienz nicht nur im Energiebereich dürfte ein Forschungsprojekt über mögliche Verhaltensänderungen und Konsummuster auch für Unternehmen interessant sein, um künftige Erwartungen zu antizipieren. Dabei ist Suffizienz nicht zwingend gleichzusetzen mit Verzicht, sondern mit der Ermöglichung von Optionen. Um die Facharbeiterausbildung auch für junge Menschen attraktiver zu machen, sind zudem im politischen Raum vorgeschlagene Instrumente umzusetzen (Begabtenförderung in der beruflichen Bildung, Reduktion der Kosten für Meisterausbildung etc.). Dem Facharbeitermangel in der Forst- und Holzindustrie (siehe Kapitel 2.2) ist mit angemessener Bezahlung sowie Fachkräftezuwanderung und unbürokratischen Anerkennungsverfahren zu begegnen. Aber auch Unternehmen und Verbände können durch Imagekampagnen und attraktive Angebote um Fachkräfte werben.

289 | Vgl. BMBF 2018b.

     						
Adressaten Handlungsfelder	Politik (national und international)	Forstwirtschaft/ Rohstoff-/Biomasse- bereitstellung	Verwender (Holzbe- und -verarbeitung/ weitere Sektoren und Industrien) ²⁹⁰	Handel/ Logistik	Endkun- dinnen und Endkunden/ Gesellschaft	Wissenschaft sowie Aus- und Weiterbildung
Nachhaltige Waldbewirtschaftung honorieren						
Langfristige Sicherung der Primär- rohstoff- basis	Honorierung von Ökosystemleistungen (Ergebnis resilienter Waldbau: nachhaltige Rohstoffbereitstellung, Klimaschutzleistungen, Biodiversität)	Waldbau (Mischwald mit entsprechendem Nadelholz- anteil); überwiegend integra- tive Waldbewirtschaftung				Honorierung Ökosystem- leistungen: Erarbeitung von Indikatoren
	Einsatz von Fernerkundungssystemen zur Schaderkennung					Weiterentwicklung von Fernerkundungssystemen zur Schaderkennung
Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung stärken						
Sparsame und effiziente Holz- verwendung	Umsetzung Kreislaufwirtschaft (kaskadenförmige Holznutzung; Verordnungsermächtigung KrWG: prioritär mehrfache stoffliche Nutzung (zum Beispiel Sperrmüllverordnung); Anforderungen an Entsorger: verbesserte Umsetzung Sperrmüllsammmlung und -management); Innovationen (sektorübergreifender Ideenwettbewerb „Langes Leben – Holz als Kohlenstoffspeicher“; Forschung Upcycling)					
	Altholzverwertung (Novelle AltholzV, EU-weite Harmonisierung; energetische Verwertung am Ende der Kaskade von stofflich nicht verwertbarem Altholz)					
	„Design for Re-Use and Recycling“ und Bewusstsein der Stakeholder stärken		„Design for Re-Use and Recycling“ und Bewusstsein der Stakeholder stärken			
Transparente Informationen bereitstellen und Fördervoraussetzungen optimieren						
Stärkung der Akzeptanz für stoffliche, innovative holzbasierte Anwen- dungen	Ökobilanzen und Life Cycle Assessments (LCAs) standardisieren und ausweiten (Vergleichbarkeit, Transparenz, Praktikabilität über gesamten Lebenszyklus unter Berücksichtigung verschiedener Umweltauswirkungen; weitere Forschung sowie Datenerhebung und -bereitstellung)					
	Holzbasierte Innovationen durch Vorbildfunk- tion der öffentlichen Hand anreizen, Förder- voraussetzungen optimieren (Beispiel: QNG- Siegel, THG-Obergrenze) Voraussetzung für Zuschüsse und Kredite zum Beispiel bei Neubauförderung)	Akzeptanz und Attraktivität stärken: Kundinnen und Kunden transparent informieren und kundenseitig Nachfrage schaffen (QR-Codes, Siegel, Reparatur, Leasing- und Sharingangebote sowie Produkte mit – funktionellem – Mehrwert)				
Governance und (gesetzliche) Rahmenbedingungen kohärent weiterentwickeln						
Etablierung stofflicher, innovativer holzbasierter Anwen- dungen	Kohärente Governance gewährleisten (Erarbeitung übergreifender Biomassestrategie; Level Playing Field von energetischer und stofflicher Holznutzung: Abbau von Anreizen für energetische Holznutzung und Ersatz durch perspektivisch möglichst einheitlichen CO ₂ - Preis über alle Sektoren) Kongruente Gesetzgebung: (Abbau Hemmnisse Baurecht; Harmonisierung VOC-Grenzwerte, Aufhebung Normungsstau EU-Ebene)					
Künftigen Anforde- rungen und Gegeben- heiten begegnen	Innovative Geschäftsmodelle generieren, Gesellschaft einbinden, Konsummuster hinterfragen, Aus- und Weiterbildung sowie Forschung anreizen					
	Generierung innovativer Geschäftsmodelle – Kooperation und Digitalisierung (Kommunikation in Wert- schöpfungsnetzwerken; bedarfsgerechte, individualisierte Produktherstellung und -nachverfolgung, digitale Produktpässe; Anwendung Building Information Modeling (BIM) im Bauwesen; Unterstützung Handwerk/KMU bei Digitalisierung, Automatisierung und Know-how-Transfer; gemeinsame Nutzung von Anlagen; langlebige, reparierbare Produkte mit Mehrwert für Kundinnen und Kunden sowie Umwelt)					Forschung zu „industrialisiertem Handwerk“
	Gesellschaft einbinden, Konsummuster hinterfragen und Austausch zwischen Regionen (national sowie international) fördern					
Aus- und Weiterbildung sowie Forschung: Wissensvermittlung und interdisziplinäre Forschung fördern, Fachkräftemangel begegnen: Wissensvermittlung hinsichtlich Holznutzung und -verwendung in Aus- und Weiterbildung intensivieren; internationalen Austausch suchen; Forschung zu künftigen Konsumverhalten (inklusive Suffizienzaspekt); Fachkräftesicherung: angemessene Bezahlung; Bewerbung/ Informationen durch Unternehmen, Verbände; Fachkräftezuwanderung (unbürokratische Anerkennungsverfahren)						

Tabelle 1: Übersicht der Handlungsfelder mit Handlungsempfehlungen (Quelle: eigene Darstellung)

290 | Holzbasierte Produkte können auch Produkte beziehungsweise Materialien ersetzen, die auf fossilen Rohstoffen basieren. Insofern adressieren die Handlungsempfehlungen auch andere Sektoren, das heißt Industrien und Unternehmen außerhalb der eigentlichen Holzbe- und -verarbeitung.



Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die Prozesskette Forst-Holz-Papier/Chemie	16
Abbildung 2:	Aufkommen der verwendeten Holzrohstoffe 2016	19
Abbildung 3:	Verwendung der Holzrohstoffe nach Nutzergruppen 2016	19
Abbildung 4:	Waldfläche und Hauptbaumarten in Deutschland im Jahr 2017	24
Abbildung 5:	Darstellung der Leistungen, die der Wald in Deutschland erbringt	27
Abbildung 6:	Klimaschutzeffekt von Wald und Holz	28
Abbildung 7:	Urbach Turm (Ausschnitt)	39
Abbildung 8:	Prinzip der zirkulären Nutzung von Holz – Holznutzung/Kaskade	45
Abbildung 9:	Prozesse und Produkte aus der UPM-Bioraffinerieanlage in Leuna	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der Handlungsfelder mit Handlungsempfehlungen	65
------------	---	----

Literatur

acatech et al. 2019

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina/Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften: *Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Strategien für eine nachhaltige Bioenergienutzung* (Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung), München 2019.

acatech/Körber-Stiftung 2020

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Körber-Stiftung: *TechnikRadar 2020. Was die Deutschen über Technik denken. Schwerpunkt Bioökonomie*, München 2020.

ACOD 2021

Automotive Cluster Ostdeutschland e.V.: *Holz in der Intralogistik – Tradition trifft Innovation*, 2021. URL: <https://www.acod.de/news/details/holz-in-der-intralogistik-tradition-trifft-innovation> [Stand: 04.05.2022].

AGDW 2019

Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände e.V.: *Zwei Millionen Waldeigentümer*, 2019. URL: <https://www.waldeigentuermer.de/themen/private-waldbesitzer/> [Stand: 02.05.2022].

Aktionsforum Bioökonomie 2021

Aktionsforum Bioökonomie: *Impulse für den Bioökonomierat*, Bremen 2021.

AltholzV 2002

Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz: *Altholzverordnung – AltholzV: Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz, vom 15.08.2002, BGBl. I S. 3302, zuletzt geändert durch Artikel 120 der Verordnung vom 19.06.2020, BGBl. I S. 1328*.

Bayerische Staatskanzlei 2021

Bayerische Staatskanzlei: *Klimaland Bayern. Der Bayerische Ministerpräsident Dr. Markus Söder, MdL, hat am 21. Juli 2021 vor dem Bayerischen Landtag seine Regierungserklärung Klimaland Bayern gehalten*, 2021. URL: <https://www.bayern.de/klimaland-bayern/?seite=5468> [Stand: 04.05.2022].

Bechert et al. 2021

Bechert, S./Aldinger, L./Wood, D./Knippers, J./Menges, A.:

„Urbach Tower: Integrative Structural Design of a Lightweight Structure Made of Self-Shaped Curved Cross-Laminated Timber“. In: *Structures*, 33, 2021, S. 3667–3681.

Berger et al. 2021

Berger, L./Ober, S./Huwe, V.: *Bürgerdialog Bioökonomie. Ein Beitrag zur sozial-ökologischen Transformation* (BfN-Skripte 615), Bonn 2021.

Bergmann 2022

Bergmann, J.: „Lage für Holzwerkstoffe bleibt herausfordernd. Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie ruft zu gemeinsamem Handeln beim Klimaschutz auf“. In: *Holz-Zentralblatt*, 2022: 8, S. 122.

Berner 2018

Berner, J.: *Udo Mantau: „Wir nutzen den Rohstoff Holz 1,5-mal“*, 2018. URL: <https://www.pelletshome.com/pellets-news/interview-udo-mantau> [Stand: 01.06.2022].

bioökonomie.de 2017a

bioökonomie.de: *Sachsen-Anhalt*, 2017. URL: <https://biooekonomie.de/themen/biooekonomie-in-den-bundeslaendern/sachsen-anhalt> [Stand: 25.08.2022].

bioökonomie.de 2017b

bioökonomie.de: *Wo in Europa Bioraffinerien stehen*, 2017. URL: <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/wo-europa-bioraffinerien-stehen> [Stand: 13.05.2022].

Bioökonomierat 2021

Bioökonomierat: *BioÖkonomieRat*, 2021. URL: <https://www.biooekonomierat.de/> [Stand: 13.05.2022].

Bioökonomierat 2022

Bioökonomierat: *Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten. 1. Arbeitspapier des III. Bioökonomierats*, 2022.

BIOPRO 2021

BIOPRO Baden-Württemberg GmbH: „Wie können innovative Wertschöpfungsketten in der Bioökonomie im Alpenraum gefördert werden? Finale Konferenz des EU-Projekts AlpLinkBioEco“ (Pressemitteilung vom 08.04.2021). URL: <https://www.bio-pro.de/infothek/pressemitteilungen/wie-koennen-innovative-wertschoepfungsketten-der-biooekonomie-im-alpenraum-gefoerdert-werden> [Stand: 09.05.2022].



BLE 2022

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: *BIMwood – Entwicklung von Building Information Modelling basierten Lösungen für projektbezogene Kooperation in der Wertschöpfungskette vorgefertigter Holzbauten (BIMwood)*, 2022. URL: https://www.fisaonline.de/projekte-finden/details/?tx_fisaresearch_projects%5Bp_id%5D=13728&tx_fisaresearch_projects%5Baction%5D=projectDetails&tx_fisaresearch_projects%5Bcontroller%5D=Projects&cHash=a6f02808fb6510b298c35954dfc7214d [Stand: 09.05.2022].

Bliem et al. 2020

Bliem, P./Frömel-Frybort, S./van Herwijnen, H. W. G./Mauritz, R./Müller, U./Teischinger, A./Konnerth, J.: „Holzwerkstoff basierend auf Partikeln hergestellt mittels einer neuartigen, nicht schneidenden Zerteilungstechnologie. Herstellung, Eigenschaften und mögliche Anwendungsgebiete“. In: *Holztechnologie*, 2020: 61, S. 30–38.

BMBF/BMEL 2020

Bundesministerium für Bildung und Forschung/Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Nationale Bioökonomiestrategie*, Berlin 2020.

BMBF 2018a

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Forschung und Innovation für die Menschen. Die Hightech-Strategie 2025*, Berlin 2018.

BMBF 2018b

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Themendossiers. Ausbildungswege: Bioökonomie studieren*, 2018. URL: <https://biooekonomie.de/themen/dossiers/ausbildungswege-biooekonomie-studieren#1> [Stand: 12.04.2022].

BMBF 2021a

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Bioökonomie als gesellschaftlicher Wandel. Konzept zur Förderung sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Forschung für die Bioökonomie*, Berlin 2021.

BMBF 2021b

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Bekanntmachung. Förderrichtlinie Ideenwettbewerb „Neue Produkte für die Bioökonomie“ im Rahmen der „Nationalen Bioökonomiestrategie“, Bundesanzeiger vom 21.07.2021*, 2021. URL: https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2021/07/Bekanntmachung19_Nationale-Bio%C3%B6konomiestrategie.html [Stand: 11.05.2022].

BMBF 2022a

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Daten und Fakten zum deutschen Forschungs- und Innovationssystem*. Bundesbericht Forschung und Innovation 2022, Berlin 2022.

BMBF 2022b

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Programmstruktur von Horizont Europa*, 2022. URL: <https://www.horizont-europa.de/de/Themen-1717.html> [Stand: 04.05.2022].

BMEL 2015

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe*, Berlin 2015.

BMEL 2016

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012*, Berlin 2016.

BMEL 2017

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Waldbericht der Bundesregierung 2017*, Bonn 2017.

BMEL 2018a

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Charta für Holz 2.0*, 2018.

BMEL 2018b

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur*, Berlin 2018.

BMEL 2021a

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020*, Bonn 2021.

BMEL 2021b

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Waldstrategie 2050. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – Herausforderungen und Chancen für Mensch, Natur und Klima*, Bonn 2021.

BMEL 2021c

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: „Bundesregierung verlängert Unterstützung aus dem Waldklimafonds“ (Pressemitteilung vom 30.03.2021). URL: <https://www.waldklimafonds.de/service/presse/presse-detail/bundesregierung-verlaengert-unterstuetzung-aus-dem-waldklimafonds> [Stand: 04.05.2022].

BMEL 2021d

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Waldbericht der Bundesregierung 2021*, Bonn 2021.

BMEL 2021e

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Charta für Holz 2.0*, Bonn 2021.

BMEL 2022a

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021*, 2022. URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldzustandserhebung.html#doc14554bodyText2> [Stand: 11.05.2022].

BMEL 2022b

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: „BMEL bringt Förderprogramm auf den Weg: 900 Millionen Euro für Wälder“ (Pressemitteilung vom 07.07.2022). URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2022/93-waldfoerderprogramm.html> [Stand: 26.07.2022].

BMI 2021

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: *Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude. Neubau von Wohngebäuden*, Berlin 2021.

BMU 2019

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Indikatorenbericht 2019 der Bundesregierung zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt*, Berlin 2019.

BMU 2021

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Eckpunktepapier zur neuen nationalen Biodiversitätsstrategie*, 2021.

BMUB 2007

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007*, Berlin 2007.

BMWi 2019a

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Energieeffizienzstrategie 2050*, Berlin 2019.

BMWi 2019b

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Industriestrategie 2030. Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik*, Berlin 2019.

BMWi 2021

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *ZIM-Erfolgsbeispiel. Versandpackung mit Thermoisolation aus Altpapier*, Berlin 2021.

BMWK 2022a

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: *Best-Practice-Beispiel für den Leichtbau in Deutschland. Holz-CFK-Formteil* (Der Leichtbauatlas), Berlin 2022.

BMWK 2022b

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: *Förderprogramm Industrielle Bioökonomie*, 2022. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrielle-biooekonomie.html> [Stand: 11.05.2022].

BMWK 2022c

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: *Industrielle Bioökonomie – Wachstum und Innovation für den Standort Deutschland*, 2022. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrielle-biooekonomie-wachstum-und-innovation.html> [Stand: 11.05.2022].

BMWSB 2022

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: *Gebäudeanforderungen: Besondere Anforderungen im öffentlichen Interesse an den Beitrag von Gebäuden zur Nachhaltigen Entwicklung. Anlage 3 zum Handbuch des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude*, Stand: 12.04.2022, Berlin 2022.

BNatSchG 2009

BNatSchG: *Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege* vom 29. Juli 2009, BGBl. I S. 2542, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021, BGBl. I S. 3908.

Bolte et al. 2016

Bolte, A./Börner, J./Brädicke, N./Degen, B./Dieter, M./Saake, B./Schneider, B. U.: *Perspektiven der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland. Aktualisierte Version*, Berlin 2016.

Bolte et al. 2021

Bolte, A./Ammer, C./Annighöfer, P./Bauhus, J./Eisenhauer, D.-R./Geissler, C./Leder, B./Petercord, R./Rock, J./Seifert, T./Spathe, P.: *Fakten zum Thema: Wälder und Klimaschutz*, 3, 2021.

BPA 2022

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: *Neubauförderung für energieeffiziente Gebäude*, 2022. URL: <https://>



www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/neu-bauefoerderung-eh40-2023780 [Stand: 13.05.2022].

Bringezu et al. 2020

Bringezu, S./Banse, M./Ahmann, L./Bezama, N. A./Billig, E./Bischof, R./Blanke, C./Brosowski, A./Brüning, S./Borchers, M./Budzinski, M./Cyffka, K.-F./Distelkamp, M./Egenolf, V./Flaute, M./Geng, N./Giesecking, L./Graß, R./Hennenberg, K./Hering, T./Iost, S./Jochem, D./Krause, T./Lutz, C./Machmüller, A./Mahro, B./Majer, S./Mantau, U./Meisel, K./Moesenfechtel, U./Noke, A./Rausen, T./Richter, F./Schaldach, R./Schweinle, J./Thrän, D./Uglik, M./Weimar, H./Wimmer, F./Wydra, S./Zeug, W.: *Pilotbericht zum Monitoring der deutschen Bioökonomie*, Kassel 2020.

BUND 2017

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland: *Ein gutes Leben für alle! Eine Einführung in die Suffizienz*, Stuttgart 2017.

Bundesregierung 2018

Bundesregierung: *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Aktualisierung 2018*, Berlin 2018.

BWaldG 1975

Bundeswaldgesetz – BWaldG: *Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft*, vom 02.05.1975, BGBl. I S. 1037, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17.01.2017, BGBl. I S. 75.

CaReWood 2017

Cascading Recovered Wood: *WoodWisdom – Net Research Programme. Final Report*, München 2017.

Carlowitz 1713

Carlowitz, H. C. von: *Sylvicultura Oeconomica*, 1713.

Carus et al. 2010

Carus, M./Piotrowski, S./Raschka, A.: *Studie zur Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland. Volumen, Struktur, Substitutionspotenziale, Konkurrenzsituation und Besonderheiten der stofflichen Nutzung sowie eine Entwicklung von Förderinstrumente. Langfassung*, Hürth 2010.

Carvalho et al. 2008

Carvalho, F./Duarte, L. C./Gírio, F. M.: „Hemicellulose Biorefineries: a Review on Biomass Retreatments“. In: *Journal of Scientific & Industrial Research*: 67, 2008, S. 849–864.

Churkina et al. 2020

Churkina, G./Organschi, A./Reyer, C. P. O./Ruff, A./Vinke, K./Liu, Z./Reck, B. K./Graedel, T. E./Schellnhuber, H. J.: *Nature Sustainability Perspectives. Buildings as a Global Carbon Sink*, 4, 2020.

Circular Bio-based Europe Joint Undertaking 2022

Circular Bio-based Europe Joint Undertaking: BBI JU, 2022. URL: <https://www.bbi.europa.eu/projects> [Stand: 01.06.2022].

CLEANTECH 2020

CLEANTECH Initiative Ostdeutschland: „LiGenium macht den Maschinenbau leichter“. In: CLEANTECH Initiative Ostdeutschland (Hrsg.): *Newsletter. CLEANTECH – grüne Innovationen aus Ostdeutschland informiert*, Dresden 2020.

Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern 2016

Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern gGmbH: *Clusterstudie Forst, Holz und Papier 2015. Klimaschutz, Wirtschaftswachstum und Zukunftschance für Bayern und seinen ländlichen Raum*, Freising 2016.

Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern 2020

Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern gGmbH: *Holzbasierete Bioökonomie. Potenziale und aktuelle Entwicklungen*, Freising 2020.

DBFZ 2021

Deutsches Biomasse Forschungszentrum: *Umrüstung von Kohlekraftwerken auf Biomasse* (Positionspapier), Leipzig 2021.

DeSH 2021

Deutsche Säge- und Holzindustrie: „Klimaschutzgesetz bedroht Holzverwendung in Deutschland“ (Pressemitteilung vom 11.05.2021). URL: <https://www.saegeindustrie.de/de/content/newsroom/aktuelles/news?id=2054> [Stand: 30.05.2022].

Destatis 2021

Statistisches Bundesamt: *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2021*, Wiesbaden 2021.

DFWR 2021

DeutscherForstwirtschaftsrat.V.: „EU-Kommission greift die Forstwirtschaft an“ (Pressemitteilung vom 14.07.2021). URL: <https://www.agrar-presseportal.de/landwirtschaft/forstwirtschaft/eu-kommission-greift-die-forstwirtschaft-an-30510.html> [Stand: 04.05.2022].

DHWR 2016

Deutscher Holzwirtschaftsrat e. V.: *Roadmap Holzwirtschaft 2025. Beitrag der Holzwirtschaft zu einer biobasierten Wirtschaft. Klimaschutz, Nachwachsender Rohstoff, Energie- und Ressourceneffizienz, Nachhaltiges Bauen mit Holz*, Berlin 2016.

DHWR 2020

Deutscher Holzwirtschaftsrat: „50 Prozent bis 2050: Holzwirtschaft setzt Holzbauquote“ (Pressemitteilung vom 2020). URL: https://www.dhwr.de/presse_pressemitteilungen.php?id=687 [Stand: 04.05.2022].

Die Papierindustrie e. V. 2021a

Die Papierindustrie e. V.: *Positionen zur Bundestagswahl 2021*, Bonn 2021.

Die Papierindustrie e. V. 2021b

Die Papierindustrie e. V.: *Kennzahlen Zellstoff und Papierindustrie in Deutschland*, Berlin 2021.

Die Verbraucher Initiative e. V. 2022

Die Verbraucher Initiative e. V.: *Label. FSC Recycled*, 2022. URL: <https://label-online.de/label/fsc-recycled/> [Stand: 09.05.2022].

DITF 2022

Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung: „The ‚Cellulose Fibre Innovation of the Year 2022 Award‘ Goes to DITF Denkerdorf“ (Pressemitteilung vom 09.02.2022). URL: <https://idw-online.de/de/news788079> [Stand: 09.05.2022].

DLR 2019

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.: *Sommerzeit, Waldbrandzeit – mit fliegendem Kameraschwarm Brände aufspüren*, 2019. URL: https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2019/02/20190628_sommerzeit-waldbrandzeit.html [Stand: 04.05.2022].

DLR 2022

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt: „Sorge um den deutschen Wald“ (Pressemitteilung vom 21.02.2022). URL: https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/01/20220221_sorge-um-den-deutschen-wald.html [Stand: 02.05.2022].

Döring et al. 2021

Döring, P./Giesecking, L./Mantau, U.: *Holzwerkstoffindustrie 2020. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung*, Hamburg 2021.

Elsasser et al. 2020

Elsasser, P./Köthke, M./Dieter, M.: *Ein Konzept zur Honorierung der Ökosystemleistungen der Wälder, Thünen Working Paper 152*, Braunschweig 2020.

EPAL 2022

European Pallet Association e. V.: *EPAL Palettenproduktion steigt in 2021 auf Rekordniveau*, 2022. URL: <https://www.epal-pallets.org/eu-de/news/news/details/article/epal-palettenproduktion-steigt-in-2021-aufrekordniveau> [Stand: 12.05.2022].

Europäische Kommission 2018

Europäische Kommission: *A Sustainable Bioeconomy for Europe. Strengthening the Connection between Economy, Society and the Environment. Updated Bioeconomy Strategy*, Brüssel 2018.

Europäische Kommission 2019

Europäische Kommission: *Der europäische Grüne Deal. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen*, Brüssel 2019.

Europäische Kommission 2020a

Europäische Kommission: *A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*, Brüssel 2020.

Europäische Kommission 2020b

Europäische Kommission: *EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing Nature back into our Lives. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*, Brüssel 2020.

Europäische Kommission 2021a

Europäische Kommission: *New European Bauhaus NEB. About the Initiative*, 2021. URL: https://europa.eu/new-european-bauhaus/about/about-initiative_de [Stand: 04.05.2022].

Europäische Kommission 2021b

Europäische Kommission: *Renovation Wave. Renovating the EU Building Stock Will Improve Energy Efficiency while Driving the Clean Energy Transition*, 2021. URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en [Stand: 20.10.2021].



Europäische Kommission 2021c

Europäische Kommission: *Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/841 hinsichtlich des Geltungsbereichs, der Vereinfachung der Compliance-Vorschriften, der Festlegung der Zielwerte der Mitgliedstaaten für 2030 und der Verpflichtung, bis 2035 gemeinsam Klimaneutralität im Sektor Landnutzung, Forstwirtschaft und Landwirtschaft zu erreichen, und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 hinsichtlich der Verbesserung der Überwachung, der Berichterstattung, der Verfolgung der Fortschritte und der Überprüfung*, vom 14.07.2021.

Europäische Kommission 2021d

Europäische Kommission: *Anhang des Vorschlags für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/841 hinsichtlich des Geltungsbereichs, der Vereinfachung der Compliance-Vorschriften, der Festlegung der Zielwerte der Mitgliedstaaten für 2030 und der Verpflichtung, bis 2035 gemeinsam Klimaneutralität im Sektor Landnutzung, Forstwirtschaft und Landwirtschaft zu erreichen, und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 hinsichtlich der Verbesserung der Überwachung, der Berichterstattung, der Verfolgung der Fortschritte und der Überprüfung*, vom 14.07.2021.

Europäische Kommission 2021e

Europäische Kommission: *New EU Forest Strategy for 2030. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions* (3), Brüssel 2021.

Europäische Kommission 2021f

Europäische Kommission: *Fragen und Antworten zur Überarbeitung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, 2021. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_6686 [Stand: 05.04.2022].

Europäische Kommission 2021g

Europäische Kommission: *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: „Fit für 55“: Auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030*, vom 14.07.2021, 2021.

Europäische Kommission 2022a

Europäische Kommission: *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Laying down Harmonised Conditions for the Marketing of Construction Products*,

Amending Regulation (EU) 2019/1020 and Repealing Regulation (EU) 305/2011, vom 30.03.2022, 2022.

Europäische Kommission 2022b

Europäische Kommission: *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for Setting Ecodesign Requirements for Sustainable Products and Repealing Directive 2009/125/EC*, vom 30.03.2022, 2022.

Europäisches Parlament 2010

Europäisches Parlament: *Verordnung Nr. 995/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzserzeugnisse in Verkehr bringen*, EU-Holzverordnung vom 20.10.2010, ABIEU Nr. L 295, 2010, S. 23–34.

Europäisches Parlament 2018

Europäisches Parlament: *Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR)* vom 11.12.2018, ABIEU Nr. L 328, 2018, S. 82 ff.

Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz 2020

Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz: *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolz-BauRL)*, 2020.

Fehrenbach et al. 2017

Fehrenbach, H./Köppen, S./Kauertz, B./Detzel, A./Wellenreuther, F./Breitmayer, E./Essel, R./Carus, M./Kay, S./Wern, B./Baur, F./Biengen, K./Geibler, J. von: *Biomassekaskaden. Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis. Endbericht* (Texte 53), Dessau-Roßlau 2017.

Finnveden et al. 2009

Finnveden, G./Hauschild, M. Z./Ekvall, T./Guinée, J./Heijungs, R./Hellweg, S./Koehler, A./Pennington, D./Suh, S.: „Recent Developments in Life Cycle Assessment“. In: *Journal of Environmental Management*, 91: 1, 2009, S. 1–21.

Flamme et al. 2020

Flamme, S./Hams, S./Bischoff, J./Fricke, C.: *Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung. Abschlussbericht* (Texte 95/2020), Dessau-Roßlau 2020.

Fleischer et al. 2021

Fleischer, J./Albers, A./Anderl, R./Aurich, J. (Hrsg.): *5G in der Industrie. Wege in die Technologieführerschaft in Produktenentwicklung und Produktion* (acatech IMPULS), München 2021.

FNR 2014

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe*, Berlin 2014.

FNR 2018a

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Verwendung der Holzrohstoffe nach Nutzergruppen 2016*, 2018. URL: <https://mediathek.fnr.de/verwendung-der-holzrohstoffe-nach-nutzergruppen-2016.html> [Stand: 01.09.2022].

FNR 2018b

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Rohstoffmonitoring Holz: Daten und Botschaften. Handout*, Gülzow-Prüzen 2018.

FNR 2018c

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Aufkommen der verwendeten Holzrohstoffe 2016*, 2018. URL: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/fest-biobrennstoffe/aufkommen-der-verwendeten-holzrohstoffe-2016.html> [Stand: 01.09.2022].

FNR 2019

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Biologische Vielfalt der Waldpflanzen und Flechten*, 2019. URL: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/forstwirtschaft/biologische-vielfalt-der-waldpflanzen-und-flechten.html> [Stand: 02.05.2022].

FNR 2020a

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Infografik Ökosystemleistungen*, 2020. URL: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/presse-grafiken/infografik-okosystemleistungen.html> [Stand: 01.09.2022].

FNR 2020b

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Broschüre Laubholz-Produktmärkte aus technisch-wirtschaftlicher und marktstruktureller Sicht*, Gülzow-Prüzen 2020.

FNR 2020c

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Hauptbaumarten 2017*, 2020. URL: <https://mediathek.fnr.de/hauptbaumarten-2017.html> [Stand: 01.09.2022].

FNR 2022a

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Charta für Holz 2.0. Kennzahlenbericht 2021 Forst & Holz*, Gülzow-Prüzen 2022.

FNR 2022b

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Holzeinschlag 2015–2021*, 2022. URL: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/forstwirtschaft/holzeinschlag-2015-2021.html> [Stand: 01.06.2022].

FNR 2022c

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V.: *Klimaschutzeffekt von Wald und Holz*, 2022. URL: <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/forstwirtschaft/klimaschutzeffekt-von-wald-und-holz.html> [Stand: 01.09.2022].

Fraunhofer IGB 2022

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik: *Lignocellulose-Bioraffinerie. Aufschluss von lignocellulosehaltigem Material (Holz, Stroh)*, 2022. URL: <https://www.cbpf.fraunhofer.de/content/igb/de/forschung/regenerative-ressourcen/biomassefraktionierung/lignocellulose-bioraffinerie.html> [Stand: 09.05.2022].

Fratzl et al. 2019

Fratzl, P./Jacobs, K./Möller, M./Scheibel, T./Sternberg, K. (Hrsg.): *Materialforschung: Impulsgeber Natur. Innovationspotenzial biologisch inspirierter Materialien und Werkstoffe* (acatech DISKUSION), München 2019.

Fuss et al. 2021

Fuss, S./Gruner, F./Hilaire, J./Kalkuhl, M./Knapp, J./Lamb, W./Merfort, A./Meyer, H./Minx, J. C./Strefler, J.: *CO₂-Entnahmen: Notwendigkeit und Regulierungsoptionen. Studie im Auftrag der Wissenschaftsplattform Klimaschutz*, Berlin 2021.

Gärtner et al. 2013

Gärtner, S./Hienz, G./Keller, H./Müller-Lindenlauf, M.: *Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz. Umweltwirkungen stofflicher und energetischer Holznutzungssysteme im Vergleich*, Heidelberg 2013.

Gawel et al. 2016

Gawel, E./Purkus, A./Pannicke, N./Hagemann, N.: *Die Governance der Bioökonomie – Herausforderungen einer Nachhaltigkeitstransformation am Beispiel der holzbasierten Bioökonomie in Deutschland* (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Discussion Papers 2), Leipzig 2016.

**Gebke et al. 2020**

Gebke, S./Thümmel, K./Sonnier, R./Tech, S./Wagenführ, A./Fischer, S.: „Suitability and Modification of Different Renewable Materials as Feedstock for Sustainable Flame Retardants“. In: *Molecules*, 25: 21, 2020, S. 5122.

Germanwatch e. V. 2021

Germanwatch e. V.: „EU-Kommission legt wegweisendes Klimapakete vor, springt aber an wichtigen Stellen zu kurz“ (Pressemitteilung vom 14.07.2021). URL: <https://www.germanwatch.org/de/20475> [Stand: 05.04.2022].

GewAbfV 2017

Gewerbeabfallverordnung – GewAbfV: *Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen*, vom 18.04.2017, BGBl. I S. 896, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 28.04.2022, BGBl. I S. 700.

Gold/Rubik 2009

Gold, S./Rubik, F.: „Consumer Attitudes Towards Timber as a Construction Material and Towards Timber Frame Houses – Selected Findings of a Representative Survey Among the German Population“. In: *Journal of Cleaner Production*, 17: 2, 2009, S. 303–309.

Grober 2013

Grober, U.: „Von Freiberg nach Rio – Carlowitz und die Bildung des Begriffs »Nachhaltigkeit«“. In: Sächsische Carlowitz-Gesellschaft (Hrsg.): *Die Erfindung der Nachhaltigkeit. Leben, Werk und Wirkung des Hans Carl von Carlowitz*, München: oekom 2013, S. 13–30.

Grönquist et al. 2019

Grönquist, P./Wood, D./Hassani, M. M./Wittel, F. K./Menges, A./Rüggeberg, M.: „Analysis of Hygroscopic Self-Shaping Wood at Large Scale for Curved Mass Timber Structures“. In: *Science Advances*, 5: 9, 2019.

Grunwald 2020

Grunwald, A.: „Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Bioökonomie“. In: Konrad, W./Scheer, D./Weidtmann, A. (Hrsg.): *Bioökonomie Nachhaltig Gestalten. Perspektiven für ein zukunftsfähiges Wirtschaften* (Technikzukunft, Wissenschaft und Gesellschaft / Futures of Technology, Science and Society), Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2020, S. 19–42.

HafenCity Hamburg GmbH 2021

HafenCity Hamburg GmbH: *Daten und Fakten. Wichtige Informationen zur HafenCity*, Hamburg 2021.

Hafner et al. 2021

Hafner, M./Springorum, J./Petkau, A.: „Was ist (holz-basierte) Bioökonomie? Analyse nationaler und internationaler politischer Strategiepapiere zur Bioökonomie und zur Waldbewirtschaftung“. In: *Holz-Zentralblatt*: 3, 2021, S. 47.

Hausknost et al. 2017

Hausknost, D./Schriebl, E./Lauk, C./Kalt, G.: „A Transition to Which Bioeconomy? An Exploration of Diverging Techno-Political Choices“. In: *Sustainability*, 9: 4, 2017, S. 669.

Häuslmayer et al. 2006

Häuslmayer, H./Gronalt, M./Teischinger, A.: „Mass Customization in the Wood-Working Industry: Simulation based Research of New Production Concepts“. In: Blecker, T./Friedrich, G./Hvam, L./Edwards, K. (Hrsg.): *Customer Interaction and Customer Integration Series on Business Informatics and Application Systems* (Series on Business Informatics and Application Systems 2), Berlin: GITO mbH 2006, S. 183–198.

Heiden 2020

Heiden, S.: „Innovation und Bioökonomie“. In: Thrän/Moesenfechtel (Hrsg.): *Das System Bioökonomie*, Heidelberg: Springer Spektrum 2020, S. 277–293.

Hennenberg et al. 2022

Hennenberg, K./Böttcher, H./Braungardt/Sibylle/Köhler, B./Reise, J./Köppen, S./Bischoff, M./Fehrenbach, H./Pehnt, M./Werle, M./Mantau, U.: *Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie. Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE*, Dessau-Roßlau 2022.

Hennig et al. 2019

Hennig, P./Schnell, S./Thomas, R.: „Rohstoffquelle Wald – Holzvorrat auf neuem Rekord“. In: *AFZ-DerWald*: 14, 2019, S. 24–27.

Hieke et al. 2018

Hieke, S./Thies, C./Stoppel, J.: *Wenn Wälder wieder wachsen. Eine Waldvision für Klima, Mensch und Natur*, Hamburg 2018.

Hildebrandt et al. 2017

Hildebrandt, J./Hagemann, N./Thrän, D.: „The Contribution of Wood-Based Construction Materials for Leveraging a Low Carbon Building Sector in Europe“. In: *Sustainable Cities and Society*, 34, 2017, S. 405–418.

Höglmeier 2014

Höglmeier, K.: *Holznutzung in Kaskaden: Ansätze zur Potentialanalyse und zur Weiterentwicklung der ökobilanziellen*

Bewertung (Dissertation), Technische Universität München, München 2014.

Holzbau Deutschland 2021

Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V.: *Lagebericht 2021*. Zimmerer/Holzbau, Berlin 2021.

HolzSiG 2011

Holzhandels-Sicherungs-Gesetz – HolzSiG: *Gesetz gegen den Handel mit illegal eingeschlagenem Holz*, vom 11.07.2011, BGBl. I S. 1345, zuletzt geändert durch Artikel 113 des Gesetzes vom 10.08.2021, BGBl. I S. 3436.

Husgafvel et al. 2018

Husgafvel, R./Linkosalmi, L./Hughes, M./Kanerva, J./Dahl, O.: „Forest Sector Circular Economy Development in Finland: A Regional Study on Sustainability Driven Competitive Advantage and an Assessment of the Potential for Cascading Recovered Solid Wood“. In: *Journal of Cleaner Production*, 181, 2018, S. 483–497.

IBU 2020

Institut Bauen und Umwelt e. V.: *Umweltzeichen. Umweltkennzeichnungen – eine Typfrage*, 2020. URL: <https://ibu-epd.com/umweltzeichen/> [Stand: 01.04.2022].

ITKE 2014

Universität Stuttgart. Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen: *Ausstellungspavillon auf der Landesgartenschau 2014. Robotisch gefertigte Leichtbau-Holzschale*, 2014. URL: https://www.itke.uni-stuttgart.de/de/forschung/realisierte_projekte/landesgartenschau-exhibition-hall-2014/ [Stand: 09.05.2022].

Jarre et al. 2020

Jarre, M./Petit-Boix, A./Priefer, C./Meyer, R./Leipold, S.: „Transforming the Bio-Based Sector Towards a Circular Economy – What Can We Learn from Wood Cascading?“. In: *Forest Policy and Economics*, 110, 2020, S. 101872.

Jering et al. 2013

Jering, A./Klatt, A./Seven, J./Ehlers, K./Günther, J./Ostermeier, A./Mönch, L.: *Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen* (Positionen), Dessau-Roßlau 2013.

Jochem et al. 2020

Jochem, D./Weimar, H./Dieter, M.: „Holzeinschlag 2019 steigt – Nutzung konstant. 77,6 Mio. m³ eingeschlagen – zusätzliche

Holz mengen am Markt führen zu starkem Anstieg der Rundholzexporte“. In: *Holz-Zentralblatt*, 33, 2020, S. 593–594.

Kemmerer/Labelle 2020

Kemmerer, J./Labelle, E. R.: „Using Harvester Data from On-Board Computers: a Review of Key Findings, Opportunities and Challenges“. In: *European Journal of Forest Research*, 140, 2020, S. 1–17.

Klein et al. 2013

Klein, D./Höllerl, S./Blaschke, M./Schulz, C.: „The Contribution of Managed and Unmanaged Forests to Climate Change Mitigation – A Model Approach at Stand Level for the Main Tree Species in Bavaria“. In: *Forests*, 4, 2013, S. 43–69.

Knauf/Frühwald 2020

Knauf, M./Frühwald, A.: *Marktpotenziale von Laubholzprodukten aus technisch-wirtschaftlicher und marktstruktureller Sicht*, Bielefeld 2020.

Krüger et al. 2018

Krüger, R./Zauer, M./Wagenführ, A.: „Physical Properties of Native and Thermally Treated European Woods as Potential Alternative to Indian Rosewood for the Use in Classical Guitars“. In: *European Journal of Wood and Wood Products*, 76: 6, 2018, S. 1663–1668.

KrWG 2021

Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG: *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen*, vom 24.02.2012, BGBl. I S. 212, in Kraft getreten am 01.06.2012, zuletzt geändert durch Artikel 20 des Gesetzes vom 10.08.2021, BGBl. I S. 3436.

KSG 2019

Bundes-Klimaschutzgesetz – KSG vom 12.12.2019, BGBl. I S. 2513, geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18.08.2021, BGBl. I S. 3905.

Kuznetsov et al. 2018

Kuznetsov, B. N./Sudakova, I. G./Garyntseva, N. V./Levdansky, V. A./Ivanchenko, N. M./Pestunov, A. V./Djakovitch, L./Pinel, C.: „Green Biorefinery of Larch Wood Biomass to Obtain the Bioactive Compounds, Functional Polymers and Nanoporous Materials. Manuscript Draft“. In: *Wood Science and Technology*, 52, 2018, S. 1377–1394.

Landeshauptstadt München,

Referat für Klima- und Umweltschutz 2021

Landeshauptstadt München, Referat für Klima- und Umweltschutz: *Münchner Förderprogramm Energieeinsparung*, München 2021.

**LignoSax 2020**

LignoSax e.V.: *Das sächsische Innovationscluster Forst – Holz – Papier*. URL: <https://www.lignosax.de/> [Stand: 04.05.2022].

Loučanová et al. 2021

Loučanová, E./Olšáková, M./Šupín, M./Drličková, E.: „Ecological Innovations in Services – Servitization of Furniture“. In: International Association for Economics and Management in Wood Processing and Furniture Manufacturing – WoodEMA, i. a./University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of wood science and technology (Hrsg.): *The Response of the Forest-Based Sector to Changes in the Global Economy. Proceedings*, 2021, S. 239–245.

Lückge 2022

Lückge, F.-J.: *Rundschreiben Marktdaten im Auftrag des Verbands der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.*, 2022.

Mantau 2012

Mantau, U.: *Wood Flows in Europe (EU27)*. Project Report, Celle 2012.

Mantau 2018

Mantau, U.: *Rohstoffmonitoring Holz. Daten – Erkenntnisse – Perspektiven. Bilanzierung, Nutzungsreserven, Ausblick*, 28. Juni 2018.

Mantau et al. 2018

Mantau, U./Döring, P./Weimar, H./Glasenapp, S./Jochem, D./Zimmermann, K.: *Rohstoffmonitoring Holz: Erwartungen und Möglichkeiten. Kurzfassung*, Gülzow-Prüzen 2018.

Maráz 2021

Maráz, L.: „Grenzenloser Konsum. Wie die Menschheit Wälder ins Burnout treibt“. In: Forum Umwelt und Entwicklung (Hrsg.): *Rundbrief 2021* (Rundbrief 3), 2021, S. 2–7.

Martes/Köhl 2022

Martes, L./Köhl, M.: „Improving the Contribution of Forests to Carbon Neutrality under Different Policies – A Case Study from the Hamburg Metropolitan Area“. In: *Sustainability*, 14: 4, 2022, S. 2088.

MBO 2002

Musterbauordnung – MBO. MBO Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 25.09.2020.

Meißner et al. 2016

Meißner, H.-R./Bochum, U./Prielius, M.: *Branchenanalyse Holzbearbeitungsmaschinenindustrie* (Study 325), Düsseldorf 2016.

Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH 2021

Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH: *Mitteldeutschland wird zur Modellregion Bioökonomie*, 2021. URL: <https://www.mitteldeutschland.com/de/mitteldeutschland-wird-zur-modellregion-biooekonomie/> [Stand: 04.05.2022].

Miletzky et al. 2020

Miletzky, F./Wagenführ, A./Zscheile, M.: „Holzbasierte Bioökonomie“. In: Thrän/Moesenfechtel (Hrsg.): *Das System Bioökonomie*, Heidelberg: Springer Spektrum 2020, S. 52–66.

Niemz et al., i. E. 2023

Niemz, P./Teischinger, A./Sandberg, D. (Hrsg.): *Springer Handbook of Wood Science and Technology*, Springer International Publishing (in Produktion).

Nitzsche et al. 2021

Nitzsche, R./Gröngroft, A./Köchermann, J./Meisel, K./Etzold, H./Verges, M./Leschinsky, M./Bachmann, J./Saake, B./Torkler, S./Patzsch, K./Rößiger, B./Pufky-Heinrich, D./Unkelbach, G.: „Platform and Fine Chemicals from Woody Biomass: Demonstration and Assessment of a Novel Biorefinery“. In: *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11: 6, 2021, S. 2369–2385.

Norton et al. 2019

Norton, M./Baldi, A./Buda, V./Carli, B./Cudlin, P./Jones, M. B./Korhola, A./Michalski, R./Novo, F./Oszlányi, J./Santos, F. D./Schink, B./Shepherd, J./Vet, L./Walloe, L./Wijkman, A.: „Serious Mismatches Continue between Science and Policy in Forest Bioenergy“. In: *GBC Bioenergy*, 11:11, 2019, S. 1256–1263.

nova-Institut 2022

nova-Institut gmbH: *International Conference on Cellulose Fibres 2022. Award*, 2022. URL: <https://cellulose-fibres.eu/award-application/> [Stand: 09.05.2022].

Nyrud/Bringslimark 2010

Nyrud, A. Q./Bringslimark, T.: „Is Interior Wood Use Psychologically Beneficial? A Review of Psychological Responses Toward Wood“. In: *Wood and Fiber Science*, 42: 2, 2010, S. 202–218.

Oebbke 2019

Oebbke, A.: *Bauaufsichtliche Zulassung für Accoya-Schnittholz in allen Dimensionen*, 2019. URL: <https://www.baulinks.de/webplugin/2019/0190.php4> [Stand: 02.03.2022].

Ori Design Studio 2022

Ori Design Studio: *Live Large in a Small Footprint. Space-Saving, Transformable Furniture and Architecture*, 2022. URL: <https://www.oriliving.com/> [Stand: 09.05.2022].

Osburg et al. 2016

Osburg, V.-S./Appelhanz, S./Toporowski, W./Schumann, M.: „An Empirical Investigation of Wood Product Information Valued by Young Consumers“. In: *Journal of Cleaner Production*, 110, 2016, S. 170–179.

Paczkowski et al. 2021

Paczkowski, S./Datta, P./Irion, H./Paczkowska, M./Habert, T./Pelz, S./Jaeger, D.: „Evaluation of Early Bark Beetle Infestation Localization by Drone-Based Monoterpene Detection“. In: *Forests*, 12: 2, 2021, S. 228.

Pannicke et al. 2015

Pannicke, N./Hagemann, N./Purkus, A./Gawel, E.: *Gesellschaftliche Grundfragen der Bioökonomie: Volkswirtschaftliche Mehrwerte und Nachhaltigkeits Herausforderungen einer biobasierten Wirtschaft* (UFZ Discussion Paper 7), Leipzig 2015.

Penquitt 2021

Penquitt, M.: *Möbel mieten statt kaufen: Nur ein Trend oder Zukunftsmodell?*, 2021. URL: <https://wohnglueck.de/artikel/moebel-mieten-statt-kaufen-53867> [Stand: 09.05.2022].

Platt et al. 2021

Platt, R./Bauen, A./Reuerman, P./Geier, C./van Ree, R./Vural Gursel, I./Garcia, L./Behrens, M./Bothmer, P. von/Howes, J./Pan-chaksharam, Y./Vikla, K./Sartorius, V./Annevelink, E.: *EU Biorefinery Outlook to 2030. Studies on Support to Research and Innovation Policy in the Area of Bio-based Products and Services* (Independent expert report), Luxembourg 2021.

Prognos AG et al. 2021

Prognos AG/Öko-Institut e. V./Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie gGmbH: *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende*, 2021.

proHolzBW 2021

proHolzBW GmbH: „Holzbau Kompetenz Sachsen. Verein fördert Einsatz Holz im Bauwesen, Klima- und Umweltschutz, Wertschöpfung sowie Qualifizierung und Fortbildung von Akteuren

des Bauwesens im Bereich Holzbau in Sachsen“ (Pressemitteilung vom 20.05.2021). URL: <https://proholzbw.de/2021/holzbau-kompetenz-sachsen/> [Stand: 04.05.2022].

Purkus et al. 2020

Purkus, A./Lüdtke, J./Jochem, D./Rüter, S.: *Entwicklung der Rahmenbedingungen für das Bauen mit Holz in Deutschland: Eine Innovationssystemanalyse im Kontext der Evaluation der Charta für Holz 2.0* (Thünen Report 78), Braunschweig 2020.

RAL/UBA 2022

RAL gGmbH/Umweltbundesamt: *Secondhand verliebt – Schulstart mit dem Blauen Engel. 100% Recyclingpapier für unsere Umwelt*, 2022. URL: <https://www.blauer-engel.de/de/aktionen/schulstart-mit-dem-blauen-engel> [Stand: 01.04.2022].

Riedel et al. 2019

Riedel, T./Stümer, W./Hennig, P./Dunger, K./Bolte, A.: „Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsene“. In: *AFZ-DerWald*, 14, 2019, S. 14–18.

Risse et al. 2019

Risse, M./Weber-Blaschke, G./Richter, K.: „Eco-Efficiency Analysis of Recycling Recovered Solid Wood from Construction into Laminated Timber Products“. In: *The Science of the Total Environment*, 661, 2019, S. 107–119.

Schoonover et al. 2021

Schoonover, H. A./Mont, O./Lehner, M.: „Exploring Barriers to Implementing Product-Service Systems for Home Furnishings“. In: *Journal of Cleaner Production*, 295, 2021, S. 126286.

Schrinner et al. 2022

Schrinner, T./Gailat, T./Großmann, H./Ungerer, M./Gotic, M.: „Rohstoffkosten senken, Produkteigenschaften verbessern. Die vielfältigen Möglichkeiten der Trockenzerfaserung durch eine mobile Anlage im eigenen Produktionsbetrieb testen“. In: *Wochenblatt der Papierfabrikation*, 2020: 10, 31.10.2022, S. 508–511.

Schulz/Weber-Blaschke 2022

Schulz, C./Weber-Blaschke, G.: *Kontrovers diskutiert: Der Klimaschutzbeitrag der Forst- und Holzwirtschaft* (LWF aktuell), 2022.

Schulze/Beck 2020

Schulze, J./Beck, A.-K.: „Bioökonomie in Mitteldeutschland“. In: Thrän/Moesenfechtel (Hrsg.): *Das System Bioökonomie*, Heidelberg: Springer Spektrum 2020, S. 211–219.

**Schweinle et al. 2018**

Schweinle, J./Köthke, M./Englert, H./Dieter, M.: „Simulation of Forest-Based Carbon Balances for Germany: a Contribution to the ‚Carbon Debt‘ Debate“. In: *WIREs Energy Environ*, 7, 2018, S. 1-15.

SEG-MSH 2022

Standortentwicklungsgesellschaft Mansfeld-Südharz mbH: *Aufbau eines InnovationsHubs „Zukunft Holz + Klima“*, 2022. URL: <https://www.seg-msh.de/aktuelles/aufbau-eines-innovations-hubs-zukunft-holz-klima/> [Stand: 25.08.2022].

Seintsch 2007

Seintsch, B.: *Die Darstellung der volkswirtschaftlichen Bedeutung des Clusters Forst und Holz. Ergebnisse und Tabellen für 2005*, Hamburg 2007.

Seintsch 2013

Seintsch, B.: *Cluster Forst und Holz nach neuer Wirtschaftszweigklassifikation. Tabellen für das Bundesgebiet und die Länder 2000 bis 2011*, Braunschweig 2013.

Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung 2020

Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung: *Offener Brief an die Kanzlerin*, 2020. URL: <https://www.senckenberg.de/de/presse/stellungnahmen/offener-brief-an-die-kanzlerin/> [Stand: 04.05.2022].

Skytt et al. 2021

Skytt, T./Englund, G./Jonsson, B.-G.: „Climate Mitigation Forestry – Temporal Trade-Offs“. In: *Environmental Research Letters*, 16: 11, 2021, S. 114037.

SPD, Bündnis90/Die Grünen, FDP 2021

Bundesregierung: *Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit (Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90/Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP))*, Berlin 2021.

Steger et al. 2019

Steger, S./Ritthoff, M./Bulach, W./Schüler, D./Kosinska, I./De-greif, S./Dehoust, G./Bergmann, T./Krause, P./Oetjen-Dehne, R.: *Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität*, Dessau-Roßlau 2019.

Stern/Schwarzbauer 2013

Stern, T./Schwarzbauer, P.: „Wood Products Certification, Consumer Behavior and its Climate Policy Potential“. In: Geldermann, J./Schumann, M. (Hrsg.): *First International Conference on Resource Efficiency in Interorganizational Networks – ResEff 2013*, Göttingen: Universitätsverlag Göttingen 2013, S. 440–453.

StMWi 2020

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie: *Zukunft. Bioökonomie. Bayern. Transformation nachhaltig und innovativ gestalten*, München 2020.

Strohmeyer 2019

Strohmeyer, A.: *Die Altholzverordnung vor ihrer Novellierung. Anpassungsbedürftigkeit angesichts neuer Rahmenbedingungen (AbfallR 1)*, 2019.

Sunliquid d-Projekt 2021

Sunliquid-Projekt: *Aiwanger: Kraftstoffe aus Stroh und Holz wirken dem Klimawandel entgegen*, 2021. URL: <https://www.sunliquid-project-fp7.eu/de/news/aiwanger-clariant/> [Stand: 09.05.2022].

SWMA 2013

Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr: *Innovationsstrategie des Freistaates Sachsen*, Dresden 2013.

Teischinger 2014

Teischinger, A.: „Die Technologie des Holzes. Herausforderungen, Möglichkeiten und Grenzen bei der Nutzung des wichtigsten nachwachsenden Rohstoffes“. In: Rosenberger, M./Weigl, N. (Hrsg.): *Über Nutzen und Würde von Wald und Holz. Überlegungen zur Verantwortung im Umgang mit einer zentralen Lebensgrundlage*, München: oekom 2014, S. 59–67.

Teischinger 2016

Teischinger, A.: „Bioökonomie in Österreich“. In: Wagenführ, A. (Hrsg.): *Tagungsband des 17. Holztechnologischen Kolloquiums* (Schriftenreihe Holz- und Papiertechnik 15), Dresden: Selbstverlag TU Dresden, Institut für Holz- und Papiertechnik, 2016, S. 11–17.

Teitelbaum et al. 2020

Teitelbaum, L./Boldt, C./Patermann, C.: *Global Bioeconomy Policy Report (IV): A Decade of Bioeconomy Policy Development around the World. A Report from the International Advisory Council on Global Bioeconomy*, Berlin 2020.

Thrän/Moesenfechtel 2020

Thrän, D./Moesenfechtel, U. (Hrsg.): *Das System Bioökonomie*, Heidelberg: Springer Spektrum 2020.

Thünen-Institut 2020

Johann Heinrich von Thünen-Institut: *Holzeinschlag und Rohholzverwendung*, 2020. URL: <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/projekte-liste/einschlagruueckrechnung> [Stand: 02.05.2022].

Thünen-Institut 2022

Johann Heinrich von Thünen-Institut: *Clusterstatistik*, 2022. URL: <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/clusterstatistik-forst-holz> [Stand: 25.08.2022].

UBA 2022

Umweltbundesamt: *Urban Mining*, 2022. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining#was-ist-urban-mining> [Stand: 30.06.2022].

UM/MLR 2019

Ministerien für ländlichen Raum und Verbraucherschutz/Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg/Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg: *Landesstrategie Nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg*, Stuttgart 2019.

UN 2015

United Nations: *Take Action for the Sustainable Development Goals*, 2015. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> [Stand: 02.05.2022].

UNFCCC 2022

United Nations Framework Convention on Climate Change: *Glossary of Climate Change Acronyms and Terms | UNFCCC*, 2022. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/glossary-of-climate-change-acronyms-and-terms#l> [Stand: 30.06.2022].

Universität Stuttgart 2019

Universität Stuttgart: *Urbach Turm. Ein einzigartiger Turm aus selbstformend hergestelltem Holz Remstal Gartenschau 2019, Urbach*, 2019. URL: <https://www.icd.uni-stuttgart.de/de/projekte/remstal-gartenschau-2019-urbach-turm/> [Stand: 03.03.2022].

UPM GmbH 2020

UPM GmbH: *UPM Leuna Infografik*, 2020. URL: <https://www.upmbiochemicals.com/siteassets/documents/upm-leuna-info-grafik.png> [Stand: 19.05.2022].

VNPWaldR 2021

Gemeinsame Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz und des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: *Richtlinie über Zuwendungen nach dem Bayerischen Vertragsnaturschutzprogramm Wald – VNPWaldR 2021*, vom 14.01.2021, BayMBI. Nr. 88, zuletzt geändert am 17.01.2022, BayMBI. Nr. 94.

Wagenführ/Wagenführ 2022

Wagenführ, R./Wagenführ, A.: *Holzatlas*, München: Carl Hanser 2022.

WBAE/WBW 2016

Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz/Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten*, Berlin 2016.

WBW 2021

Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik*, Berlin 2021.

Weber-Blaschke 2019

Weber-Blaschke, G.: „Nachhaltige Forst- und Holzwirtschaft als Basis der Bioökonomie“. In: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Ökologie und Bioökonomie: Neue Konzepte zur umweltverträglichen Nutzung natürlicher Ressourcen, Rundgespräch am 26. April 2019* (Rundgespräche Forum Ökologie 48), München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil 2019, S. 31–46.

Wilke 2020

Wilke, J.: „Prinz-Eugen-Park in München: Mustersiedlung aus Holz“. In: *Süddeutsche Zeitung*, 2020, 11.10.2020.

Wood Circus 2021a

Wood Circus: *RFID Smart Wood. Tracing Wood Items with Embedded RFID Tags* (Good Practices in Circular Economy. Factsheet 8), Kleve 2021.

Wood Circus 2021b

Wood Circus: *Fagus Bauholz. Swiss Made High Strength Structural Timber* (Good Practices in Circular Economy. Factsheet 25), 2021.

**Wood Circus 2021c**

Wood Circus: *Raimund Beck KG. LignoLoc® Wooden Nail System* (Good Practices in Circular Economy. Factsheet 18), Mauerkirchen 2021.

Wood 2021

Wood, D.: „Material Programming for Fabrication. Integrative Computational Design for Self-Shaping Curved Wood Building Components in Architecture“, University of Stuttgart 2021.

Zeug et al. 2021

Zeug, W./Kluson, F. R./Mittelstädt, N./Nezama, A./Thrän, D.: *Results from a Stakeholder Survey on Bioeconomy Monitoring and Perceptions on Bioeconomy in Germany* (UFZ Discussion Papers), Leipzig 2021.



Über acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de



Herausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2022

Geschäftsstelle

Karolinenplatz 4

80333 München

T +49 (0)89/52 03 09-0

F +49 (0)89/52 03 09-900

info@acatech.de

www.acatech.de

Hauptstadtbüro

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

T +49 (0)30/2 06 30 96-0

F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro

Rue d'Egmont/Egmontstraat 13

1000 Brüssel (Belgien)

T +32 (0)2/2 13 81-80

F +32 (0)2/2 13 81-89

Geschäftsführendes Gremium des Präsidiums: Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Manfred Rauhmeier

Empfohlene Zitierweise:

acatech (Hrsg.): *Holzbasierte Bioökonomie. Nachhaltig, zirkulär, klimaresilient* (acatech POSITION), München 2022.

DOI: https://doi.org/10.48669/aca_2022-4

ISSN 2194-0576

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2022

Projektkoordination: Dr. Christine Metz-Schmid

Redaktion: Alrun Straudi

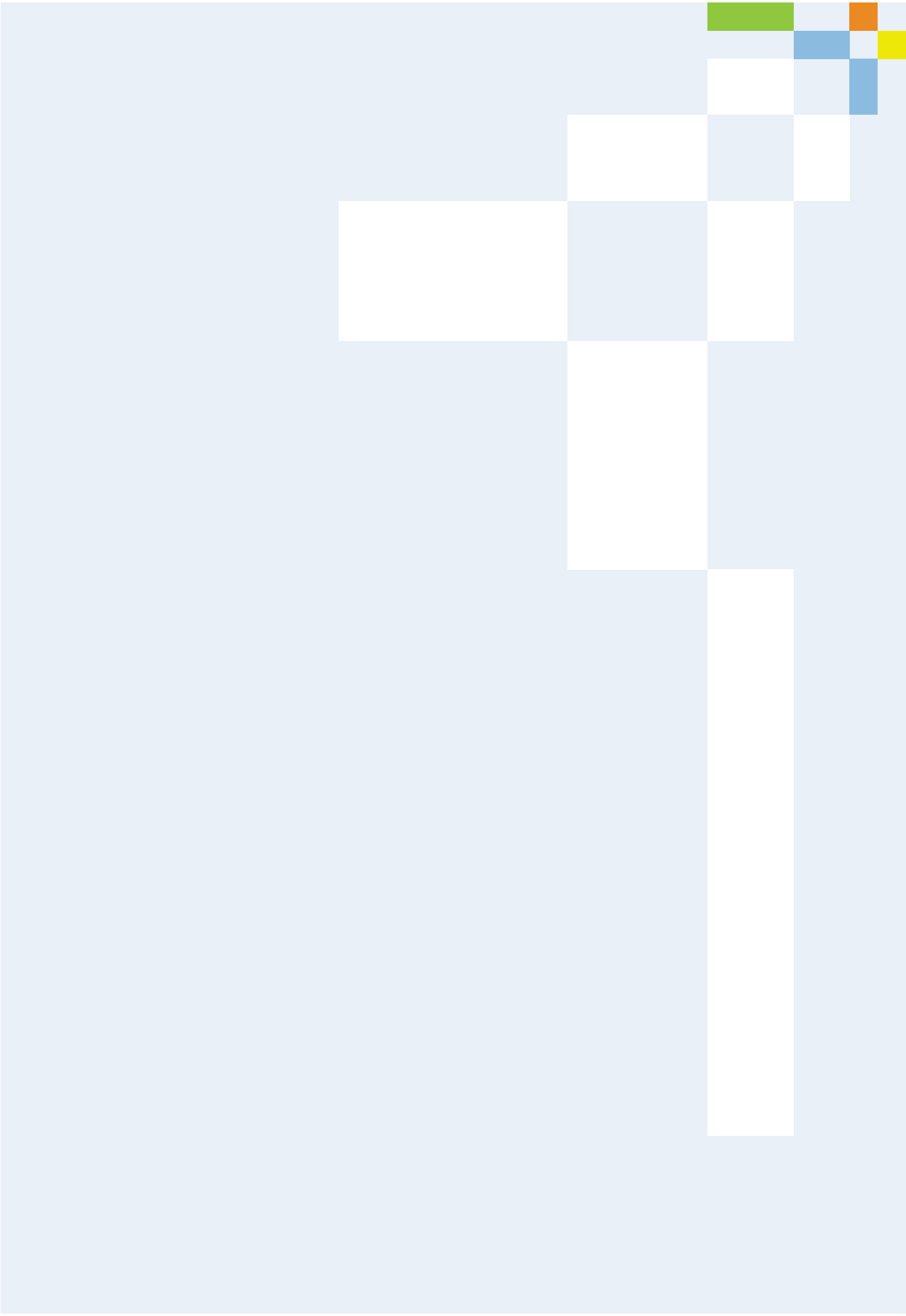
Lektorat: Lektorat Berlin

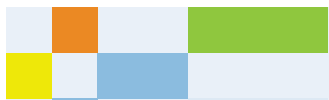
Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg

Titelfoto: [georgeclerk/istockphoto.com](https://www.istockphoto.com)

Konvertierung und Satz: Heilmeyer und Sernau Gestaltung

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.acatech.de





Die holzbasierte Bioökonomie kann einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise leisten. Dies erfordert eine systemische Betrachtung, die ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte berücksichtigt: Der Wald ist Rohstofflieferant, Erholungsraum und erbringt neben dem Klimaschutz weitere Ökosystemleistungen, ist jedoch vom Klimawandel selbst betroffen. Es gilt Ressourcen zu schonen und effizient zu verwenden, Produkte also möglichst lange, mit hoher Wertschöpfung wiederzuverwerten und mehrfach in Kaskaden zu nutzen. Das Ziel: Wirtschaftswachstum vom Rohstoffverbrauch entkoppeln und zu einer „Circular Economy“ beitragen.

Im Fokus der Publikation steht die stoffliche Holzverwendung. Innovative Beispiele aus verschiedenen Wirtschaftszweigen wurden betrachtet, begünstigende Faktoren sowie Hemmnisse identifiziert und Handlungsempfehlungen für Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft abgeleitet. Die Politik sollte den Vorrang der stofflichen Nutzung festschreiben und die energetische Verwendung auf nicht stofflich verwertbare Holzsortimente beschränken. Ausschreibungen sollten an Nachhaltigkeitskriterien ausgerichtet und Unternehmen angeregt werden, bei der Produktentwicklung das Prinzip „Design for Re-Use and Recycling“ mitzudenken. Zudem bedarf es einer breiten Einbindung der Gesellschaft, um Zielkonflikte frühzeitig zu diskutieren.