



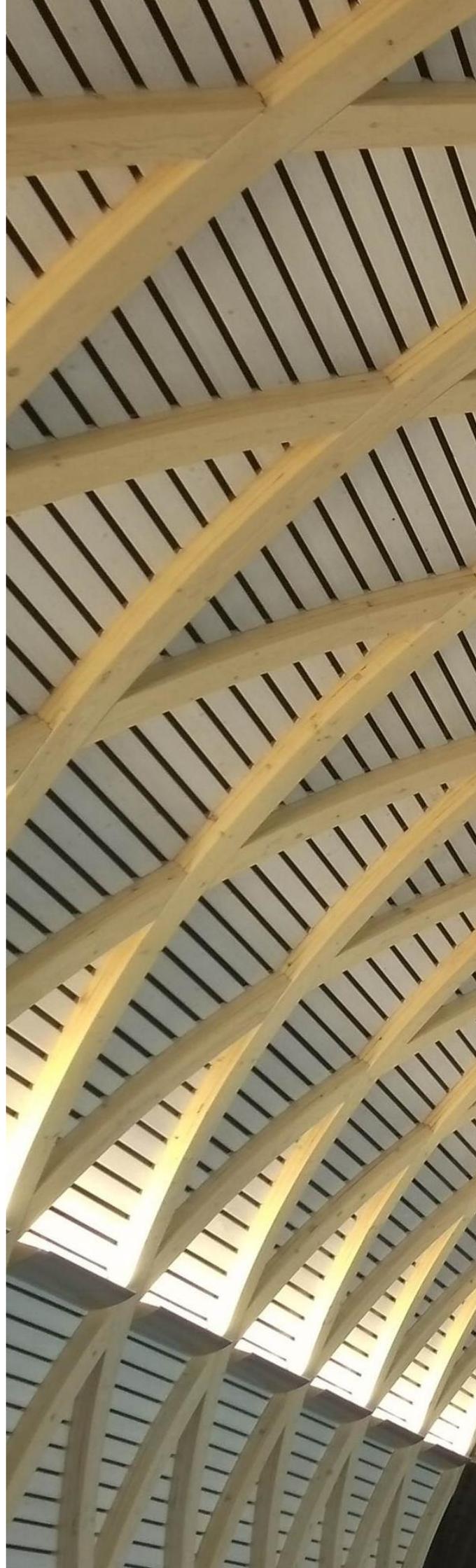
ÖKOBILANZIERUNG

Wirkungsanalyse der DIFENS-Holznutzungsszenarien unter Einbezug der Waldwirtschaft, der Verarbeitung zu Produkten, deren Nutzung, der Substitutionswirkung, sowie deren Wechselwirkungen

Horst Fehrenbach, Viviann Bolte, Susanne Köppen

INHALT

- 3 Motivation
- 4 Holzstoffstrom- und Ökobilanzmodell HoLCA
- 5 Unser Betrachtungsrahmen
- 6 Holzwirtschaft als Gesamtsystem
- 7 Methoden
- 8 Eingangsdaten
- 9 Ergebnisse
- 13 Schlussfolgerungen
- 14 Das Projekt DIFENS





Hintergrund und MOTIVATION

Die Bewertung von Holzprodukten hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen über ihren gesamten Lebensweg ist sehr komplex, da es viele unterschiedliche Einflussfaktoren gibt – angefangen bei der Waldbewirtschaftung bis hin zur Nutzung der Produkte. Außerdem gibt es Wechselwirkungen zwischen Holzverarbeitung, Holznutzung und Waldbewirtschaftung. Die Wald- und Holzwirtschaft ist ein vernetztes System, in dem viele Prozesse miteinander verbunden sind.

Studien zur Umweltbilanz von Holzprodukten konzentrieren sich oft nur auf einzelne Bereiche und vereinfachen andere stark. Eine besondere Herausforderung ist es, die zeitliche Speicherung von Kohlenstoff in Wald und Produkten korrekt zu erfassen. Zudem ist es wichtig, realistisch zu bewerten, welche anderen Materialien Holzprodukte ersetzen können, besonders im Bau, bei Möbeln oder Verpackungen, und welche Auswirkungen das auf Umwelt hat.

Diese Broschüre stellt Methoden und Ergebnisse des Teilvorhabens 3 Ökobilanzierung des DIFENs Projekts vor. In dieses gehen Ergebnisse aus Teilvorhaben 2: Stoffstromanalyse und Nachfrageszenarien sowie Teilvorhaben 1: Szenarien der Waldentwicklung unter veränderten Klimabedingungen ein. Folgende Fragen stehen im Vordergrund dieser Untersuchung:

- Welche Treibhausgasemissionen (und andere Umweltwirkungen) sind mit dem Gesamtsystem der Holzwirtschaft verbunden?
- Welche Abschnitte der Wertschöpfungsketten und welche Produkte/Produktgruppen tragen zu diesen Emissionen bei?
- Welche Substitutionseffekte sind im Vergleich mit nicht-biogenen Produkten zu erwarten? Welche THG-Emissionseinsparungen lassen sich dafür ermitteln?
- Wie verhalten sich Kohlenstoff-Flüsse aus dem Wald in die Holzprodukte?
- Wie entwickeln sich diese Bilanzen von 2020 bis 2050?

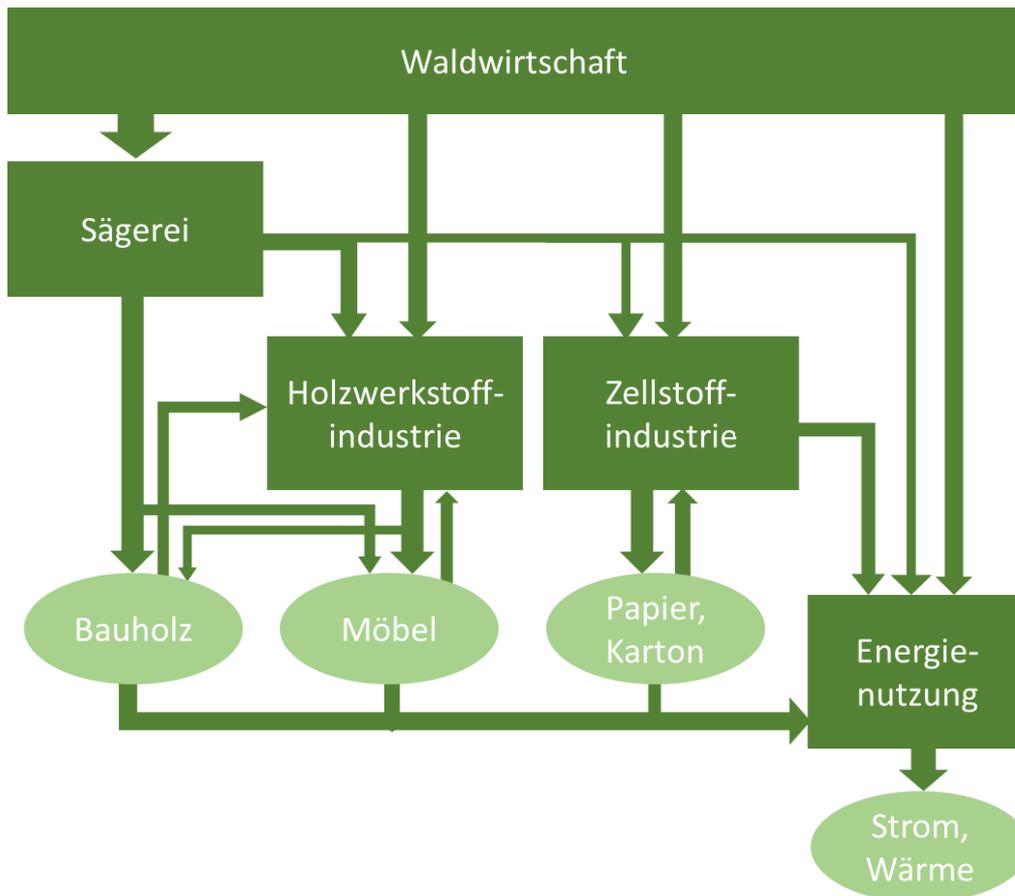


Abb. 1: Stark vereinfachtes Schema der Hauptkomponenten und Stoffstromflüsse im Holzstoffstrom- und Ökobilanzmodell HoLCA 2.0

Holzstoffstrom- und Ökobilanzmodell HoLCA

Das Modell ist strukturiert nach den **Hauptmodulen** Waldwirtschaft, Sägeindustrie, Bauholz- und Möbelproduktion, Holzwerkstoffindustrie, Papier- und Zellstoffindustrie, Nutzung der Produkte und Entsorgung, sowie Nutzung als Brennstoffe (u.a. als Scheitholz, Pellets, Altholz). Aufwendungen und Emissionen aus den einzelnen Prozessen werden dabei ebenso abgebildet wie **Speichereffekte** für Kohlenstoff in Wald und Produkten. Das Modell schließt außerdem **Substitutionseffekte** durch Produkte ein, die hergestellt werden müssten, gäbe es die holzbasierten Produkte nicht.

Die Detailtiefe in HoLCA liegt auf Ebene der **Halbwaren** (z.B. Schnittholz, Zellstoff) oder der Bauteile (z.B. Spanplatten). Im Rahmen dieses Vorhabens werden die Stoffströme auf die Holznutzungsszenarien aus AP1 angepasst.

Die Ökobilanz betrachtet neben der Wirkungskategorie Klimaschutz auch Wirkungen wie Versauerung, Eutrophierung, Ressourcenverbrauch und Flächenbelegung.

Unser BETRACHTUNGSRAHMEN

- Die Bilanzierungen folgen den Szenarien der Waldentwicklung (AP2) und der Holzmarkts (AP1).
- Die Bilanzierung erfolgt in drei Teil-Bilanzräumen (Blöcken):
- **A.** System der Holzwirtschaft als Stoffstrommodell, inklusive der Waldwirtschaft sowie aller weiteren Holzverarbeitenden bzw. nutzenden Prozessen, sowie der Altholzverwertung.
- **B.** die Produktionssysteme der substituierten funktionsgleichen Produkte auf der Halbwarenebene.
- **C.** Kohlenstoff-Fluss: Freisetzung von CO₂ bei der Holzentnahme vs. temporäre Speicherung in stofflichen Produkten.
- Fallweise Überprüfung, wie stark eine Bilanz anhand von Endwaren von der auf Halbwaren abweicht.
- Zeitlicher Bilanzraum 2020 bis 2050. Erstellt werden Jahresbilanzen mit zeitlicher verzögerten Kaskadeneffekten durch stoffliche Produkte, die nach Nutzungsende recycelt oder energetisch genutzt werden. Die Darstellung erfolgt in 10-Jahrescheiben.

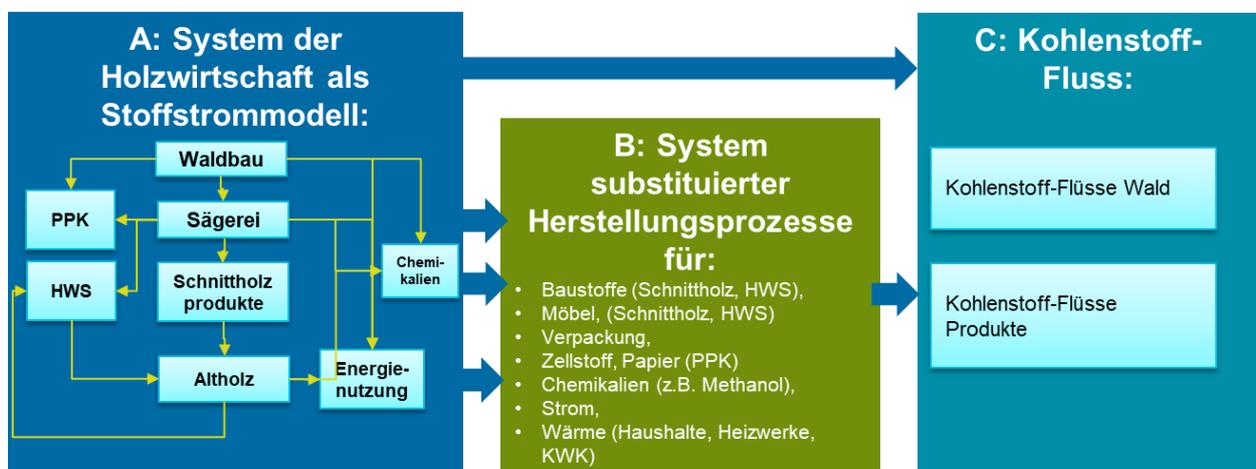


Abb. 2: Die drei Teilsysteme (Blöcke) der Ökobilanzierung des Holzstoffstroms.



Holzwirtschaft als Gesamtsystem

Das Stoffstrom- und Ökobilanz-Modell HoLCA wurde 2015 entwickelt und im Rahmen von DIFENs aktualisiert und weiter differenziert. Darin werden ausgehend vom Waldbau die verschiedenen Verarbeitungs- und Lieferketten zu den jeweiligen Produkten, bzw. Produktgruppen abgebildet.

Die zentralen Module sind:

Waldbau: Die Bewirtschaftungsweise ist wählbar, woraus Erntemengen, Flächenbedarf und Energieeinsatz ergeben. In der Ernte wird unterschieden nach Stamm- und Industrieholz (sonst. Derbholz), jeweils Laub- und Nadelholz, sowie Waldrestholz (Nicht-derbholz) und Rinde.

Sägewerk: Stammholz wird in diesem Modul zu Schnittholz umgewandelt unter entsprechendem Energieeinsatz und in Verbindung mit der Erzeugung von Sägenebenprodukten.

Herstellung **Schnittholzprodukte:** Die Großgruppen sind hier Bauholz, Vollholzmöbel und Verpackungsholz. Die Modellierung reicht bis zur Halbwarenebene (z.B. Balken, Leimbinder, Latten, Bretter) **nicht** bis zum Endprodukt (z.B. Fenster mit Glas, Beschlägen, Dichtungen, Lacke).

Herstellung **Holzwerkstoffe:** Die Großgruppen sind hier Pressspanplatten, MDF-, OSB, und LDF-Platten. Der Rohstoffstoff besteht aus Industrieholz und Sägenebenprodukten sowie anteilig auch Altholz. Energieaufwand und Materialien (z.B. Harze) werden einbezogen.

Papier- und Zellstoffindustrie: Datengrundlage sind verschiedene durch ifeu erstellte Ökobilanzarbeiten. Rohstoffbasis ist Industrieholz und Sägenebenprodukte. Die üblichen Recyclingraten sind berücksichtigt.

Chemikalienproduktion: Dieser innovative Zweig liegt bislang nur mit einem sehr geringen Massenstrom vor. Produkte sind als Basischemikalien sowie Kraftstoffe.

Erfassung **Altholz:** Nach Nutzung gehen die Holzprodukte in den Altholz-Pool über, differenziert nach den Altholzklassen und in den Anteil an Holz in Restabfällen.

Energetische Nutzung: Sie umfasst den Einsatz von Frischholz, als Scheitholz, Hackschnittel oder Pellets in Haushalten, und Biomasse-Heizkraftwerken (HKW) und den Einsatz von Altholz in Biomasse-HKW. Holz in Restabfällen wird über Abfallverbrennungsanlagen unter Energienutzung entsorgt.

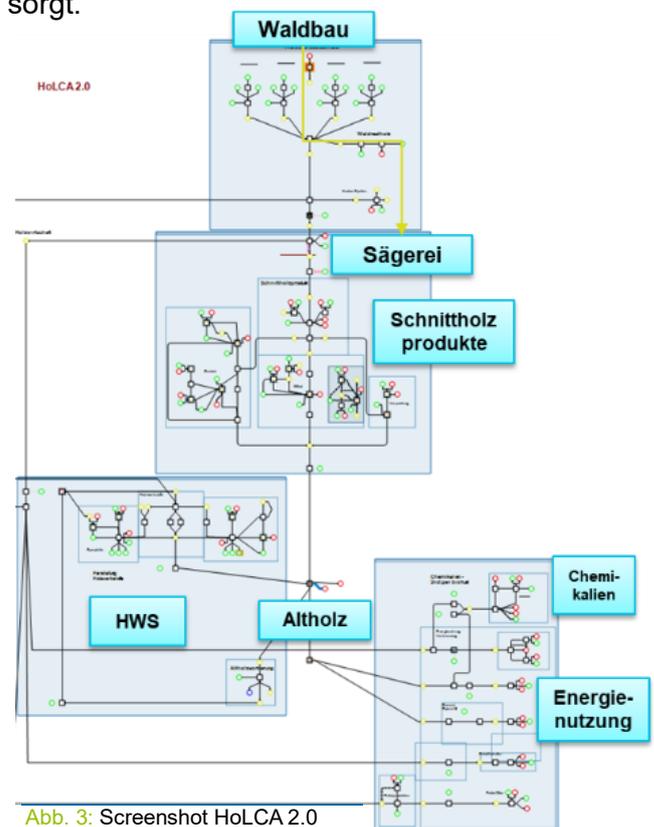


Abb. 3: Screenshot HoLCA 2.0 (Ausschnitt).

METHODEN

Räumliche Systemgrenze

Ausgangspunkt ist die im Wald in Deutschland geerntete Holzmenge. Die Systemgrenze umfasst alle auf dieser Basis erzeugten Produkte, wie im vorausgehenden Abschnitt beschrieben. Importe von Rohholz oder aus Holz erzeugten Waren werden nicht berücksichtigt.

Produkte aus der inländisch geernteten Holzmenge, die exportiert werden, sind dagegen im Systemraum enthalten. Dieser ist somit von der Rohstoffseite her definiert. Die bilanzierte Produktmenge unterscheidet sich somit von der in Deutschland konsumierten Produktmenge.

Zeitliche Systemgrenze

Grundsätzlich gilt der in der Ökobilanz vorgegebene Lebenswegrahmen gefolgt, d.h. Produkte werden bis an ihr Lebenswegende betrachtet. Ausgangspunkt ist zunächst die innerhalb eines Jahres geerntete Holzmenge und für das „Erntejahr“ werden auch die Bilanzrechnungen im Einzelnen erstellt. Als Stützjahre dienen 2020, 2030, 2040 und 2050.

Das Lebenswegende von Produkten, die im Bilanzjahr erzeugt werden und in den Markt kommen, werden erst im Jahr des Lebenswegendes berücksichtigt. Somit ergeben sich hier Abweichungen zu jahresbezogenen Verwendungs- bzw. Konsumbilanzen, in welchen z.B. Altholzaufkommen aus Produktionen längst vergangener Jahre einfließen, nicht jedoch der Verbleib des Altholzes aus Produkten, die im Bilanzjahr erzeugt werden und in den Markt kommen. Auch hier fallen Nebenprodukte an.

Halbwaren versus Endwaren

Der Bilanzraum reicht, wie erwähnt, bis zur Halbwarenebene. Das heißt, ein Fenster mit Holzrahmen wird nicht bis zur Endfertigung inklusive Glasscheiben, Metallbeschläge und Gummiprofile bilanziert, sondern nur der Holzrahmen selbst. Der Grund: die vorliegende Untersuchung ist keine Produkt-Ökobilanz.

Nicht die Produkte im Einzelnen sind der Untersuchungsgegenstand, sondern das gesamte holzbasierte Stoffstromsystem. Prozesse, die in der Fertigung von Endprodukten erhebliche Aufwendungen und zusätzliche Materialien erfordern, sind daher ausgegrenzt. Wäre das nicht der Fall, würde die Untersuchung eine hochdifferenzierte Produkt-Ökobilanz für jedes einzelne Produkt auf Holzbasis bedeuten – was weit außerhalb des Rahmens dieses Vorhabens liegt.

Da jedoch ein weiterer Block die Umweltlasten der Produktionssysteme von substituierten funktionsgleichen Produkten bilanziert, ist die Frage, ob und wie dabei Funktionsgleichheit auf der Halbwarenebene definiert wird, von Relevanz. Hierdurch resultiert eine Unschärfe, die jedoch angesichts der Größe des Bilanzraums als akzeptabel erachtet wird: es geht hier darum, die Größenordnungen der Effekte durch die Komponenten des Gesamtsystems zu identifizieren und nicht exakte produktbezogene Aussagen zu treffen. Um die Unschärfe und damit auch den „Fehler“ der Bilanzierung einschätzen zu können, werden beispielhafte Produkte ergänzend bis zur Endware bilanziert und überprüft, inwieweit die „Abkürzung“ bis zur Halbware im Ergebnis abweicht.

Eingangsdaten

Mengenstrom

Eingangsdaten der Holzverwendungsmodellierung

Im Teilvorhaben 1 wurde anhand des Modells TRAW die Mengenentwicklung der zukünftigen Holzverwendung abgeleitet. Basis dazu bildet ein Szenario ausgehend vom Bedarf der verschiedenen Fertigwarenssektoren, wie z.B. dem Baugewerbe. Diese Mengenströme werden in HoLCA2.0 für die ökobilanzielle Bewertung nachgebildet. Ausgehend von den üblichen volumetrischen Angaben (in m^3 Rohholzäquivalente bzw. m^3_{SWE}) werden für HoLCA Massenangaben (Mio. t) benötigt sowie auch Energieeinheiten (Petajoule, PJ) für die energetische Nutzung.

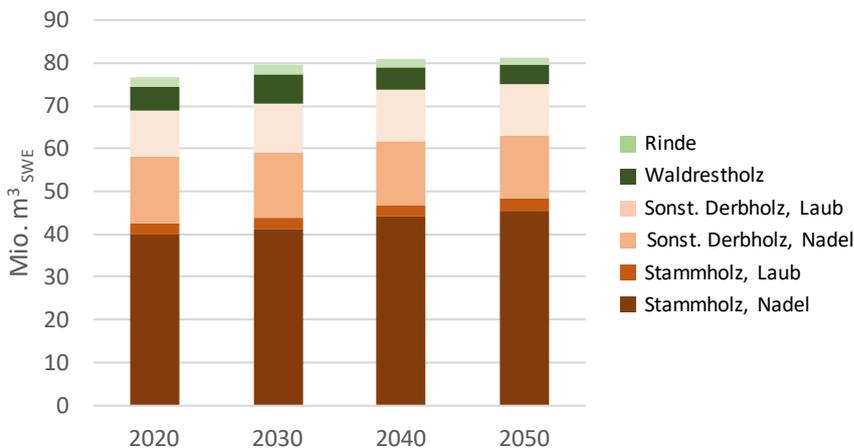


Abb. 4: Entnahme von Holz aus dem Wald nach verschiedenen Kategorien gemäß dem Holzverwendungsszenario.

Abb. 4 zeigt die Anteile der aus dem Wald entnommenen Holzkategorien und deren mengenmäßige Entwicklung. Erkennbar ist ein leichter Anstieg von 77 Mio. m^3_{SWE} im Jahr 2020 auf 82 Mio. m^3_{SWE} in 2050. Die Erhöhung beruht auf mehr Stammholzentnahme bei leichtem Rückgang von sonstigem Derbholz (Industrieholz, meist aus Durchforstungen).

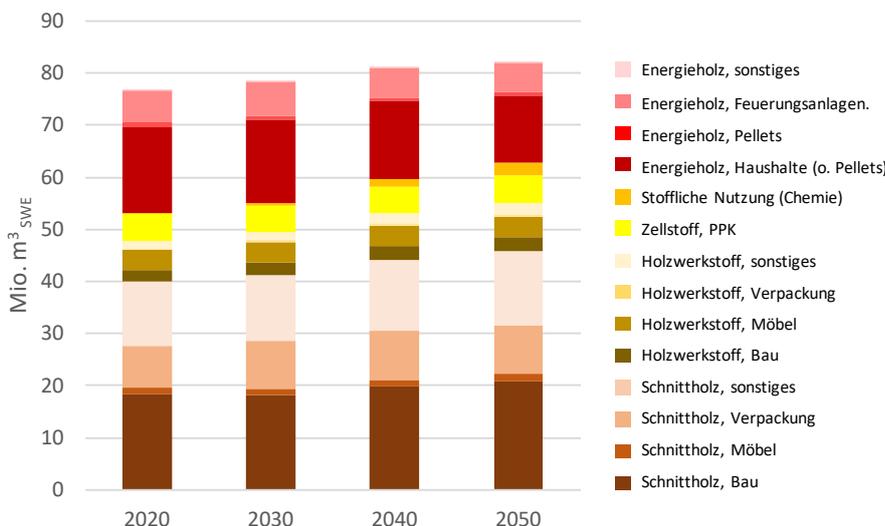


Abb. 5: Erzeugung von Halbwarengruppen gemäß dem Holzverwendungsszenario.

In Abb. 5 finden sich die Rohholzkategorien umgerechnet in die den Verwendungen zugeordneten Halbwarenssektoren. Große Anteile finden sich dort in Schnittholz für dem Bausektor (mit leichtem Anstieg) wieder. Während Sektoren wie Möbel und Zellstoff und Papier weitgehend konstant bleiben, nimmt der Energieholzbereich, v.a. in den in Haushalten eingesetzten Mengen ab. Als neue Nutzung kommt in begrenztem Maß die stoffliche Nutzung in der Chemie hinzu.

ERGEBNISSE

Klimawandel

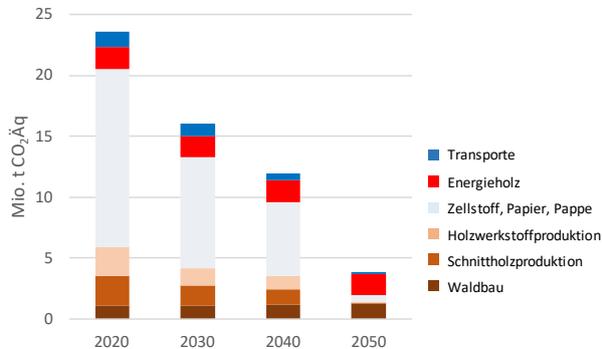


Abb. 6: Treibhausgasemissionen der Holzwirtschaft.

Feinstaubemission

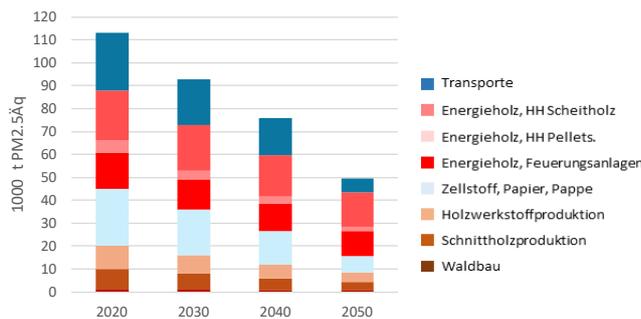


Abb. 7: Feinstaubemissionen der Holzwirtschaft.

Versauerung

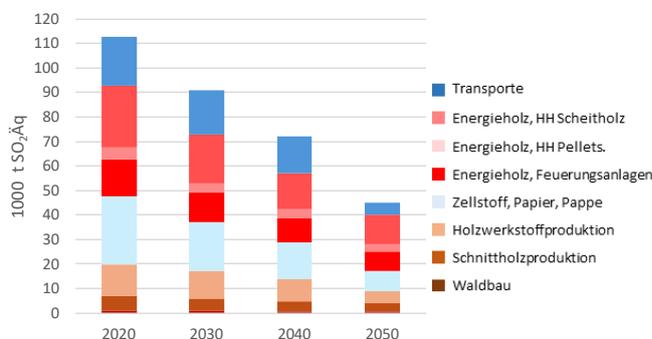


Abb. 8: Beitrag zur Versauerung durch die Holzwirtschaft.

Block A: System der Holzwirtschaft

Im Jahr 2020 belaufen sich die Treibhausgasemissionen der Holzwirtschaft auf 23 Mio. t CO₂-Äq. Damit nimmt der Zellstoff- und Papiersektor allein 70 % ein. Deutlich geringer ist der Beitrag von Schnittholz- und Holzwerkstoffen. Bei der Energienutzung sind hier nur die Emissionen an Methan und Lach (N₂O) angerechnet. Aufgrund der Energiewende gehen in allen Bereichen die Emissionen zurück und liegen im Jahr 2050 noch bei 10 % gegenüber 2020.

In den Feinstaubemissionen sind nicht nur primäre Feinstaubpartikel, sondern auch sogenannte Sekundärpartikel aus verschiedenen Luftverunreinigungen berücksichtigt. Insgesamt beläuft sich die Emission auf 110 t PM_{2,5}-Äq. Hauptquelle sind hier die Energieprozesse. Da auch die Papierindustrie sehr energieintensiv ist, liegen auch dort wiederum große Emissionsbeiträge. Die Emissionsminderung über die Zeit ist hier deutlich geringer als bei den Treibhausgasemissionen. Verbesserungen bei der Abgasreinigung werden berücksichtigt, doch sind die Minderungseffekte begrenzt.

Bezüglich der Versauerung werden saure Abgase wie Stickstoffoxide (NO_x) und Schwefeldioxid (SO₂) betrachtet. Sie zeigen ein ähnliches Bild wie die Feinstaubemission. Die Emission im Jahr 2020 liegt ebenfalls um die 110 t SO₂-Äq. und auch hier ist die Papierindustrie besonders relevant. Die Verhältnisse liegen hier ähnlich. Neben verbesserter Abgasreinigung kommt hier auch der Wechsel von Verbrennungstechniken zu alternativen Quellen (auch beim Transport) eine Rolle.

Block B: Substituierte Prozesse

In diesem Block wird bilanziert, welche Effekte auftreten würden, würde man auf die Produktion von Holzprodukten verzichten und stattdessen auf alternative Produkte zurückgreifen müssen. **Substitution** stellt dabei ein Gedankenmodell dar, da sie unterstellt: was wäre, wenn? Somit sind hier Annahmen erforderlich, da es keinesfalls eindeutig ist, welche Materialien für den Einsatz zum gleichen Produktzweck eingesetzt werden.

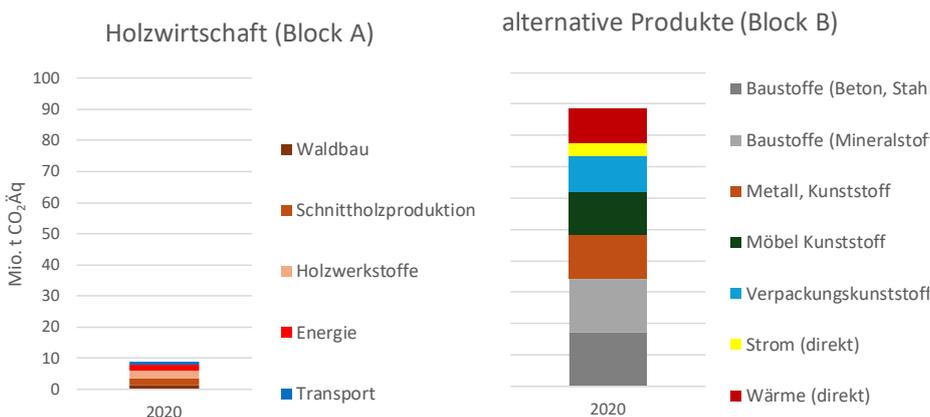


Abb. 9: Gegenüberstellung der Emissionen der Holzwirtschaft mit denen, die unter Annahme der Herstellung alternativer Produkte entstehen würden (ohne Papier und Zellstoff).

Die Darstellung in Abb. 9 geht von folgendem Gedankenmodell aus: Müsste man alle im Jahr 2020 erzeugten Holzprodukte durch alternative Materialien herstellen, wie hoch würde dann die THG-Emission ausfallen – im Vergleich zur Holzwirtschaft? In dieser Betrachtung ist der Sektor der Papierindustrie ausgenommen, da für diesen ein Substitutionsmodell zu komplex wäre. Die alternativen Produkte wären mit einer Emission von 88 Mio. t CO₂Äq. verbunden – mehr als das Zehnfache der Emission der Holzwirtschaft.

Für die Substitutionsbilanz in dieser Untersuchung werden lediglich die Veränderung über die Jahre berücksichtigt: So ersetzt z.B. das gegenüber 2020 in den Folgejahren zusätzlich im Baubereich verwendete Holz die bisher alternativ eingesetzten Materialien (Beton, Stahl). Es erhält dadurch eine **Gutschrift**. Umgekehrt, muss die Verringerung an Energieholz ebenfalls durch Alternativen abgedeckt werden – was die Berechnung einer **Lastschrift** bedeutet.

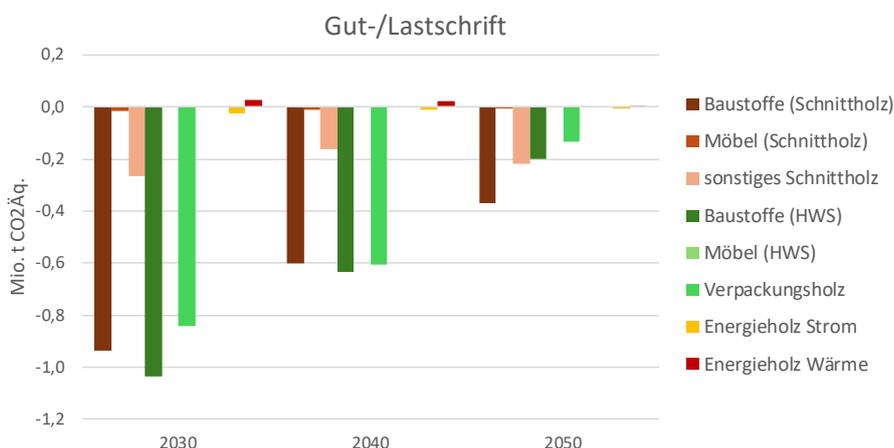


Abb. 10: Gut- und Lastschriften für die zusätzlichen oder wegfallenden Nutzungen von Holz in den betrachteten Halbwarensektoren.

Abb.10 zeigt diese Gut- und Lastschriften für die einzelnen Halbwarensektoren. Die Baustoffe aus Schnittholz (Balken, Latten, Bretter) sowie auch Verpackungsholz weisen dabei die größten Substitutionseffekte auf.

Die Einsparung geht jedoch trotz Zunahme an eingesetztem Holz über die Jahre zurück, da die Herstellung der ersetzten Materialien (Beton, Stahl) mit der Dekarbonisierung der Produktionsprozesse weniger Emissionen verursachen. Dies gilt auch für Lastschriften durch entgangene Energieholznutzung.

Block C: Kohlenstoffspeicher – Holzprodukte (HWP)

In den THG-Inventaren der Nationalen Berichterstattung unter der UN-Klimarahmenkonvention (UN-FCCC) hat der Sektor *Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft* (kurz: LULUCF) eine wachsende Bedeutung. In diesem Sektor wird auch die (zeitweilige) Speicherung von Kohlenstoff in Produkten berücksichtigt – in Form einer Gutschrift und als „Ausgleich“ der vorausgehenden Anrechnung der Holzentnahme aus dem Wald als CO₂-Emission. In Ökobilanzen ist es jedoch unüblich, diese Speichereffekte zu berücksichtigen, da sie nur temporärer Natur sind. Bei der hier vorliegenden Untersuchung handelt es sich jedoch, wie erwähnt, nicht um eine Produktökobilanz. Vielmehr erfolgt die Systembilanzierung hier ähnlich wie in der Nationalen THG-Berichterstattung anhand von Jahresmengenströmen.

Für die vorliegende Untersuchung bieten sich verschiedene Ansätze zur Anrechnung dieses Produktspeichers an. Eine Möglichkeit wäre es, methodisch streng den methodischen Vorgaben nach den IPCC-Leitlinien vorzugehen. Dabei wird eine Zerfallsrechnung für Holzprodukte durchgeführt. Alternativ bietet sich an, das jährliche Verhältnis von jährlichem Input an Holzprodukten in den Markt und den Output an Altholz anhand der im Rahmen dieses Vorhabens bilanzierten Holzmarktstroms abzubilden. Dadurch ergibt sich ein als realitätsnah eingeschätztes Bild der Kohlenstoffmengen, die in den Produktspeicher übergehen.

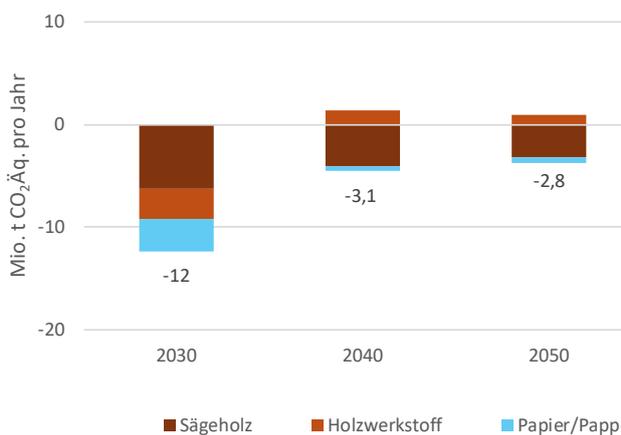


Abb. 11: Entwicklung der CO₂-Speicherung in Holzprodukten. Vorgehensweise nach der IPCC -Methode.

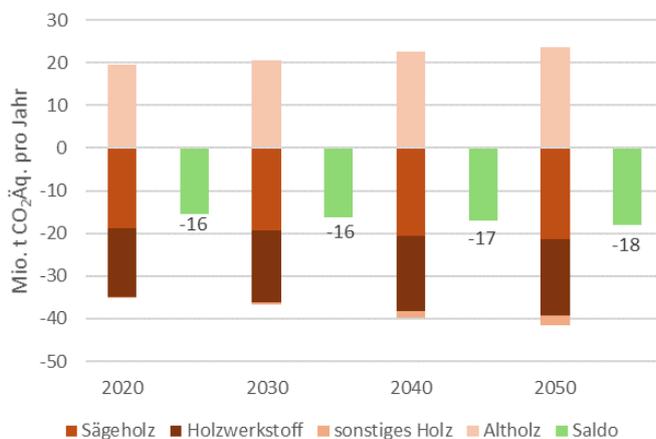


Abb. 12: Entwicklung der CO₂-Speicherung in Holzprodukten. Nach Input (Holzprodukte) und Output (Altholz).

Abb. 11 zeigt das Ergebnis, geht man nach der IPCC-Methode vor. Die Anwendung hier ist jedoch unvollständig, da die Beiträge aus der Vergangenheit (zurück bis vor 1990) in die Rechnung einfließen müssten. So weit zurück wurden die Mengenströme im Rahmen dieses Vorhabens jedoch nicht bilanziert.

Von der Größenordnung ergibt sich für das Jahr 2030 ein Fluss von um die 12 Mio. t CO₂ in den Produktspeicher, der in den späteren Jahren jedoch bei den eher kurzlebigen Holzwerkstoffen deutlich geringer wird.

Abb. 12 zeigt den alternativen Ansatz. Einem Input von ca. 30 Mio. t CO₂ durch Produkte aus Sägeholz und Holzwerkstoffen (mit zunehmender Tendenz) stehen etwa 20 Mio. t CO₂ an Austrag durch Altholz gegenüber. Der jährliche Produktspeicher (Saldo aus Input und Output) nimmt hier nicht ab, sondern steigt von 2020 mit -16 Mio. t CO₂ 2050 auf -18 Mio. t CO₂ an.

Gesamtbild

Stellt man die Ergebnisse der drei einzelnen Blöcke zusammen dar, ergibt sich folgendes Bild (siehe Abb. 13):

- Die aktuellen THG-Emissionen durch die Holzwirtschaft insgesamt (Block A, inklusive der Zellstoff- und Papierindustrie, PPK) liegen mit 24 Mio. t CO₂Äq. vergleichsweise hoch, sind v.a. durch die Zellstoff- und Papierindustrie geprägt, nehmen jedoch bis 2050 auf ein Zehntel ab. Grund für die Abnahme: die von der Dekarbonisierung getriebene Reduktion von THG-Emissionen in allen Sektoren.
- Ohne die Zellstoff- und Papierindustrie liegen die Emissionen bereits im Jahr 2020 weit niedriger.
- Diesen Emissionen sind die potenziell eingesparten oder zusätzlichen Emissionen durch Erhöhung von holzbasierten Produkten bzw. Verringerung von Holzenergie gegenüberzustellen (Block B). Sie liegen in den Summen etwas geringer (ca. 3 Mio. t CO₂Äq. im Jahr 2030 mit Rückgang auf 1 Mio. t CO₂Äq. in 2050).
- Mit Block C werden die potenziell in Holzprodukten jährlich gespeicherten CO₂-Mengen abgebildet. Berechnet werden sie als Saldo von in den Markt gebrachten Holzprodukten und der entsorgten Menge an Altholz. Bereits 2020 liegt dieser Saldo bei einem Speicherwert von 8,5 Mio. t CO₂Äq. und erhöht sich bis 2050 auf 8,5 Mio. t CO₂Äq.

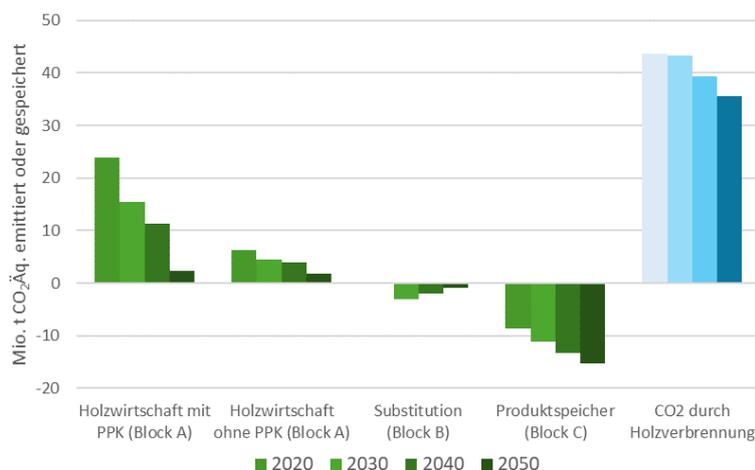


Abb. 13 zeigt außerdem ergänzend zu den Blöcken A bis C die Emissionen an biogenem CO₂, die durch die Verbrennung bei der Energienutzung von Holz freigesetzt werden.

Diese liegen im Jahr 2020 bei 43 Mio. t CO₂Äq. und damit deutlich höher als die Emissionen in den jeweiligen anderen Blöcken. Wenngleich diese Emissionen in der nationalen Berichterstattung berücksichtigt werden, gibt es bisher keine allgemeine anerkannte Methode, die Emissionen auf THG-Bilanzen für Produkte zu übertragen.

Abb. 13: Gesamtschau der THG-Emissionen (positive Werte) und CO₂-Senken (negative Beträge) nach den Blöcken, ergänzt um die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Holz.

Die Darstellung der Blöcke dient einer Übersicht über die Größenordnung verschiedener Effekte. Diese sind methodisch nicht ohne Weiteres zu einem Gesamtsaldo zusammen zu addieren, sondern sollen in erster Linie der Einordnung der einzelnen Größen dienen. Für die Gesamtschau mit weiteren Wirkungskategorien wie Feinstaubemission und Versauerung werden lediglich Block A und B berücksichtigt.

SCHLUSSFOLGERUNG

Der von der in Deutschland geernteten Holzmenge belieferte Wirtschaftsbereich beinhaltet sehr viele verschiedene Sektoren. Mit der Papier- und Zellstoffindustrie ist dabei auch ein vergleichsweise emissionsintensiver Sektor. Dieser hat jedoch bereits sehr hohe Recyclingraten umgesetzt und greift daher nur in geringem Maße auf Rohholzressourcen zu.

Nach der hier durchgeführten Bilanzierung führt das Holzmarktssystem aktuell insgesamt zu **Treibhausgasemissionen** von 23 Mio.t CO₂Äq. Das entspricht 3,5 % der Gesamtemission in Deutschland. Auf die Papier- und Zellstoffindustrie fallen davon allein 62 %. Der zweitgrößte Emissionsanteil geht auf die Holzwerkstoffproduktion, v.a. aufgrund des Einsatzes von Bindemitteln.

Bis 2050 gehen die Gesamtemissionen auf ein Zehntel zurück, geht man von einer erfolgreichen Umsetzung der Energiewende mit weitgehender Abkehr von fossilen Rohstoffen aus. Die Nicht-CO₂-Emissionen aus der Energienutzung (Methan, Lachgas) bleiben auch bis 2050 bestehen, sodass dann der Energieeinsatz auch den höchsten Emissionsanteil haben wird.

Auch in den **anderen Umweltwirkungskategorien** werden sich Lasten bis 2050 deutlich verringern. Beispielhaft wurden vorausgehend Feinstaubemission und Versauerung dargestellt. In diesen Kategorien ist der Beitrag der Energienutzung deutlich höher, allerdings sind hier auch geringere Reduktionspotenziale vorhanden, sodass die Gesamtreduktion ausgehend von ca. 110.000 t versauernde bzw. partikelbildende Emissionen nur auf 40 % sinken werden.

In der Bilanzierung wird auch berücksichtigt, welches Potenzial mit der **Substitution** von alternativen Materialien durch die Nutzung von Holz verbunden sind. Eine direkte Gegenüberstellung der funktionsgleichen Materialien zeigt, dass mit einem hypothetischen Ersatz aller holzbasierten Produkte Mehrmissionen von knapp 80 Mio. t CO₂Äq verbunden wären. Wendet man den Substitutionseffekt nur auf die sich mit Start der Bilanz veränderten Mengen an (zusätzliche Mengen an Bauholz, weniger Energieholz), dann bleibt der Effekt vergleichsweise gering: 3 Mio. t CO₂Äq im Jahr 2030.

Die jährliche **CO₂-Speicherung in Holzprodukten** zeigt dagegen ein wachsendes Potenzial: durch Steigerung stofflicher Nutzung kann dieser auf bis 18 Mio. t CO₂Äq pro Jahr steigen.

Zum Vergleich: Durch die energetische Nutzung von Holz werden insgesamt über 40 Mio. t CO₂ emittiert.

Fazit:

- **Stoffliche Holzprodukte** sind aktuell in ihrer Klimabilanz deutlich im Vorteil gegenüber nicht erneuerbaren Alternativen. Sie können auch künftig bei weiterer Dekarbonisierung zusätzliche Beiträge zur Emissionsminderung leisten.
- Bei der **energetischen Nutzung** ist dies in deutlich eingeschränkterem Maße der Fall. Zu beachten sind hier auch weitere negative Umweltwirkungen durch Emissionen der Holzverbrennung.
- Insgesamt machen die Bilanzen deutlich, dass der **C-Speicher** in Produkten und auch im Wald den größten Faktor für die THG-Bilanz der Holznutzung darstellt. Gerade hier besteht jedoch noch Bedarf an breit anerkannten Methoden der Bilanzierung.

Das Projekt DIFENS

Extremereignisse wie Dürren und Stürme haben in den vergangenen Jahren erhebliche Schäden in unseren Wäldern verursacht. Besonders betroffen sind Wälder mit geringer Widerstandsfähigkeit, die sich nur schwer an Umweltveränderungen anpassen können.

Gleichzeitig steigen die Anforderungen an den Wald: nationale und internationale Vorgaben setzen auf seine Rolle als Kohlenstoffspeicher und als wertvollen Lebensraum für viele Arten. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, müssen Wälder gezielt für das Erbringen dieser Leistungen bewirtschaftet werden.

Es ist zu erwarten, dass Extremereignisse in Zukunft häufiger auftreten und die Forstwirtschaft immer stärker beeinflussen. Dies stellt auch die Nutzung von Holz vor neue Herausforderungen, da das verfügbare Holzangebot künftig starken Schwankungen unterliegen wird.

Um die vielfältigen Leistungen des Waldes langfristig zu sichern, sind neue Bewirtschaftungsformen und ein gezielter Umbau der Wälder erforderlich. Dies wird auch zu Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung führen.

Zahlreiche Studien haben bereits die Entwicklung von Waldbeständen, das Holzaufkommen und die Kohlenstoffspeicherung unter verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien untersucht – meist auf Basis der Bundeswaldinventuren. Bisher fehlte jedoch eine integrierte Betrachtung, die Holznachfrage, Klimawandelfolgen und Waldbewirtschaftung gemeinsam in den Blick nimmt.

Das Projekt DIFENS schließt diese Forschungslücke durch die Entwicklung detaillierter Szenarien, die Endwarenspektoren, Halbwaren und Rohstoffe miteinander verknüpfen:

- Mit dem Modell TRAW wird der zukünftige Holzbedarf ermittelt. Dabei werden Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung und technischen Innovationen berücksichtigt. Zusätzlich fließen Einschätzungen von Expertinnen und Experten aus der Forst- und Holzwirtschaft ein, die im Rahmen einer Delphi-Befragung gewonnen wurden.
- Die ermittelte Holznachfrage geht in das Waldentwicklungsmodell FABio-Forest ein, das durch eine Verknüpfung mit dem Waldwachstumsmodell 4C auf klimatische Änderungen reagieren kann.
- Das Modell HoLCA leitet schließlich aus den Ergebnissen der Holzverwendung Treibhausgasemissionen und Ökobilanzierungen entlang der Wertschöpfungskette ab.

DIFENS bietet damit neue Ansätze zur nachhaltigen Anpassung der Forst- und Holzwirtschaft an Klimawandel und Marktveränderungen. Im Mittelpunkt stehen dabei folgende zentrale Fragen:

- Wieviel Holz werden wir in Deutschland zukünftig benötigen?
- Wie entwickeln sich die Wälder in Deutschland im Zuge des Klimawandels?
- Können die Wälder unter den veränderten Bedingungen die zukünftigen Anforderungen erfüllen?
- Welche Folgen hat dies insbesondere für die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen und anderen Umweltauswirkungen?



Ergebnisse unter:
<https://fabio-model.de>



Impressum

Version 1.0, Stand 31.05.2025

Zitieren als: Fehrenbach, H., Bolte, V., Köppen, S. (2025): Ökobilanzierung - Wirkungsanalyse der DIFENS-Holznutzungsszenarien unter Einbezug der Waldwirtschaft, der Verarbeitung zu Produkten, deren Nutzung, der Substitutionswirkung, sowie deren Wechselwirkungen; Broschüre erstellt im Rahmen des Projekts DIFENS. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/DIFENS-Oekobilanz.pdf>

Die Inhalte dieser Broschüre wurden erstellt durch:

Horst Fehrenbach und Viviani Bolte

Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg
E-Mail: ifeu@ifeu.de
Web: www.ifeu.de



Die Broschüre ist ein Produkt des Projektes Waldentwicklung als Folge von Veränderung der Holz- nachfrage, Klimaveränderung, natürlichen Störungen und Politikanforderungen - Eine Analyse der Reaktionsmöglichkeiten von Forst- und Holzwirtschaft (DIFENS), eilvorhaben 3: Ökobilanzierung und Wirkungsanalyse der Holznutzungsszenarien. DIFENS wurde gefördert unter dem Förderkenn- zeichen 2220WK32A4 aus Mitteln des Waldklimafonds in dem Zeitraum vom 01.12.2021 bis 31.05.2025. Der Projektträger ist die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

Weitere Broschüren: DIFENS – [Holzverwendung](#) und DIFENS – [Waldmodellierung](#)

Die Projektpartner sind:



Bildernachweis in der Reihenfolge

(1) Ticha - stock.adobe.com, (2) Horst Fehrenbach, (3) maho - stock.adobe.com, (4) Countrypixel - stock.adobe.com

