

# Urwälder, Natur- und Wirtschaftswälder im Kontext von Biodiversitäts- und Klimaschutz

## Teil 2: Das Narrativ von der Klimaneutralität der Ressource Holz

Von Rainer Luick, Klaus Hennenberg, Christoph Leuschner, Manfred Grossmann, Eckhard Jedicke, Nicolas Schoof und Thomas Waldenspuhl

Eingereicht am 12.03.2021, angenommen am 16.10.2021

This article is also available in English: [www.nul-online.de](http://www.nul-online.de), [DOI: 10.1399/NuL.2022.01.02.e](https://doi.org/10.1399/NuL.2022.01.02.e).

### Abstracts

In der Debatte um Klimaschutz und Förderung erneuerbarer Energien wird eine verstärkte stoffliche und thermische Verwendung von Holz als vermeintlich klimaneutraler Baustoff und Energieträger häufig pauschal als sinnvoll propagiert. Die Umsetzung dieses Narrativs führt zu intensiverer Nutzung der Wälder sowie zum weiteren Anstieg des globalen Rohholzaufkommens bei gleichzeitiger Verminderung der Holzvorräte und trägt auch zum Schwund der letzten europäischen Urwälder bei. Der vorliegende zweite Teil eines literaturbasierten Diskussionsbeitrags zu Urwäldern, Naturwäldern und Wirtschaftswäldern im Kontext des Biodiversitäts- und des Klimaschutzes analysiert die Entwicklung der Holzvorräte und Holzverwendung in Deutschland und beleuchtet die CO<sub>2</sub>-Senkenleistung von Holz für die vorherrschenden Nutzungspfade. Dieser Komplex hat wichtige Rückkopplungen zu Anliegen des Biodiversitätsschutzes. Kritisch betrachtet werden die Klimarelevanz von Holz als Substitut für andere Ressourcen und die vermeintliche CO<sub>2</sub>-Neutralität von Holz als Energiequelle. Die klimapolitischen Ziele der EU und Deutschlands und deren instrumentelle Umsetzung überschätzen die Leistungsfähigkeit von Wäldern als CO<sub>2</sub>-Senke und die Lieferfähigkeit für die Ressource Holz. Dies gilt besonders in Anbetracht der Folgen des Klimawandels.

Die Forderung an die Politik ist der Verzicht auf Holzeinschlag in Ur- und Naturwäldern und die Einführung entsprechender normativer Vorgaben sowie Kriterien, um die Stammholznutzung für energetische Zwecke einzuschränken. Dies gilt speziell für Importe von Pellets und Hackschnitzeln zur Verstromung in Großkraftwerken. Eine thermische Nutzung von Holz und kurzlebigen Holzprodukten führt gegenüber der fossilen Referenz meist nur zu geringen bis keinen Reduktionen der Treibhausgasemissionen. Stofflich nicht weiter verwertbares Holz, Restholz oder Sägenebenprodukte sollten thermisch und dann möglichst ortsnah in effizienten Anlagen eingesetzt werden. Holz, das in Form von lebenden Bäumen oder Totholz im Wald verbleibt, kann im Vergleich zur energetischen und ineffizienten stofflichen Verwertung einen mindestens ebenso hohen, oft sogar größeren Beitrag zum Klimaschutz leisten. Nicht maximaler Ertrag, sondern Walderhalt mit möglichst resistenten und resilienten Beständen muss das vorrangige Ziel der Forst- und Holzwirtschaft sein.

*Primeval Forests, Natural and Managed Forests in the Context of Biodiversity and Climate Protection – Part 2: The narrative of the climate neutrality of wood as a resource*

In the debate on climate protection and the promotion of renewable energies, the increased material and thermal use of wood as a supposedly climate-neutral building material and energy source is often promoted as necessary and sensible. The adoption of this narrative is increasingly leading to more intensive use of forests, to a further increase in the global supply of raw wood with a concomitant reduction in wood reserves, and is also contributing to the disappearance of the last primeval forests in Europe. This second part of a literature-based review on primeval forests, natural forests and managed forests in the context of biodiversity and climate protection analyses the development of wood reserves and wood use in Germany and discusses the CO<sub>2</sub> sink performance of wood in the prevailing usage pathways. This issue has important implications for biodiversity conservation. The climate relevance of wood as a substitute for other resources and the supposed CO<sub>2</sub> neutrality of wood as an energy source are critically examined. The climate policy goals of the EU and Germany and their instrumental implementation overestimate the performance of forests as CO<sub>2</sub> sinks and their potential supply of wood. This is especially true in light of the consequences of climate change.

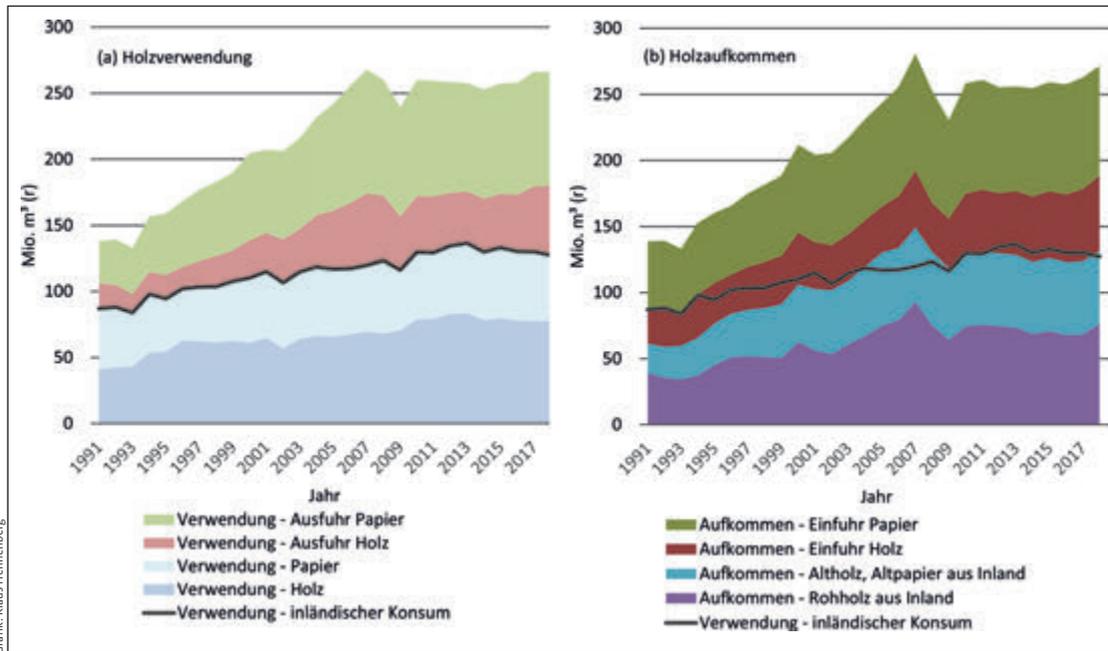
The demand this paper makes of policy-makers is to prohibit logging in primeval and natural forests and to introduce corresponding normative requirements and criteria to restrict the use of timber for energy purposes. This applies in particular to imports of pellets and wood chips for electricity generation in large power plants. Thermal use of wood and short-life wood products usually leads to little or no reduction in greenhouse gas emissions compared to the fossil fuel benchmark. Wood that cannot be further utilised for materials, along with residual or sawmill by-products, may be utilised thermally, but then as locally as possible and only in efficient facilities. Wood that remains in the forest in the form of living trees or deadwood can make at least as great and often even greater a contribution to climate protection than when it is used for energy and inefficient materials. The primary goal of forestry must not be maximum yield but forest preservation with stands that are as robust and resilient as possible.

### 1 Einleitung

Wald ist Rohstofflieferant für Holz und zugleich vielfältiger Lebensraum, Waldökosysteme beeinflussen maßgeblich das Klimageschehen und den Kohlenstoff- und Was-

serkreislauf und sie sind auch als Erholungsraum wichtig. Die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald sind also vielfältig und führen regelmäßig zu Interessensgegensätzen. Im Kontext von Ressourcenbereitstellung und Klimaschutzbeiträgen der Wälder in

Deutschland werden im aktuellen Diskurs folgende Fragen debattiert: (1) wie die Waldfläche in Deutschland genutzt werden soll; (2) welche Holzmenge entnommen werden soll; (3) wie viel Fläche unter Schutz gestellt werden soll; (4) wie empfindlich unsere



**Abb. 1:** (a) Holzverwendung und (b) Holzaufkommen für Deutschland nach Aufkommensquellen in der Periode 1991–2018 (nach Weimar 2020).

Wälder gegenüber dem Klimawandel sind, ob und wie sie umgebaut werden müssen und (5) welche Beiträge der Wald zur Erfüllung der von Deutschland eingegangenen Klimaschutzverpflichtungen zukünftig leisten kann.

In den beiden Teilen unseres Aufsatzes diskutieren wir Argumente zu den Themenfeldern (1) Biodiversität und Forstwirtschaft, (2) Speicher- und Senkenleistung genutzter und ungenutzter Wälder für Kohlenstoff und (3) Klimaschutzwirkungen der energetischen Holznutzung vor dem Hintergrund aktueller klimapolitischer Entscheidungen der EU und der Bundesregierung. Der erste Teil (Luick et al. 2021) befasste sich mit der Verbreitung von Ur- und Naturwäldern in Europa und ihren Beiträgen zum Biodiversitäts- und Klimaschutz. Im vorliegenden zweiten Teil präsentieren wir Daten und Analysen, um die These zu widerlegen, nach der Holz grundsätzlich eine klimaneutrale Ressource sei.

## 2 Holzvorräte und Holzverwendung in Deutschland

Die Wälder in Deutschland gehören mit einem durchschnittlichen Holzvorrat von 358 m<sup>3</sup> pro ha nach den Wäldern der Schweiz und Österreichs zu den vorratsreichsten in Europa. Sie erreichen vielerorts Werte, wie sie seit vielen Jahrhunderten nicht mehr existierten. Mit 3,7 Mrd. m<sup>3</sup> Vorrat hat Deutschland den mit Abstand größten Gesamtholzvorrat aller EU-Länder und liegt damit deutlich vor waldgeprägten Ländern wie Schweden oder Finnland. Die Wälder in Bayern haben mit 403 m<sup>3</sup> pro ha im Vergleich der

Bundesländer die durchschnittlich höchsten Vorräte, gefolgt von Baden-Württemberg mit 365 m<sup>3</sup>; die niedrigsten finden sich in Brandenburg mit 239 m<sup>3</sup> und in Sachsen-Anhalt mit 237 m<sup>3</sup> (FNR 2020).

In diesen Vorratswerten sind allerdings die Auswirkungen von Trockenheit, Kalamitäten und Sondernutzungen des Zeitraums 2018–2020 noch nicht berücksichtigt, die voraussichtlich zu einer Abnahme der mittleren Vorräte geführt haben (BMEL 2021 a). Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes betrug der Holzeinschlag im Jahr 2019 circa 79 Mio. m<sup>3</sup> und im Jahr 2020 rund 86 Mio. m<sup>3</sup> (Hennenberg et al. 2021, Jochem et al. 2021); das sind rund 90 % des Zuwachses (Statistisches Bundesamt 2019, Statista 2021 a). In der Forst- und Holzwirtschaft kursieren mit Klimaschutz begründete Forderungen, den Einschlag bis in Größenordnung des Zuwachses zu erhöhen (unter anderem BMEL 2017). In diesem Zusammenhang warnt das Umweltbundesamt dezidiert, dass der steigende Nutzungsdruck auf die Wälder zunehmend die Gefahr birgt, die bereits erreichten positiven Veränderungen hin zu einer umweltverträglichen und nachhaltigen Waldnutzung zu konterkarieren (UBA 2021 a).

Deutschland ist ein bedeutendes Import- und Exportland für den Rohstoff Holz, insbesondere für holzbasierte Produkte. Beim Export gehört Deutschland weltweit zu den fünf wichtigsten Akteuren. Für die Periode 2016–2018 betrug die jährliche Verwendung an Holz und Produkten auf Holzbasis im Durchschnitt 263 Mio. m<sup>3</sup>. Davon waren circa 129 Mio. m<sup>3</sup> inländischer Konsum und

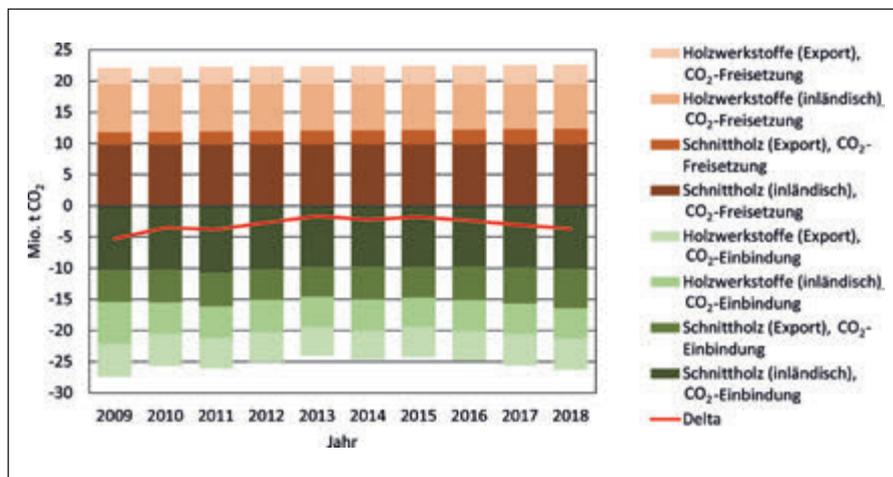
circa 134 Mio. m<sup>3</sup> Importe (Abb. 1). Die Exporte betragen 134 m<sup>3</sup>; die Bilanz der gehandelten Holzproduktmengen war bei hohen grenzüberschreitenden Stoffströmen also nahezu ausgeglichen.

Vom Inlandverbrauch in Höhe von 129 Mio. m<sup>3</sup> entfallen rund 78 Mio. m<sup>3</sup> auf Holzprodukte und 51 Mio. m<sup>3</sup> auf Papiere und Kartonagen (Weimar 2020). Für das Jahr 2016 wurden die Herkünfte der Holzrohstoffe mit 78,3 Mio. m<sup>3</sup> aus der Primärproduktion ermittelt; 48,8 Mio. m<sup>3</sup> stammten aus Rest- und Recyclingmaterialien. Der Inlandverbrauch wird hälftig mit jeweils circa 63,5 Mio. m<sup>3</sup> stofflich und energetisch genutzt (KIWUH 2019, Mantau et al. 2018).

Hervorzuheben ist, dass der jährliche Inlandverbrauch im Zeitraum 1991 bis 2018 von 87,2 Mio. m<sup>3</sup> um fast 50 % auf 127,4 Mio. m<sup>3</sup> gestiegen ist (Weimar 2020, Abb. 1); dies war ganz im Sinne des in der Charta für Holz 2.0 der Bundesregierung formulierten Ziels einer wachsenden Holzmobilisierung (BMEL 2004, 2017). Die stoffliche Verwendung wuchs in diesem Zeitraum von 45,9 Mio. m<sup>3</sup> auf 63,7 Mio. m<sup>3</sup> (+38 %), die energetische Nutzung von 18,9 Mio. m<sup>3</sup> auf 63,8 Mio. m<sup>3</sup> (+237,6 %) (Mantau et al. 2018).

## 3 Die CO<sub>2</sub>-Senkenleistungen von Holz

Für die Bilanzierung einer angenommenen Treibhausgas(THG)-Minderung durch Holzprodukte auf Staatenebene wird nach Konvention nur die Menge an Holzprodukten angesetzt, die aus den Wäldern eines Landes



Grafik: Klaus Hennberg

**Abb. 2:** Menge und Dynamik der CO<sub>2</sub>-Festlegung im Holzproduktspeicher beziehungsweise der CO<sub>2</sub>-Freisetzung des in Deutschland produzierten Schnittholzes und der Holzwerkstoffe (UBA 2020 a).

stammt (UBA 2020 a). Dazu zählen vor allem Schnittholz und Holzwerkstoffe, aber auch kurzlebige Produkte wie Papier und Pappe aus inländischer Nutzung sowie die Exportmenge. Importierte Holzprodukte werden den Herkunftsländern angerechnet. Diese Abgrenzung ist sinnvoll, da die Holzentnahme direkt mit der Senkenleistung der Wälder zusammenhängt und so Doppelzählungen ausgeschlossen werden. Die Ermittlung eines exakten C-Produktspeichers und des Substitutionspotenzials von holzbasierten Produkten ist schwierig und von zahlreichen Annahmen begleitet, die sowohl pessimistisch wie optimistisch gesetzt werden können. Die im Folgenden genutzten empirischen Grundlagen beziehen sich vor allem auf Zahlen des THG-Inventars für Deutschland aus dem Jahr 2020, aus dem auch der aktuelle Projektionsbericht der Bundesregierung zur Entwicklung der THG-Emissionen in Deutschland seine Daten bezieht (Bundesregierung 2021 b).

Ein wichtiger Aspekt der Bilanzierung des Holzproduktspeichers ist die „Abschreibung“, denn der Holzspeicher und damit die THG-Senkenleistung verringert sich daher durch den natürlichen Abgang der Holzprodukte kontinuierlich und er muss durch neue Produkte laufend aufgefüllt werden. Ein wachsender Holzproduktspeicher erhöht entsprechend die notwendige „Speichererhaltungsmenge“. So waren allein in Deutschland in der Periode 2009–2018 im Durchschnitt circa 30 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr an neuen langlebigen Holzprodukten für den Erhalt des Holzproduktspeichers erforderlich (nach eigenen Berechnungen auf Basis der Common-Reporting-Format(CRF)-Tabellen aus UBA 2020 a).

Unter der Annahme, dass für 1 m<sup>3</sup> Produkt 1,2 m<sup>3</sup> Rohholz benötigt werden, ergibt sich ein Wert von 36 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr an Rohholz für den Erhalt der Speicherleistung. Mit durchschnittlich weiteren 4 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr, das entspricht 4,8 Mio. m<sup>3</sup> Rohholz, wurde der Speicher im Durchschnitt um 3 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr in dieser Periode vergrößert; er wirkte also als Senke. Dies bedeutet in der Bilanz: Werden aus einem Rohholzäquivalent von 1 m<sup>3</sup> langlebige Holzprodukte hergestellt und damit der Produktspeicher vergrößert, kann mit einer zusätzlichen Senkenleistung von 0,63 t CO<sub>2</sub> pro m<sup>3</sup> pro Jahr an Rohholz gerechnet werden. Wird der Holzproduktspeicher allerdings verringert, so sind je nicht eingesetztem m<sup>3</sup> Rohholz THG-Emissionen in ähnlicher Größenordnung zu erwarten.

Aus Klimaschutzsicht ist vor allem die Veränderung der Lebensdauer langlebiger Holzprodukte interessant. In Abb. 2 ist die Dynamik der CO<sub>2</sub>-Festlegung und -Freisetzung dargestellt: Neue Holzprodukte füllen den Holzproduktspeicher und führen zu einer CO<sub>2</sub>-Festlegung; entsprechend der Halbwertszeit der Holzprodukte, die bei Schnittholz 35 Jahre und bei Holzwerkstoffen nach bisherigen Annahmen 25 Jahre beträgt, scheiden Produkte aus dem Holzproduktspeicher aus. Das bedeutet, dass nach dieser Zeit aus der Hälfte der Produkte das gebundene CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt wird.

Die Angaben zu CO<sub>2</sub>-Senkenleistungen von holzbasierten Produkten werden unserer Meinung nach allerdings vermutlich nach Menge und der zeitlichen Dauer überschätzt. Im Monitoringbericht der Bundesregierung zur Energiewende wird für Schnittholz eine Halbwertszeit von 35 Jahren, für Holzwerkstoffe von 25 Jahren und für Papier, Pappe

und Karton (PPK-Produkte) von zwei Jahren angenommen (BWE 2021, UBA 2020 a). Diese Annahmen beruhen auf Daten von Wenker & Rüter (2015) sowie Rüter (2016), die sich wiederum auf Einschätzungen von Frühwald et al. (2001) beziehen. Zumindest für Holzwerkstoffe sind diese Annahmen kritisch zu hinterfragen, denn in der Summe hat sich deren Nutzungsdauer in den letzten Jahrzehnten signifikant verkürzt – und damit auch ihre THG-Bilanzwirkung. Hinzu kommt ein Anstieg an kurzlebigen Holzprodukten, die nur geringe positive Auswirkung auf den Klimaschutz haben. In diesem Zusammenhang sind folgende Aspekte wichtig:

(1) Nur ein kleiner Teil des Rohholzaufkommens wird bisher langfristig im Bausektor als langlebiger CO<sub>2</sub>-Speicher festgelegt. Dies resultiert in kürzeren Halbwertszeiten (unter anderem Huber et al. 2021). Daran hat auch der erfreuliche Anstieg des Anteils der Wohngebäude in überwiegender Holzbauweise in Deutschland, im Zeitraum 2003–2019 von 12,3 % auf 18,7 %, wenig geändert (Statista 2021 b).

(2) Der Anteil hochwertiger Möbel mit langer Nutzungsdauer ist zurückgegangen: Ein Großteil der Möbelproduktion für den heimischen Markt und den Export sowie importierter Möbel basiert heute auf preiswerten Span- und Faserplatten. Diese besitzen nur noch eine Nutzungsdauer von wenigen Jahren und sind aufgrund ihrer komplexen und heterogenen Materialstruktur für weiteres stoffliches Recycling oft kaum noch brauchbar (unter anderem ZDF 2020).

(3) Der Verbrauch von PPK-Produkten (Papier, Pappe, Karton) mit einer nur geringen Halbwertszeit ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen. Die jährliche Gesamtbilanz des PPK-Verbrauchs beträgt pro Person 0,24 t; das sind für Deutschland insgesamt circa 20 Mio. t. Damit ist Deutschland mit Abstand weltweiter Spitzenreiter im Pro-Kopf-Verbrauch (Deutscher Bundestag 2019). Allein der Verbrauch von Verpackungen im Onlinehandel hat von 1996 bis 2017 um 607 % zugenommen und ist weiter stark steigend (Schlüter 2019, UBA 2020 b). Zwar können vor allem Papiere theoretisch stofflich mehrfach wiederverwertet werden, dies allerdings mit jeweils geringerer Qualität. Die Recyclingquote in Deutschland beträgt jedoch aufgrund des hohen Importanteils nur circa 60 %, da in vielen Produktionsländern die Wiederverwertungsquoten deutlich geringer sind als in Deutschland. So liegt die stoffliche Recyclingquote von PPK-Materialien, die aus



Bild: Rainer Luick (2021)



Bild: Rainer Luick (2021)

**Abb. 3 und 4:** Paletten und Transportverpackungen aus Holz landen oft schon nach nur einer Nutzung aus Bequemlichkeits- und Opportunitätsgründen als billiger Brennstoff im Hausbrand, obwohl sie als Beitrag zum Klimaschutz besser stofflich genutzt werden sollten. Die stark gestiegenen Preise für fossile Energieträger, aber auch für Brennholz, befördern diese Entwicklung derzeit massiv.

Finnland und Schweden importiert werden, nur bei 6 beziehungsweise 11 % (Deutscher Bundestag 2019). Für die Produktion von 1 t PPK-Produkten werden durchschnittlich 3,93 m<sup>3</sup> Rohholz benötigt. Unter Berücksichtigung einer notwendigen jährlichen neuen Holzeinspeisung in den Wiederverwertungskreislauf von circa 10 % des Gesamtproduktionsvolumens und des gegebenen Recyclinganteils entspricht das einem jährlichen Rohholzbedarf für Deutschland von circa 40 Mio. m<sup>3</sup>, davon 32 Mio. m<sup>3</sup> für neue PPK-Produkte und 8 Mio. m<sup>3</sup> für erneuten frischen Holzeinsatz beim Recycling.

(4) Der Verbrauch von Paletten und Holzverpackungen (Abb. 3, 4), ebenfalls Produkte mit einer kurzen Halbwertszeit, hat stark zugenommen (HPE 2016, 2018; VR 2019, Wirtschaft 2020). Der deutsche Inlandsverbrauch an Paletten betrug im Jahr 2019 circa 140 Mio. Einheiten. Davon wurden circa 110 Mio. Paletten in Deutschland produziert (VR 2019), was einem Holzbedarf von 6 Mio. m<sup>3</sup> entspricht oder bei kalkulierten Sägeverlusten von 30 % einem Rohholzbedarf von 9 Mio. m<sup>3</sup>; das entspricht etwa 15 % des durchschnittlichen jährlichen Gesamtrohholzeinschlags in Deutschland. Die Produktion war 2003 mit circa 55 Mio. Paletten erst halb so groß; die gesamteuropäische Palettenproduktion betrug 2020 rund 500 Mio. Paletten.

Mengenmäßig wichtiger als das eher langsame Wachstum des Holzproduktspeichers, das für Deutschland beispielsweise für das

Jahr 2018 mit 4,2 Mio. t CO<sub>2</sub> bilanziert wurde, ist die Senkenleistung der Wälder, also die C-Festlegung in anwachsender Holzmasse. Diese Senkenleistung ist zumindest bis zum Jahr 2017 kontinuierlich gestiegen. Auf Basis verschiedener Datensätze, wie der Bundeswaldinventur 3 (BWI 3), der Inventurstudie IS08 (2008) und der Kohlenstoffinventur (2017) sowie Modellannahmen wurden durch den nicht genutzten Zuwachs auf der bestehen-



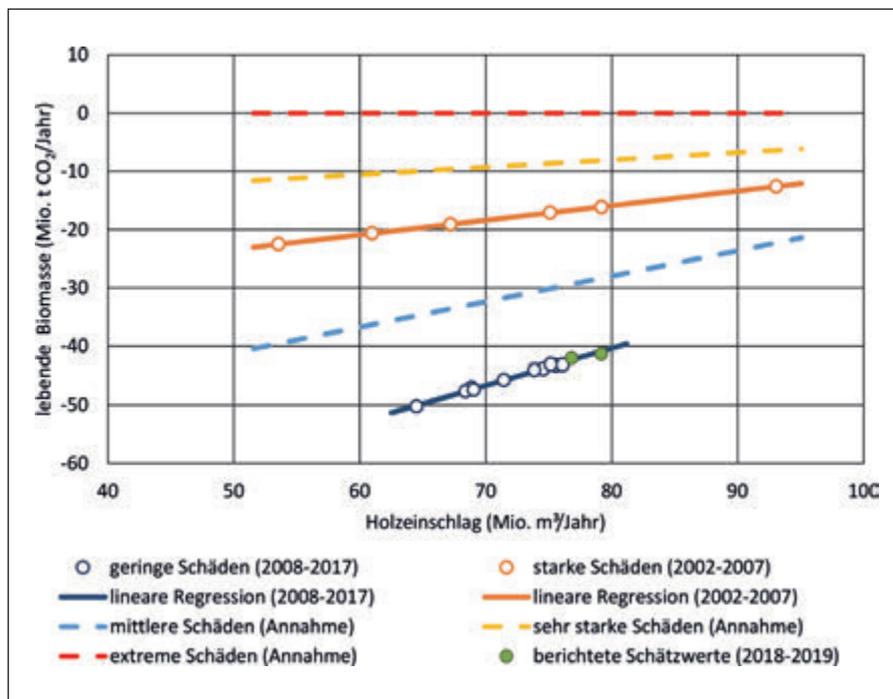
Bild: Rainer Luick (2019)

**Abb. 5:** Auf einer Kahlschlagfläche in Sachsen-Anhalt wird auch noch der verbliebene Schlagabraum mit sogenannten Bundlern kompaktiert und geht dann in die thermische Verwertung in ein Großkraftwerk.

den Waldfläche beispielsweise im Jahr 2017 circa 45 Mio. t CO<sub>2</sub> zusätzlich auf der Waldfläche Deutschlands festgelegt (UBA 2020 a); das entspricht im Mittel 4,1 t CO<sub>2</sub> pro ha.

Die Senkenleistung der Waldfläche ist stark abhängig vom Auftreten natürlicher Störungen und den resultierenden Schäden sowie vom Ausmaß der Holzentnahme (Abb. 5). In Abb. 6 ist dieser Zusammenhang für die lebende Biomasse der Waldfläche auf Basis des aktuellen THG-Inventars für Deutschland von 2002 bis 2017 dargestellt (Hennenberg et al. 2021). Im Zeitraum von 2008 bis 2017, der durch relativ geringe natürliche Störungen und damit geringe Schadensintensitäten geprägt war, wurden relativ hohe Mengen an CO<sub>2</sub> zusätzlich in der Holzbiomasse festgelegt. In Zeiten mit erhöhtem Einschlag verringerte sich dagegen die Senkenleistung der Wälder um 0,62 t CO<sub>2</sub> je m<sup>3</sup> entnommenem Holz. Im Zeitraum von 2002 bis 2007 gab es mehrere große Schadereignisse (2002 Orkan Janette, 2003 Dürre, 2007 Orkan Kyrill), die durch erhöhte Baummortalität und verringerte Zuwächse zu einer Abnahme der Senkenleistung, das heißt einem geringeren Holzvorratsaufbau, führten. Der reduzierende Effekt der Holzentnahme auf den Vorratsaufbau lässt sich auch in dieser Periode starker natürlicher Störungen mit einer Reduktion um 0,25 t CO<sub>2</sub> je m<sup>3</sup> geerntetem Holz erkennen.

Um Einschätzungen zu Potenzialen der Ressourcenbereitstellung von Wäldern zu generieren und als Bewertungsgrundlage, um



Grafik: Klaus Hennenberg

**Abb. 6:** Abhängigkeit der C-Speicherleistung des deutschen Waldes (Holzvorratsaufbau in Mio. t gebundenem CO<sub>2</sub> pro Jahr) von der Holzentnahme und natürlichen Schäden in verschiedenen Perioden [aus Hennenberg et al. 2021 auf Basis von Daten in UBA 2021 b sowie Jochem et al. 2020 (Werte ohne Einschlagrückrechnung)]. Steigung der Geradengleichungen: (1) 0,621 Mio. t CO<sub>2</sub>/Mio. m<sup>3</sup> bei geringen Schäden; (2) 0,436 Mio. t CO<sub>2</sub>/Mio. m<sup>3</sup> bei mittleren Schäden; (3) 0,251 Mio. t CO<sub>2</sub>/Mio. m<sup>3</sup> bei starken Schäden; (4) 0,125 Mio. t CO<sub>2</sub>/Mio. m<sup>3</sup> bei sehr starken Schäden und (5) extreme Schäden 0 Mio. t CO<sub>2</sub>/Mio. m<sup>3</sup>.

Konflikte bei der Waldnutzung bestmöglich zu vermeiden, sind Waldbewirtschaftungsmodelle mit unterschiedlichen Nutzungsszenarien sinnvolle Instrumente. In den meisten Szenarien werden verschiedene Waldbewirtschaftungsintensitäten hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Auswirkungen untersucht und Effekte der Holzentnahme auf die C-Speicherleistung im Wald modelliert. Die sogenannten WEHAM-Szenarien (Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien) sind dabei wichtige Grundlage vieler walddpolitischer Bewertungen und Entscheidungen in Deutschland, in der Vergangenheit und bis in die Gegenwart wirkend (Rüter et al. 2017, WEHAM 2017).

Interessant sind Aussagen und Bewertungen der Szenarien für den Zeitraum von 2020 bis 2050, die sich auch mit dem Handlungszeitraum zur Zielerreichung von gesetzlich und völkerrechtlich vereinbarten Klimaschutzzielen decken: Die von Anlass und Intention her unterschiedlichen Szenarien-Analysen für Deutschland prognostizieren übereinstimmend eine signifikante Zunahme der C-Speicherleistung, wenn die Nutzung der Wälder reduziert wird. Beispiele sind das WEHAM-Naturschutzpräferenz-Szenario im Vergleich zum WEHAM-Basis-Szenario (Oehmichen et al. 2018), die FABio-Waldvision im

Vergleich zum FABio-Basis-Szenario (Böttcher et al. 2018) oder das Nature-Protection-Szenario im Vergleich zum Baseline-Management-Szenario (Gutsch et al. 2018). Wird 1 m<sup>3</sup> Holz geerntet und damit Kohlenstoff aus dem Wald entnommen, führt dies bis zum Jahr 2050 zu einer Abnahme der Speicherleistung um 0,5–1,5 t CO<sub>2</sub> pro m<sup>3</sup> Holzentnahme (Hennenberg et al. 2019, siehe auch <https://co2-speichersaldo.de/>, für Wälder in Deutschland; Böttcher et al. 2020 a für boreale und temperate Wälder).

Nach Einschätzung des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik (WBW) beim BMEL sind die Interaktionen von klimatischen Veränderungen, Veränderungen des biotischen Störungsregimes und der Vitalität und Produktivität des Waldes, die sich aus den vielfältigen Kombinationen der verschiedenen Einflussfaktoren ergeben, nicht ausreichend gut voraussagbar. Die angenommenen Entwicklungspfade zur zukünftigen Produktivität der Wälder sind daher mit erheblichen Unsicherheiten behaftet: „Selbst sehr weit entwickelte Klimamodelle können Extremwetterereignisse, die einen entscheidenden Einfluss auf Wälder und ihre Ökosystemleistungen haben, nur unzureichend abbilden“, so der WBW (2021a). Verständlicherweise sind zudem in keinem der vorliegenden

Waldentwicklungsszenarien die Extreme der Jahre 2018–2020 berücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund werden im aktuellen Projektionsbericht der Bundesregierung die Ergebnisse des verwendeten WEHAM-Basiszenarios kritisch eingeordnet (Bundesregierung 2021 b). Auch die Senkenleistung der lebenden Bäume in der aktuellen THG-Inventur sowie Berechnungen in der Vorjahresschätzung für das Jahr 2020 (UBA 2021 c) berücksichtigen noch nicht die Waldschäden der Jahre 2018–2020. Bis adäquate Waldentwicklungsszenarien verfügbar sind, schlagen Hennenberg et al. (2021), aufbauend auf den Daten der THG-Inventur in Abb. 6, vor, als weitere Schadniveaus mittlere, sehr starke und extreme Schäden anzunehmen. So würde man zum Beispiel bei der Annahme sehr starker Schäden für die lebenden Bäume im Jahr 2019 statt einer Senkenleistung von circa –41 Mio. t CO<sub>2</sub> lediglich circa –9 Mio. t CO<sub>2</sub> erwarten.

Trotz dieser dargestellten Unsicherheiten hat die Veränderung der Senkenleistung auf der Waldfläche eine signifikante Größenordnung und sollte daher in die THG-Bilanzen von Holzprodukten eingebunden werden (Hennenberg et al. 2019). Klimabilanziell sind die Abnahme der Senkenleistung auf der Waldfläche und die Senkenleistung aufgrund der C-Festlegung in langlebigen Holzprodukten mit 0,63 t CO<sub>2</sub> pro m<sup>3</sup> gegenzurechnen. Im Saldo werden durch die Abnahme der Senkenleistung auf der Waldfläche die positiven Effekte der langlebigen Holzprodukte damit deutlich reduziert. Die Nutzung langlebiger Holzprodukte erreicht nur dann eine verlässliche THG-Minderung, wenn eine Substitution von THG-intensiven nicht-biogenen Werkstoffen auf Basis mineralischer, metallischer oder fossiler Rohstoffe stattfindet. Dies gilt umso mehr für kurzlebige Holzprodukte oder Waldenergieholz (Abb. 7 und 8), da die Senkenleistung im Holzprodukt, wie etwa bei Papier, sehr kurz oder, wie bei zum Beispiel Scheitholz, gleich null ist. Negative Effekte auf den Waldspeicher und die Produktivität der Wälder, wie von Kalamitätsereignissen in den Jahren 2018–2020 ausgelöst, sind in diesen Betrachtungen noch nicht abgebildet. Zudem wird die Senkenleistung der Waldfläche vermutlich künftig geringer ausfallen, da überdurchschnittlich viele Bäume abgestorben sind und weiter absterben, ein Großteil der Wälder unter starkem Stress steht und auch in den kommenden Jahren mit Wachstumsdepressionen zu rechnen ist (unter anderem BMEL 2021 a, Ibisch et al. 2021).



**Abb. 7 und 8:** Die energetische Nutzung von Durchforstungs- und Restholz und von Holz aus der Landschaftspflege ist als Energieressource für effiziente Nahwärmeversorgungen sinnvoll. Das nachhaltig nutzbare Aufkommen ist allerdings geringer als über Modelle ermittelt. Eine zu intensive Biomassenutzung in Menge und Häufigkeit kann abhängig vom Standort und den Nährstoffnachlieferungspotenzialen zu Nährstoffversorgungsproblemen führen. In manchen Bundesländern wird über sogenannte „Ampelkarten“ mit drei Stufen auf mögliche Nutzungsintensitäten und Restriktionen für die energetische Biomassenutzung hingewiesen.

Erste Hinweise zur Stützung dieser Annahme kommen von Berechnungen des Statistischen Bundesamtes (2021), wonach die gesamte CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit der deutschen Wälder von 44,3 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2018 auf 30,6 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2019 massiv abgenommen hätte, was deutlich unter den prognostizierten THG-Senkenstärken im Projektionsbericht der Bundesregierung liegen würde (Bundesregierung 2021 b). Alarmierend ist, so das Statistische Bundesamt (2021), dass eine zusätzliche Speicherung nach diesen Daten nur noch in Waldböden stattgefunden haben dürfte.

#### 4 Substitution – Holz ist nicht in jedem Fall die beste Option

Es ist kein thermodynamischer Imperativ, dass Produkte aus Holz eine vergleichsweise bessere THG-Bilanz aufweisen, wenn sie Produkte substituieren, die ansonsten aus anderen Rohstoffen hergestellt werden. Selbst die Nutzung von Holz in langlebigen Produkten führt nicht per se zu einer THG-Minderung dieser Produkte. Korrekterweise müssten bei Holznutzung und der entsprechenden Speicherbilanzierung auch die nicht mehr realisierbaren Speicherpotenziale des Holzes im Wald ermittelt und bilanziert werden. So gibt es viele Holzprodukte, die einen deutlich kürzeren Lebenszyklus haben als die effizienten Top-Runner aus nicht-biogenen Werkstoffen (unter anderem Fehrenbach et al. 2017). Es sind zum Beispiel bei Fassaden, Türen, Fenstern etc. die zusätzlichen Ökobilanzwerte für den regelmäßigen Unterhaltungsaufwand des verbauten Holzes zu berücksichtigen; dazu zählen beispielsweise

Farben, Lacke und die zugehörige Entsorgung sowie Arbeitsgeräte. Positiv wird die Bilanz vor allem dann, wenn zusätzlich eine Substitution THG-intensiver Produkte erreicht wird, also THG-intensive Produkte wie Stahlbeton durch Holz ersetzt werden.

Steigt der Anteil erneuerbarer Energien und sinken damit die Emissionen, wie dies erklärtes politisches Ziel ist, so verringern sich auch gleichzeitig mögliche Substitutionseffekte und damit das THG-Einsparpotenzial durch Holzprodukte. Denn viele Produkte aus nicht-biogenen Werkstoffen gehen noch mit einem hohen Einsparpotenzial in Substitutionsmodelle ein, weil etwa der Energiemix aus einem Durchschnittswert für ein bestimmtes Referenzjahr stammt. Dieser Wert ändert sich für Deutschland ständig zu Gunsten von Stromanteilen aus erneuerbaren Energien.

2020 hatten erneuerbare Energieträger in Deutschland schon einen Anteil von circa 50 % am Strommix; dieser war vor zehn Jahren erst halb so hoch und betrug vor 20 Jahren gar nur wenige Prozente (ISE 2021). Daher ist die Aussagekraft vergleichender Ökobilanzen von Produkten zunehmend kritisch zu sehen. Für die Erstellung von Ökobilanzen (= Life-Cycle-Assessment, LCA) gibt es Normen, die auch die qualitative Absicherung von Eingangsdaten umfassen; aktuell gültig sind die Versionen der DIN EN ISO 14040:2009-11 und DIN EN ISO 14044:2006-10. Danach sollen beispielsweise Eingangsdaten nicht älter als zehn Jahre sein. Allerdings werden diese Prinzipien nicht konsequent eingehalten. In einer Metastudie auf Grundlage der Analyse der 100 am häufigsten zitierten Studien zur Evidenz von LCAs

zur Bioenergie stellen Agostini et al. (2020) massive Interpretationsfehler fest. In vielen Ökobilanzen für Holzprodukte werden zudem oft wichtige Elemente der Prozesskette nicht abgebildet und so CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht oder unvollständig erfasst, woraus erhöhte Substitutionsfaktoren resultieren. Dazu zählt etwa die Bestandsbegründung (unter Umständen mit Räumung und Bodenbearbeitung), Bestandspflege, Ernte und Holzverarbeitung, deren Kette sich sogar über Kontinente hinweg erstrecken kann (Camia et al. 2021, Hudiburg et al. 2019, Leturcq 2020). Diese entsprechend zu erheben und zu bilanzierenden Änderungen der Senkenleistung auf der Waldfläche wird in den meisten Treibhausgasbilanzen nicht berücksichtigt (siehe Abschnitt 3).

#### 5 Holz als CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequelle?

Im Jahr 2019 wurden in der EU-28 circa 19 % des Brutto-Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien gedeckt (EU 2020 b). Daran hat holzbasierte Bioenergie mit 60 % den mit Abstand größten Anteil (EU 2021 c). Für Deutschland liegen die Zahlen in ähnlicher Dimension: Im Jahr 2020 stammten rund 19 % des deutschen Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien, daran hatte Biomasse einen Anteil von 52 %. An diesem Anteil wiederum nahm Holz, das überwiegend für die Wärmeerzeugung eingesetzt wird, einen Anteil von 65 % ein (UBA 2021 a).

Die europäische und auch die deutsche „Energiewende“ setzt also bisher auf den wohl ältesten Energieträger der Kulturge-schichte. Das erklärt, warum in Deutschland



Bild: Rainer Luick (2020)

**Abb. 9:** Die Gewinnung von Feuerholz aus Privatwald wird über die offiziellen Statistiken nicht erfasst und hat erhebliche, aber nicht bilanzierte Anteile am Gesamtholzaufkommen. Auch die Brennholzmengen, die über sogenannte „Reis schläge“ aus staatlichen, kommunalen und Großprivat-Wäldern stammen, liegen deutlich über den pauschal erfassten Mengen. Diese „Mehrnutzung“ ist verständlicherweise das eigentliche wirtschaftliche Interesse der Selbstwerber.

vom jährlichen Holzaufkommen gut die Hälfte energetisch genutzt wird. Das Holzaufkommen umfasst alle Herkünfte, also Holzernte, Durchforstungsholz, Waldrestholz, Altholz, Industrierestholz, Landschaftspflegeholz und weitere Fraktionen.

Nach Analysen von Jochem et al. (2020 und 2021) werden allerdings rund 40 % des Brennholzeinschlags nicht erfasst und fehlen daher in vielen Bilanzen; dazu gehören auch die privaten Einschläge (Abb. 9). So erklären sich teilweise divergierende Zahlen der energetischen Holzverwertung entsprechend ihres Aufkommens und ihrer Pfadzuordnung. Nach Daten des Rohstoffmonitorings Holz, das von der Verwendungsseite gesehen die Mengenflüsse bilanziert, betrug im Jahr

2016 die energetische Holznutzung rund 60 Mio. m<sup>3</sup>. Diese Energieholzmenge verteilte sich auf die energetischen Verwendungen wie folgt (Döring et al. 2018a, b, Mantau et al. 2018):

- ▶ Kleinf Feuerungen: FWL <1 MW in 2016: 8,2 Mio. m<sup>3</sup>; Waldholzanteil 1,3 Mio. m<sup>3</sup>;
- ▶ Großfeuerungen: FWL ≥1 MW in 2016: 23,8 Mio. m<sup>3</sup>; Waldholzanteil 1,0 Mio. m<sup>3</sup>;
- ▶ private Haushalte: 28,3 Mio. m<sup>3</sup>; Waldholzanteil 18,6 Mio. m<sup>3</sup> (vor allem Scheitholz).

Aus forstwirtschaftlichen Kreisen der USA werden mit unterschiedlicher Autorenschaft seit mehreren Jahren im Inhalt identische Positionspapiere „führender US-Wissenschaftler im Sektor Holznutzung“ veröffentlicht, die sich wechselnd an neue Regierungen in den

USA, in Europa und an die EU-Organe richten (siehe BIOMASS101 2019, Hudson 2021, NAUFRP 2019, WCRC 2021). Dabei geht es insbesondere um Lobbying für eine verstärkte thermische Nutzung von Holz, versteckt in einer „wissenschaftlichen Beweisführung“ für die angeblich herausragend positiven klimabilanziellen Effekte energetischer Holznutzung, die im Wesentlichen auf der Arbeit von Miner et al. (2014) basieren. Diese Studie nimmt für sich in Anspruch, dass sie von den führenden Experten zur Thematik des Wald-Kohlenstoff-Komplexes erstellt wurde (siehe IEA Bioenergy 2019). Die zentralen Aussagen, die sogenannten „Fundamentals“, sind, dass

- (1) die energetische Nutzung von Holz die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich senken könne,
- (2) die Zunahme energetischer Waldholznutzungen zu einer Zunahme der Waldflächen führe und damit zu einer weiteren Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz, und
- (3) die kurzfristig höheren biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der energetischen Nutzung von Waldholz unbedenklich seien, da sie durch die Substitution fossiler Energieträger und der so eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen bereits in kurzer Zeit mehr als ausgeglichen würden.

Wern et al. (2021) plädieren ebenfalls nachdrücklich dafür, dass Energie aus Holz ein entscheidender Faktor für die Gestaltung der Energiewende sein sollte. Basis ihrer Bewertung ist, dass (1) die wichtigsten wissen-

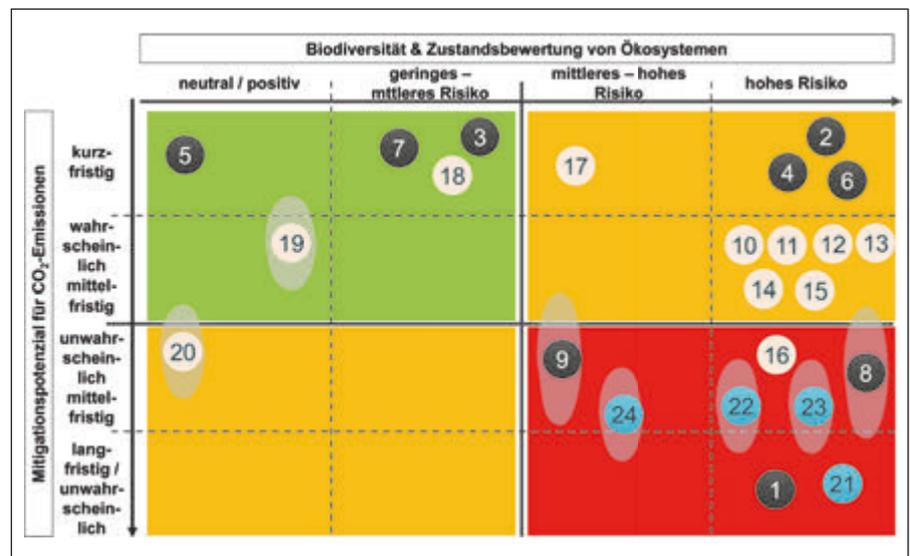
**Tab. 1:** Qualitative Evaluierung der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion verschiedener energetischer Nutzungspfade von Holz unterschiedlicher Herkunft im Vergleich mit zwei fossilen Energieressourcen (Steinkohle und Erdgas) für drei Perioden (Agostini et al. 2014).

Biomasse	Effizienz von CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktionen					
	kurzfristig (10 Jahre)		mittelfristig (50 Jahre)		langfristig (Jahrhunderte)	
	Kohle	Erdgas	Kohle	Erdgas	Kohle	Erdgas
Vollbaumnutzung für Energie aus temperaten Wäldern	---	---	+/-	-	++	+
Vollbaumnutzung für Energie aus borealen Wäldern	---	---	-	--	+	+
Ernterückstände*	+/-	+/-	+	+	++	++
Durchforstung*	+/-	+/-	+	+	++	++
Landschaftspflegematerial*	+/-	+/-	+	+	++	++
Kalamitätennutzung*	+/-	+/-	+	+	++	++
Aufforstungen auf landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorten (ohne Berücksichtigung von evtl. ILUC-Effekten)	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Kurzumtriebsplantagen	-	-	++	+	+++	+++
Altholz, Sägeabfälle	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+/-	Treibhausgasemissionen (THG) von energetischer Biomassenutzung und fossilen Energien sind im Prinzip vergleichbar; die Vorzüglichkeit ist pfadabhängig.					
-/--/---	Die thermische Biomassenutzung emittiert mehr CO <sub>2</sub> -Äquivalente als das Referenzsystem für fossile Energieträger.					
+///+++	Die thermische Biomassenutzung emittiert weniger CO <sub>2</sub> -Äquivalente als das Referenzsystem für fossile Energieträger.					
*	Die Vorteile oder Nachteile der thermischen Nutzung von Holz aus Ernterückständen, Durchforstung und Holz aus Kalamitätennutzung sind von eventuell vorhandenen alternativen Nutzungspfaden und den Zersetzungsraten abhängig.					

schaftlichen Szenarien dies unterstützen würden und (2) mit Energie aus Holz und den flexiblen Einsatzmöglichkeiten, wie zum Beispiel für die Bereitstellung von Hochtemperatur-Prozessenergie, Klimaschutzziele schnell und mit geringen Kosten erreicht werden können. Nach Wern et al. (2021) hat Holz einschließlich Totholz, das im Wald verbleibt, aber alternativ als Substitut für Öl, Kohle oder Gas genutzt werden könnte, dagegen „keinen gesellschaftlichen Nutzen“.

Zu gegensätzlichen Bewertungen kommen Studien des Joint Research Centre der EU (Agostini et al. 2014, Camia et al. 2021) und des European Academies Science Advisory Council (EASAC 2017, 2018), des Natural Resources Defense Council (NRDC 2015) sowie Norton et al. (2019) und Kun et al. (2020). In diesen Studien wird festgestellt, dass die thermische Verwertung von forstlicher Biomasse über einen Horizont von wenigen Jahrzehnten deutlich mehr CO<sub>2</sub> emittiert als fossile Energieträger und je nach Herkunft schon bei seiner Bereitstellung eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz aufweisen kann. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Bäume direkt als Feuerholz eingeschlagen werden oder wenn es sinnvolle stoffliche Alternativen gibt. ILUC-Effekte (*indirect land use changes*) sind dabei noch nicht berücksichtigt (siehe dazu auch Tab. 1 und Abb. 10). Es bedarf daher einer spezifischen Betrachtung – so stellt sich beispielsweise bei Kurzumtriebsplantagen (Tab. 1 und Abb. 11) erst mit einem Zeithorizont von 50 Jahren eine effiziente CO<sub>2</sub>-Reduktion ein.

Eine ebenfalls sehr kritische Evaluation der Substitution fossiler Energieträger und den zugeordneten Emissionen durch Holzenergienutzung und ihren bilanziellen Wirkungen für den Zeitraum bis 2050 wird von Searchinger et al. (2018) vertreten. In dieser Studie wurden auch Holzverluste und thermodynamische Effizienzunterschiede bei energetischer Holznutzung gegenüber Heizöl oder Erdgas berücksichtigt. Die Gesamtbilanz ist ernüchternd, denn die thermische Verwertung von Holz weist um den Faktor 2–3 höhere THG-Emissionen auf als die fossile Referenz. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Hennenberg et al. (2019) bei der Bewertung unterschiedlicher Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien (siehe auch Abschnitt 4). Wenn die Veränderung der Senkenleistung auf der Waldfläche, die durch die Holzentnahme bedingt ist, in Ökobilanzen einbezogen wird, kann die Nutzung von Holzenergie gegenüber fossilen Brennstoffen



	ID	Pfadbeschreibung
Beseitigung von Holzresten	1	komplette flächenhafte Räumung inkl. Stubben
	2	Räumung von Schlagabraum (inkl. Feinreisig, Laub und Nadeln) über dem standortsverträglichen Grenzwert
	3	Räumung von Schlagabraum (inkl. Feinreisig, Laub und Nadeln) unter dem standortsverträglichen Grenzwert
	4	Räumung von Schlagabraum (inkl. Feinreisig und Nadeln) über dem standortsverträglichen Grenzwert
	5	Räumung von Schlagabraum (inkl. Feinreisig und Nadeln) unter dem standortsverträglichen Grenzwert
	6	Räumung von Schlagabraum (inkl. Feinreisig und Laub) über dem standortsverträglichen Grenzwert
	7	Räumung von Schlagabraum (inkl. Feinreisig und Nadeln) unter dem standortsverträglichen Grenzwert
	8	Stubbenräumung über dem standortsverträglichen Grenzwert
	9	Stubbenräumung unter dem standortsverträglichen Grenzwert
Aufforstung	10	Aufforstung von semi-natürlichem Grünland mit forstlichen Monokulturen
	11	Aufforstung von semi-natürlichem Grünland mit forstlichen Mischkulturen
	12	Aufforstung von semi-natürlichem Grünland mit anderen Forstkulturen
	13	Aufforstung von semi-natürlichen Heiden und anderen Extensivkulturen mit forstlichen Monokulturen
	14	Aufforstung von semi-natürlichen Heiden und anderen Extensivkulturen mit forstlichen Mischkulturen
	15	Aufforstung von semi-natürlichen Heiden und anderen Extensivkulturen
	16	natürliche Wiederbewaldung auf semi-natürlichen Heiden und anderen Extensivkulturen
	17	Aufforstung von Agrarflächen mit Plantagen in Monokultur
	18	Aufforstung von Agrarflächen mit Plantagen in Mischkultur
	19	Aufforstung von Agrarflächen mit anderen Forstpflanzen bei geringer Nutzungsintensität
	20	natürliche Wiederbewaldung (Sukzession) mit standorttypischen Baumarten auf Agrarflächen
Umwandlung in Plantagen	21	Überführung von Urwald und Naturwald in Forstplantagen
	22	Überführung von Wäldern mit standorttypischen Baumarten aus Naturverjüngung in forstliche Monokulturen
	23	Überführung von Wäldern mit standorttypischen Baumarten aus Naturverjüngung in forstlichen Mischkulturen
	24	Überführung von natürlich wiederbewaldeten Wäldern in andere extensiv bewirtschaftete Forstkulturen

Grafik: Rainer Luick

zu einer THG-Minderung um 20 % beitragen, aber auch zusätzlich THG-Emissionen von 80 % und mehr verursachen. Auch Bolte et al. (2021) betonen die große Bedeutung der Waldsenke und weisen darauf hin, dass ein Vorratsabbau, wie zum Beispiel bei intensiver energetischer Nutzung von Holz, dem Klima schadet, da die mittel- und langfristige Minderung der CO<sub>2</sub>-Senke im Wald durch

die Substitutionseffekte nicht mehr kompensiert werden kann.

Diese deutlich negativen Bewertungen stehen in klarem Widerspruch zu den Voreinstellwerten der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (Renewable Energy Directive; EU RED II 2018/2001), wonach Holzenergie aus der direkten Ernte mit einer THG-Minderung von über 80 % gegenüber fossilen Energieträ-



Bild: Rainer Luick (2019)

**Abb. 11:** Noch vor wenigen Jahren galt in Deutschland die Anlage von Kurzumtriebsplantagen (KUPs) zur Produktion von energetisch nutzbarer Biomasse als wichtiges Ziel zur Umsetzung der Energiewende und zur Schließung einer aus forstwirtschaftlichen Kreisen prognostizierten „Holzlücke“ in Höhe von 30 Mio. m<sup>3</sup> bis zum Jahr 2020. Verschiedene Studien ermittelten Potenzialflächen für die Anlage von KUPs in einer Dimension von 2–4 Mio. ha. Der Umsetzungsstand ist überschaubar: Nach einer kurzzeitigen Euphorie sind es derzeit weniger als 6.000 ha, in der Tendenz weiter abnehmend.

gern in Bilanzen eingeht. Der Hauptgrund der abweichenden Bewertung liegt darin, dass in der THG-Bilanz der RED II die Veränderung der Senkenleistung der Waldfläche nicht berücksichtigt wird. Hinzu kommt, dass schlechte Holzbrennstoff-Qualitäten, ineffiziente Öfen, die Art und Weise der Feuerung und Wartung und schlechte Bausubstanz dazu führen, dass die energetische Effizienz von Holz in den Bereichen Kleinf Feuerungen und private Haushalte, den Einzelraum-Feuerungsanlagen, höchst problematisch ist (UBA 2021 b). In der Gesamtbewertung berücksichtigt werden müssen auch die massiven Feinstaubbelastungen bei schlechter Verbrennung. Im Jahr 2017 waren in Deutschland Holzfeuerungsanlagen für knapp 20 % der Feinstaubemissionen verantwortlich. Das ist höher als die Feinstaubemissionen aller Motoren von Pkws und Lkws in Deutschland zusammen (FNR 2020, Schmidt 2018, UBA 2021 d).

Beide Aspekte, die schlechte Effizienz und die hohen Emissionen von Luftschadstoffen, waren auch Anlass für Reglementierungen durch den Gesetzgeber. Allein von 2020 bis 2024 müssen circa vier von etwa 11,2 Mio. alter Holz- und Kohleöfen entweder abgebaut oder ausgetauscht und nachgerüstet werden (BlmSchG & BlmSchV 2010).

Die umfassende Studie des Umweltbundesamtes (UBA) zu Biomassekaskaden (siehe Fehrenbach et al. 2017) kommt ebenfalls zu der Wertung, dass die Verschiebung von di-

rekt energetisch genutztem Frischholz hin zu verstärkter stofflicher Nutzung zu deutlichen Vorteilen in allen untersuchten Wirkungskategorien führen würde. Besonders deutlich profitiert der Faktor der CO<sub>2</sub>-Mitigationseffekte. Berücksichtigt werden muss auch, dass bei einer zeitlichen Verschiebung um 20–30 Jahre die Potenzialmenge an energetisch nutzbarem Holz am Ende sogar kaum geringer wäre. Da zu diesem Zeitpunkt aber die Nutzung über industrielle und hocheffiziente, weniger umweltbelastende Anlagen erfolgen dürfte und nicht mehr über ineffiziente Hausanlagen, würde sich sogar eine erhebliche Reduktionsminderung an Luftschadstoff-Emissionen ergeben. Allerdings wird auch in der UBA-Studie die Veränderung der Senkenleistung der Waldfläche durch die Holzernte nicht betrachtet.

## 6 Klimapolitische Ziele und die Rolle von Holz

Wichtige Strategieinstrumente der EU und ihrer Mitgliedsstaaten zum Klimaschutz und zur Erfüllung des Pariser Klimavertrages von 2015 sind die RED II (Renewable Energy Directive, Erneuerbare Energien-Richtlinie; EU RED II, 2018), die LULUCF-Verordnung (Land Use, Land Use Change and Forestry Sector; Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft; EU LULUCF 2018) und als übergeordnetes Regelwerk das europäische

Klimagesetz (EU 2021a) (s. auch Box 1). Diese gesetzgeberischen Vorgaben nehmen in komplizierten Wechselwirkungen auch Einfluss auf die Wälder in Deutschland.

Als wichtiges Gestaltungselement des Green-Deal-Konzeptes (EU 2019, siehe auch Box 1) hat im Juli 2021 die EU-Kommission den weiteren EU-Organen unter dem Titel „Fit for 55“ ein Maßnahmenpaket vorgelegt, das geeignet sein soll, die Bereiche Klima, Energie, Landnutzung, Verkehr und Steuern so zu gestalten, dass die Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber dem Stand von 1990 gesenkt werden können (EU 2021 b). Worum geht es im Detail?

(1) Sieben bestehende und dem Klimaschutz dienliche Regelwerke sollen verschärft werden. Im Kontext dieses Aufsatzes sind besonders Änderungen der RED und der LULUCF-Verordnung von Bedeutung (siehe auch Box 1).

(2) Zudem soll es vier neue Regel- und Maßnahmenwerke geben. Für die in diesem Beitrag behandelte Thematik wichtig sind:

- ▶ das CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichssystem CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism), das die Problematik des sogenannten „carbon leakage“ umgehen soll, indem auf Produkte, die nicht in der EU unter geringeren Standards hergestellt wurden, eine Abgabe erhoben werden soll;
- ▶ die Europäische Waldstrategie (EU 2021d),
- ▶ die Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (sowohl basierend auf Biomasse als auch auf dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft).

Während aus den Regierungen und Wirtschaftsverbänden der EU-Staaten breite Zustimmung und Unterstützung des Fit-for-55-Paketes kommt, äußern vor allem die Umweltverbände Kritik. Denn die Zielerreichung der Netto-Reduktion der Treibhausgase um 55 % bis zum Jahr 2030 basiere zu einem hohen Anteil auf der bilanziellen Anrechnung deutlich erhöhter Klimasenken von Wäldern und Mooren, die zwar wünschenswert, aber mit den existierenden Instrumenten und Normen nicht erreichbar sind. Allein dadurch sollen 310 Milliarden t CO<sub>2</sub>-Äquivalente kompensiert werden. Besonders kritisch wird die verstärkte Nutzung von Biomasse gesehen, während vor allem die Sektoren Industrie und Verkehr bei ihren Beiträgen deutlich geschont werden (CLEW 2021, EEB 2021, IEEP 2021).

In Deutschland werden mit der Novelle des deutschen Klimaschutzgesetzes (siehe

### Box 1: Green Deal, Klimaschutzgesetze, RED II und RED III sowie die LULUCF-Verordnung

Der Europäische Green Deal ist ein von der EU-Kommission im Dezember 2019 vorgestelltes Konzept, die Netto-Treibhausgasemissionen der EU-Staaten bis zum Jahr 2050 auf null zurückzuführen, eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren und wichtige Biodiversitätsziele zu erreichen (EU 2019). Zu den wichtigsten Handlungsfeldern des Green Deal gehören der Klima- und der Agrar- und Forstsektor. Im Juni 2021 gab es zwischen den Organen der EU eine Einigung über neue Eckwerte im EU-Klimagesetz (EU 2020 a, 2021 a).

Die neuen Zielsetzungen der EU zur Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen (*greenhouse gas emissions* = GHG) sind jetzt –55 % bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Referenzwert 1990. Das zentrale Umsetzungsinstrument der EU zur Erreichung der Klimaziele ist die Erneuerbare-Energien-Richtlinie in ihrer zweiten Novelle (Renewable Energy Directive, RED II, EC 2018).

Ausgehend von einem derzeitigen Anteil von 19 % erneuerbarer Energien in der EU (Anteil des Bruttoendverbrauchs) muss nach der (noch gültigen) RED II die EU bis 2030 mindestens 32 % ihrer Energie aus erneuerbaren Quellen gewinnen. Dieser Wert wurde im Juni 2021 mit dem neuen EU-Klimagesetz auf 38–40 % angehoben, was eine Verdopplung des aktuellen Anteils bedeutet (EU 2021 a, b).

Ein Schlüsselsektor für die Dekarbonisierung des Energiesystems ist der bisher vom energetischen Holzeinsatz dominierte Wärmesektor. Vor dem Hintergrund der neu definierten Klimaschutzziele der EU muss auch dieser Sektor in der RED an die deutlich höheren Ziele angepasst werden. Es ist

zu erwarten, dass die Nachfrage nach holzartiger Biomasse durch die Wirkungen der neuen RED noch weiter steigen wird (unter anderem Böttcher et al. 2020 b).

Wichtig ist weiterhin der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF), der erhebliche Mitigationspotenziale aufweist und daher wichtige Beiträge zur Erfüllung des Pariser Klimaabkommens leisten kann. Da der Sektor aktiv und vergleichsweise rasch Veränderungen in den CO<sub>2</sub>-Flüssen bewirken kann, ist er eine eigenständige Säule der Klimaschutzpolitik der EU. In der EU-Verordnung 2018/841 (EU LULUCF 2018, EP & EC 2018) wurden verbindliche länderspezifische Anrechnungs- und Verbuchungsvorschriften für Emissionen und deren Reduktion im LULUCF-Sektor festgelegt, mit der Verpflichtung, regelmäßig der Kommission zu berichten. So muss jeder EU-Mitgliedstaat sicherstellen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft ausgeglichen werden, indem im Zeitraum 2021–2030 eine mindestens gleich große Menge CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre gebunden wird. Dies wird in Deutschland durch das Bundes-Klimaschutzgesetz umgesetzt (Bundesregierung 2021 a). Mit den Vorgaben des novellierten Bundes-Klimaschutzgesetzes und des EU-Klimagesetzes wurden die Zielvorgaben für CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungspflichten für Deutschland angehoben (von 55 % auf mindestens 65 % gegenüber 1990). Dies erforderte auch entsprechende Anpassungen im LULUCF-Sektor. Im Mittel soll dieser bis zum Jahr 2030 eine jährliche THG-Senkenleistung von 25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten

beitragen und soll auf mindestens 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr bis zum Jahr 2045 gesteigert werden, um die Emissionen anderer Sektoren auszugleichen, so etwa für die Wärmeerzeugung und die Mobilität. Der LULUCF-Sektor soll damit nicht nur klimaneutral sein, sondern es wird eine erhebliche Senkenleistung erwartet.

Die Bilanzierungen der LULUCF-Verordnung bauen auf bestehenden Anrechnungs- und Verbuchungsvorschriften auf und gelten zunächst für den Zeitraum 2021–2030. Folgende wichtige Einzelziele wurden vereinbart:

- (1) Es gelten länderspezifische Bilanzierungsparameter und Reduktionsziele.
- (2) Der LULUCF-Sektor eines Landes darf insgesamt keine Nettoemissionen erzeugen.
- (3) Dieser soll langfristig eine signifikante Senke darstellen.

Jeder Mitgliedstaat erstellt und führt Konten, welche die Emissionen und Senken korrekt widerspiegeln, und er gewährleistet, dass die Konten und sonstigen Daten, die gemäß der LULUCF-Verordnung mitgeteilt werden, genau, vollständig, kohärent, vergleichbar und transparent sind. Für den Forstsektor sieht die LULUCF-Verordnung vor, dass als Grundlage für die Bilanzierung von jedem EU-Staat ein „National Forestry Accounting Plan“ vorzulegen ist. Vereinfacht dargestellt muss in Deutschland der Mittelwert der berichteten Waldsenke für die Bilanzierungsperiode 2021–2030 mit einem Referenzwert, dem Forest Reference Level, von 34,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten verglichen werden (EU 2021f).

Bunderegierung 2021 a) erstmals jährliche Zielmarken für die Senkenleistung des LULUCF-Sektors bis 2045 verbindlich vorgegeben (siehe auch Box 1): Das sind –25 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2030, –35 Mio. t CO<sub>2</sub> 2040 und –40 Mio. t CO<sub>2</sub> in 2045. Zum Vergleich: Im Jahr 2018 lag die Senkenleistung des LULUCF-Sektors bei –26,9 Mio. t CO<sub>2</sub>; im Jahr 2017 war der Wert mit –26,6 Mio. t CO<sub>2</sub> nahezu identisch (UBA 2020a).

Das Bundes-Klimaschutzgesetz sieht zudem vor, dass die Bundesregierung Rechtsverordnungen erlassen darf, welche die Anrechenbarkeit von natürlichen Störungen regelt, die vor allem den Wald betreffen

(Stürme, Trockenheit, Kalamitäten). Je nach Ausgestaltung der ausstehenden Rechtsverordnung könnte so die Zielerreichung erleichtert werden. Derartige Optionen sollten nach unserer Auffassung aber nicht als Argument dienen, die Zielwerte zu reduzieren, da nicht vorhersagbar ist, wie häufig vergleichbare Ereignisse in Zukunft auftreten werden.

Nach Sektoren getrennt speicherten Wald und Holzprodukte –70,2 Mio. t CO<sub>2</sub>, während Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen 43,3 Mio. t CO<sub>2</sub> emittierten (UBA 2020 a und CRF-Tabellen). Die Ziele des Klimaschutzgesetzes für den LULUCF-Sektor

können sicherlich nur zu einem kleinen Teil mit Emissionsminderungen auf landwirtschaftlichen Flächen erreicht werden. Ein deutlicher Anteil muss daher aus einem Erhalt der aktuellen Senkenleistung der Waldflächen kommen, entweder durch einen weiteren Vorratsaufbau oder durch Aufforstung. Eine intensivere Nutzung von Wäldern mit einem Abbau der Vorräte ist in der Logik des Klimaschutzgesetzes mit einer Reduktion der Senkenleistung verbunden und daher nicht zulässig (Hennenberg et al. 2021). Dies steht aber im Widerspruch

- (1) zur realen Situation aufgrund von klimawandelbedingten (natürlichen) Störungen



Bild: Rainer Luick (2021)

**Abb. 12:** Auf Waldstandorten mit kompletter Räumung inklusive Stockrodung und Bearbeitung mit einem Forstmulcher zur Vorbereitung einer Pflanzung kann aufgrund des Nährstoffentzugs Nährstoffmangel bei der nächsten Waldgeneration auftreten. Zudem werden in kurzer Zeit große Mengen an  $\text{CO}_2$  emittiert, die erst nach vielen Jahrzehnten wieder durch die pflanzliche Fixierung kompensiert sind. Das Bild zeigt eine Räumung eines abgestorbenen Fichtenbestandes im südwestlichen Baden-Württemberg im Landkreis Konstanz; geplant ist eine Wiederaufforstung mit Fichten und Douglasien.

in den Wäldern Deutschlands, wie in den Jahren 2018–2020, und

(2) anderen Sektorzielen, wie den geplanten Änderungen der RED mit einem vorgesehenen erheblichen Ausbau der erneuerbaren Energien, der im Wärmesektor vermutlich zu einem sehr großen Teil durch steigende Holzenergienutzung bereitgestellt werden wird.

Im Hinblick auf den Erhalt der Senkenleistung der Waldfläche stellt der Wissenschaftliche Beirat Waldpolitik (WBW) beim BMEL heraus (WBW 2021b), dass

(1) in stabilen Wäldern mit den Klimawandel tolerierenden Baumarten und -mischungen auch in älteren Lebensphasen weiterhin deutliche Biomassevorräte aufgebaut werden können,

(2) die Wahrscheinlichkeit, dass es in Folge von Störungen in weniger klimaangepassten Wäldern zu einer erneuten Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs kommt, sehr hoch ist.

Auffallend ist weiterhin, dass sowohl der WBW als auch der aktuelle Treibhausgasemissions-Projektionsbericht der Bundesregierung (Bundesregierung 2021b) darauf hinweisen, dass die Projektionen zum Wald mit großen Unsicherheiten behaftet sind (siehe auch Hennenberg et al. 2021 und Abschnitt 3). Die WBW-Studie (WBW 2021) gibt gleichzeitig sinnvolle Empfehlungen, wie weniger klimaangepasste Wälder in klimaresiliente Wälder überführt werden könnten.

Wenn mögliche und effektive Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor kon-

sequent umgesetzt werden, erscheint es nach Hennenberg et al. (2021) möglich, die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes für den LULUCF-Sektor zu erreichen. Dazu zählen Maßnahmen wie die Vernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden, extensive Grünlandnutzung mit verstärktem Humusaufbau, Maßnahmen zur Kohlenstoffanreicherung von mineralischen Ackerböden durch sogenanntes Carbon Farming (EU 2021e) und ein Vorratsaufbau in ökologisch stabilen Wäldern. Dies setzt aber die Annahme von nur mittleren Schäden durch natürliche Störungen auf der Waldfläche voraus (vergleiche Abb. 6). Nehmen klimawandelbedingt natürliche Störungen in Frequenz und Intensität jedoch weiter zu, wird die Senkenleistung der Waldfläche stärker abnehmen und die Zielerreichung nicht möglich sein.

Sehr problematisch ist die zunehmende Verbrennung von Holz in thermischen Großkraftwerken zur Stromgewinnung, das sogenannte Co-Firing, zu bewerten. Dieses ist unter den RED-II-Regelwerken bei Einhaltung von definierten Effizienzstandards der Kraftwerke grundsätzlich erlaubt. Wichtige Herkunftsregionen der Pellets und Hackschnitzel sind derzeit die Südstaaten der USA; immer größere Mengen kommen aber auch aus Kanada, baltischen Staaten und aus Russland. Die dort vorherrschende Bewirtschaftung sind großflächige Kahlschläge und Vollbaumnutzung, vielfach sogar mit Stubbennutzung (siehe auch Box 2, Abb. 12). Damit sind große

Nährstoffausträge verbunden, die auf Standorten mit schwacher Nachlieferung die nächste Waldgeneration gefährden. Erschwerend kommt hinzu, dass auf stockgerodeten Kahlschlägen mit speziellen Mulchmaschinen der verbliebene Schlagabraum gehäckselt wird, was durch die rasche Mineralisierung weitere erhebliche  $\text{CO}_2$ -Emissionen verursacht. Zahlreiche Studien belegen die extrem negativen Wirkungen dieser Art von Forstwirtschaft auf Umwelt und Natur (unter anderem Berndes et al. 2016, EPN 2021, Kuresoo et al. 2020, Milford & Westphal 2021, NRDC 2019, Pearce 2015, SELC 2018).

Warum die thermische Verwertung von Holz in der Weise, wie sie aktuell überwiegend praktiziert wird, aus Sicht der globalen THG-Bilanz in Summe negativ zu beurteilen ist, wird aus den folgenden Tatsachen deutlich:

(1) Die weltweite Entwicklung der Gesamtwaldfläche und noch mehr der Holzvorräte ist rückläufig. Allein im Zeitraum 2000–2017 hat sich die globale Waldfläche im Saldo um 3,35 Mio.  $\text{km}^2$  reduziert, das entspricht 8,4 % der Gesamtwaldfläche. Die Nutzung der Holzvorräte der verbliebenen Primärwälder ist jedoch unverändert hoch, sodass der globale Holzbiomassevorrat fortschreitend abnimmt; die größten Flächenverluste finden gegenwärtig in den tropischen und borealen Primärwäldern statt (FAO & UNEP 2020, UN 2021, WD 2019, WRI 2020). Auf die massiven Verluste der letzten Urwälder in Europa, insbesondere in den Karpaten, die auch durch die Belieferung deutscher Märkte mitverantwortlich sind, haben wir in Teil 1 dieses Beitrags hingewiesen (siehe Luick et al. 2021).

(2) Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung und vielerorts einer Förderung zusätzlicher Holznutzung wird sich die Nachfrage tendenziell weiter verstärken (Bringezu et al. 2021). Das globale Rohholzaufkommen ist in den vergangenen 20 Jahren jährlich um circa 0,85 % gestiegen und dürfte nach Schätzungen, wenn es keine politische oder durch Katastrophen bedingte Korrekturen gibt, zwischen 2020 und 2050 von heute 4 auf 6 Mrd.  $\text{m}^3$  pro Jahr ansteigen (Barua et al. 2014, FAO 2021).

(3) Verluste durch Waldbrände nehmen infolge des Klimawandels sowie durch verstärkte Waldnutzung in Verbindung mit illegalen Brandrodungen zu. Im Zeitraum 2017–2020 sind weltweit Wälder auf circa 50 Mio. ha Fläche abgebrannt (Statista 2020). Die dramatischen Waldverluste im Amazonas-becken werten Lovejoy & Nobre

## Box 2: Die thermische Verwertung von Holz

In den EU-Ländern ist in den zurückliegenden Jahren ein deutlicher Anstieg der energetischen Holznutzung festzustellen. Gerade in Deutschland wurde und wird diese Entwicklung durch politische Maßnahmen wie durch das Marktanreizprogramm und das EEG gefördert. Im Kontext des Green Deal und der neuen EU-Klimaziele (siehe auch Box 1) ist ein weiterer Anstieg der Holzenergienutzung wahrscheinlich. Die EU-Kommission hat angekündigt, möglichst rasch eine Reihe von Gesetzen zur Anpassung der bestehenden EU-Klima- und -Energiegesetzgebung wie der RED zu verabschieden; möglicherweise wird dies bereits vollständig oder in Teilen zum Zeitpunkt der Publikation dieses Aufsatzes der Fall sein.

In Deutschland betrug im Jahr 2019 der Investitionsanteil von Anlagen zur Erzeugung von „erneuerbarer“ Wärme über Biomasseverbrennung (das sind im Wesentlichen Holzheizanlagen) bereits 40% der Gesamtinvestitionen (FNR 2020). Auch eine Mitverbrennung von Holz in Kohlekraftwerken oder eine vollständige Umstellung der Anlagen auf Holz kann zur Zielerreichung schon jetzt angerechnet werden. Dieses Anreizsystem halten wir aus den dargelegten Gründen für falsch.

Welche Entwicklungen mit dieser Bilanzierungsoption bereits ausgelöst worden sind, illustrieren Beispiele aus Dänemark und Großbritannien. Im Kraftwerk Avedøre bei Kopenhagen (Abb. 13) wird im Kessel 2 mit einer Leistung von 550 MW ausschließlich Biomasse (Holzpellets) als Energiequelle verbrannt. Auf der Homepage wird darauf verwiesen, es würde sich um eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energiegewinnung handeln und die Umstellung des Kraftwerks auf Biomasse sei eines der wichtigsten Instrumente, damit Kopenhagen die CO<sub>2</sub>-Neutralität bis 2025 erreichen kann (Ørsted 2016). Ein weiteres holzbefeuertes Großkraftwerk steht ebenfalls im Großraum Kopenhagen auf der Insel Amagar. Dort werden zwei Kessel mit zusammen 630 MW mit Holzpellets und Holz hackschnitzeln befeuert. Bei

Aarhus auf Jütland steht das Großkraftwerk Studstrup mit einer Leistung von 700 MW. Block 3 mit einer Leistung von 350 MW wird ausschließlich mit Holzbiomasse befeuert. Das derzeit größte mit Biomasse (Holz) befeuerte Kraftwerk in Europa (Drax Powerplant) steht in North Yorkshire in Großbritannien. In vier Blöcken mit zusammen 2,6 GW wird ausschließlich Biomasse (Holzpellets) mit einem jährlichen Bedarf von circa 7 Mio. t verfeuert. Allein für dieses Kraftwerk lässt sich Großbritannien im Sinne der Zielerreichung des Klimavertrages von Paris eine Mitigationsleistung von jährlich circa 90 Mio. t CO<sub>2</sub> anrechnen. Hauptherkunftsgebiete der Holzpellets für die Kraftwerke in Dänemark und Großbritannien sind die Südstaaten der USA, Kanada, die baltischen Staaten und Russland. Weitere thermische Großkraftwerke auf der Basis von Holzbiomasse stehen in den Niederlanden und in Belgien. In vielen weiteren europäischen Kohlekraftwerken wird Holz mitverfeuert, um rechnerisch die CO<sub>2</sub>-Bilanzen zu verbessern.

Ein lesenswertes aktuelles Essay in der Zeitschrift *The New Yorker* (2021) enthüllt entlang einer Besucherführung durch das Kraftwerk Dax das Konstrukt der falschen Norm der Klimaneutralität von derartiger energetischer Holznutzung: „The Millions of tons of Carbon Emissions that don't officially exist“.

Im Zuge des Kohleausstiegs erwägen auch in Deutschland mehrere Betreiber von Kohlekraftwerken, ihre Kraftwerke auf Holzbiomasse umzurüsten. So plant das Onyx-Kohlekraftwerk Wilhelmshaven eine Umstellung auf Holzbiomasseverbrennung, unter anderem um Strom für die Wasserstoffherstellung zu liefern. Auch für das Onyx-Kraftwerk in Bremen-Farge gibt es Pläne, künftig Holz statt Kohle zu verbrennen. Allein das Kraftwerk in Wilhelmshaven hätte nach einer Umrüstung im Vollastbetrieb vermutlich einen Holzpelletbedarf von über 2 Mio. t pro Jahr (RobinWood 2021, *Weser-Kurier* 2020).

den kanadischen und US-amerikanischen Rocky Mountains, sind Wälder bereits großflächig von Waldschäden betroffen (unter anderem Negrón & Cain 2018, Walker et al. 2019, Welch 2020). Generell sind sinkende Vitalität und Produktivität sowie Schäden in Trockenjahren mit meist nur langsamer Erholung der Bestände die Folge, die insbesondere die produktiven Baumarten trifft. Dies wurde in Mitteleuropa in der extremen Trockenperiode 2018–2020 deutlich. Daher sind auch Aussagen zu weiterhin deutlich wachsenden Holzvorräten, wie in Deutschland auf Basis der Waldinventur 3 (BWI 3) abgeleitet, kritisch zu hinterfragen (BMEL 2018). Steigende Einschlüsse und negative Wirkungen des Klimawandels könnten vielmehr längerfristig zu sinkenden Holzvorräten führen. Die Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Speicher- und -Senkenfunktionen der Böden sind als weiterer Komplex noch nicht einmal modellhaft bilanziert.

Alle genannten Entwicklungen reduzieren die vorhandene Waldbiomasse und die C-Senkenleistung der Wälder.

## 7 Schlussfolgerungen

In unserem zweiteiligen Aufsatz plädieren wir dafür,

(1) den Schutz der wenigen verbliebenen Reste europäischer Urwälder und Naturwälder sicherzustellen;

(2) Prozessschutzflächen unter Beachtung ökologischer und naturschutzfachlicher Kriterien weiterhin auch in die deutschen Wirtschaftswälder zu integrieren;

(3) die positiven klimabilanziellen Funktionen von Wäldern zu erhalten und zu stärken und

(4) die aktuelle politische Steuerung der Holzverwertung zu revidieren und heimisches Holz verstärkt in Produkten zu nutzen, die mit einer effektiven CO<sub>2</sub>-Senkenleistung verbunden sind.

Beim Disput um den Wert von Ur- und Naturwäldern im Vergleich zu Wirtschaftswäldern für die Erreichung von Klimaschutzziele und den Biodiversitätsschutz geht es um mehr als eine Fehlinterpretation der Datenbasis, wie sie Schulze et al. (2020) unterlaufen ist (siehe den 1. Teil dieses Beitrags – Luick et al. 2021). Von zentraler Bedeutung ist die Wahl des Referenzsystems, gegen das die Biodiversität und die CO<sub>2</sub>-Senken- und Speicherfunktion des Waldes gemessen wird. Ist dies ein erst vor wenigen Jahren aus der Nutzung genomener ehemaliger Wirtschaftswald, sind naturgemäß noch keine nennenswerten

(2018) als Überschreitung eines globalen Kipppunktes des Erdklimasystems.

(4) Der Klimawandel setzt die Wälder einem wachsenden Trockenstress aus (Abb. 14); treibende Faktoren sind steigende

Temperaturen, erhöhte Verdunstungsbeanspruchung der Atmosphäre und regional sinkende Sommerniederschläge (unter anderem Allen et al. 2010, Schuldt et al. 2020, Walthert et al. 2021). In vielen Regionen, wie etwa in



Bild: Rainer Luick (2013)

13

**Abb. 13:** Das wichtigste Instrument auf dem Weg zur „Klimaneutralität“ in Dänemark ist die Nutzung von Holz als Energiequelle. Zahlreiche Kraftwerke zur Stromproduktion wurden in den vergangenen Jahren auf die Verbrennung von Holz umgerüstet und werden teilweise im Monobetrieb oder in Co-Firing mit Holzbiomasse betrieben. Das Holz stammt meist aus Großkahlhiebsen aus Ländern wie den Südstaaten der USA, Kanada, den baltischen Staaten und Russland. Im Bild das Kraftwerk Avedøre bei Kopenhagen, siehe auch Box 2.

**Abb. 14:** Klimawandelbedingter Trockenstress bewirkt das flächige Absterben von Wäldern wie in diesem Fichtenforst im Eggegebirge. Damit werden Annahmen zu sukzessive weiter wachsenden Holzvorräten in Wäldern zunehmend infrage gestellt.



Bild: Eckhard Jedlicke (2020)

14

Schutz der letzten europäischen Ur- und Naturwälder hinzuweisen.

Nach unserer Auffassung orientieren sich die politisch gesetzten waldbaulichen Bewirtschaftungsziele zu stark am Bedarf und der Nachfrage nach der Ressource Holz durch den Markt. Es ist nicht zielführend, diese

Schwerpunktsetzungen mit Erfordernissen des Klimaschutzes zu begründen, wie dies auch in der vor Kurzem vorgelegten Waldstrategie 2050 der Bundesregierung erfolgt (BMEL 2021 b). Die walddpolitische Programmatik setzt immer noch auf eine Erhöhung des Holzverbrauchs. Sie übersieht die teil-

Ökosystemleistungen zu erwarten, die an langfristige Walddynamik gebunden sind.

Vergleichende Untersuchungen unterschiedlicher Waldnutzungssysteme können für bestimmte Fragestellungen durchaus sinnvoll sein; sie liefern jedoch keine validen Aussagen (1) zum Effekt des Nutzungsverzichts auf die Biodiversität und (2) zur Höhe des Beitrags zur Erreichung der Klimaschutzziele. Besonders zweifelhaft sind derartige Vergleiche, wenn aus ihnen politische Entscheidungen zur künftigen Nutzungsintensität der Waldfläche abgeleitet werden.

Das Überleben der verbliebenen europäischen Urwälder und Naturwälder auf weniger als 3 % der Gesamtwaldfläche ist eng mit der Holznutzung in Europa verbunden, denn marktwirtschaftliche Opportunitäten und die politisch gewollte Förderung der Holznachfrage sind wesentliche Triebkräfte für die hohen Einschläge – auch in den verbliebenen europäischen Urwäldern und Naturwäldern. Das in den beiden Teilen dieses Aufsatzes referierte Wissen zur Biodiversität unterschiedlich genutzter Wälder und zu Klimaschutzwirkungen von Wäldern soll das Bemühen unterstützen, die walddpolitische Diskussion zu versachlichen und gleichzeitig auf den dringenden Handlungsbedarf zum

#### Fazit für die Praxis

- Die energetische Nutzung von Waldholz und die Nutzung von kurzlebigen Holzprodukten ist so, wie sie heute weithin praktiziert wird, oft ineffizient im Hinblick auf die Erreichung der THG-Minderungsziele und mit weiteren negativen Umweltwirkungen verbunden. Wenn die solcherart nutzungsbedingte Veränderung der Waldsenke in die THG-Bilanz einbezogen wird, führt die direkte Verbrennung von Waldholz gegenüber der fossilen Referenz nur zu geringen bis keinen THG-Minderungen.
- Restholz, holzartige Produktionsabfälle, Holz, das sich aus Qualitätsgründen nicht für stoffliche Verwertungen eignet, kann sinnvoll energetisch genutzt werden, wenn das in effizienten Anlagen geschieht, wie zum Beispiel in Nahwärmenetzen. Gleiches gilt für die Endnutzung von Holz nach einer nachhaltigen stofflichen Wertschöpfung. Allerdings sind die Potenziale in Deutschland begrenzt und regional auch schon ausgeschöpft.
- Die energetische Nutzung von Holz – vor allem der Import von Pellets und Hackenschnitzeln aus der Ganzbaumnutzung zur Stromproduktion – muss reguliert werden und darf nicht als treibhausgasmindernde Maßnahme in der THG-Bilanz anrechenbar sein.
- Holz, das in Form von lebenden Bäumen oder Totholz im Wald verbleibt, kann im Vergleich zur energetischen und ineffizienten stofflichen Verwertung einen mindestens ebenso hohen, oft sogar positiveren Beitrag zum Klimaschutz leisten. Voraussetzung sind klimastabile Waldbestände und deren Begründung.
- Der Anteil des eingeschlagenen Holzes, der in langlebige Produkte fließt und damit den Holzproduktspeicher vergrößert, sollte dringend erhöht werden. Hierzu tragen die Entwicklung innovativer Holzwerkstoffe aus Laubholz (insbesondere der Buche) und die Förderung von Einsatz und Vermarktung dieser Werkstoffe entscheidend bei.
- Den Wald als Schlüssel zur Bekämpfung des Klimawandels zu instrumentalisieren, wie dies von einigen Akteuren in Form einer „Wald-Bau-Pumpe“ von Kohlendioxid vorgeschlagen wird, halten wir angesichts des rasch steigenden globalen Holzbedarfs für unrealistisch und überwiegend schädlich, da dies unvermeidlich zu höheren Einschlägen in den verbliebenen Ur- und Naturwäldern führen wird.
- Das Cluster Forst und Holz und die nationale wie auch europäische Waldpolitik müssen zu der Erkenntnis kommen, dass Holz zwar ein nachwachsender Rohstoff, aber dennoch nur eine begrenzt verfügbare Ressource ist. Die mit dem Klimawandel zunehmende Dürre- und Hitzebelastung des Waldes stellt hohe Produktionsziele im deutschen Wald ohnehin infrage, weil sich gegenwärtig nicht nur Fichte, Kiefer, Weiß-Tanne und Buche, sondern auch hochproduktive Koniferen wie die Douglasie auf vielen Standorten als empfindlich erwiesen haben.

weise ungünstige Wirkung auf die Treibhausgasbilanz und verkennt, dass der Klimawandel den ehrgeizigen Produktionszielen im deutschen Wald bereits biologische Grenzen setzt. Wie bei anderen endlichen Ressourcen ist auch beim Holzverbrauch die Einsicht notwendig, dass angesichts des globalen Bevölkerungswachstums eine Reduktion des individuellen Holzverbrauchs in Deutschland wie auch weltweit unausweichlich ist. Je früher dahingehend politisches und gesellschaftliches Gegensteuern erfolgt, umso geringer werden die Schäden durch übernutzte Wälder und der Verlust an Biodiversität sein.

Gleichwertig zum Klimaschutz muss außerdem den bestehenden nationalen und internationalen Verpflichtungen zum Schutz der (Wald-)Biodiversität nachgekommen werden. Die globale Bedrohung der (Wald-)Biodiversität ist wie die Klimakatastrophe eine existenzielle Gefährdung des friedlichen Zusammenlebens. Waldökosysteme beherbergen global geschätzte 70 % der Biodiversität. Es steht außer Zweifel, dass in Deutschland wie auf EU-Ebene bei der Umsetzung von Initiativen zum Schutz der (Wald-)Biodiversität erhebliche Defizite bestehen. Anders als der Klimaschutz, der heute die höchsten politischen Ebenen beschäftigt, wird die Biodiversität hier noch mit untergeordneter Priorität behandelt.

Insbesondere die energetische Nutzung von Holz, wie sie heute weithin praktiziert wird, muss korrigiert werden, um den Nutzungsdruck auf den Wald zu mindern. Holz, das heute verbrannt oder für minderstoffliche Nutzungen verwendet wird, hat im Mittel CO<sub>2</sub> aus 70–120 Jahren Photosyntheseleistung gespeichert und es erfordert (theoretisch) den gleichen Zeitraum, um diese Menge am Entnahmeort wieder zu fixieren. Selbst wenn Substitutionseffekte durch die Vermeidung von fossilen Energieträgern eingerechnet werden, kann eine positive Bilanz (wenn überhaupt) erst nach mehreren Jahrzehnten erwartet werden. Dies steht in deutlichem Kontrast zu den radikalen CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen, die in den kommenden drei Jahrzehnten notwendig sind. Dieser Sachverhalt muss bei der Bewertung von Holzprodukten und ihrer THG-Bilanz berücksichtigt werden. Die energetische Holzverwendung sollte deshalb durch eindeutige Vorgaben und Normen begrenzt und gelenkt werden.

Waldpolitische Weichenstellungen sind insbesondere zu folgenden Themenbereichen dringend notwendig:

**(1) Definition von sogenannten „No-go-area“-Regelungen für den Forstsektor**, insbesondere der Verzicht auf Einschlag in Ur- und Naturwäldern, wie es sie im Agrarsektor für die Produktion von Biokraftstoffen als Vorgabe durch die RED II schon gibt. Dort ist festgelegt, dass Flächen mit hohem Wert für die biologische Vielfalt und mit höheren Kohlenstoffvorräten tabu sind. Damit würde automatisch auch die Anrechenbarkeit von energetisch genutztem Holz aus solchen biologisch hochwertigen Waldbeständen zur Zielerreichung der Erneuerbaren Energien in EU-Mitgliedsstaaten unterbunden.

**(2) Aufstellung national definierter Kriterien zur Begrenzung der Stammholznutzung für energetische Zwecke**, insbesondere bei der Verstromung in Kraftwerken. Die nachhaltige Nutzung eines Großteils der europäischen Wälder ist aus Gründen des Umwelt- und Ressourcenschutzes bei Einhaltung effektiver und nachprüfbarer Umwelt- und Natur-

schutzstandards zweifellos sinnvoll. Es kann in der Abwägung für den Klimaschutz aber fallweise wirksamer sein, Holz nicht in klimaschädliche Nutzungspfade zu lenken, sondern es in klimawandelstabilen Beständen im Wald zu belassen und dort den Speicher zu erhöhen; das dürfte oft auch mit positiven Effekten auf die Biodiversität verbunden sein.

## Dank

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Beiträge bedanken wir uns herzlich bei Dr. Hannes Böttcher, Dr. Anke Höltermann, László Maráz, Dr. Peter Meyer, Judith Reise, Prof. Dr. Dr. h.c. Albert Reif und Sabine Stein.

## Literatur

Aus Umfangsgründen steht das ausführliche Literaturverzeichnis unter Webcode [NuL2231](#) zur Verfügung.

## KONTAKT



**Prof. Dr. Rainer Luick** lehrt und forscht an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. Studium der Biologie (Schwerpunkt Geobotanik und Pflanzenphysiologie) und Ethnologie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und Studium Evolutionary Biology an der University of Michigan/Ann Arbor/USA. Promotion Dr. sc. agr. Universität Hohenheim. Langjährige Tätigkeit in der privaten Wasserwirtschaft und Landschaftsplanungspraxis. Seit 1999 Professur für Naturschutz und Landschaftsmanagement an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. Forschungsschwerpunkte: Prozesse im ländlichen Raum, Agrar-, Naturschutz- und Regionalpolitik, extensive Landnutzungssysteme, Technikfolgenabschätzungen zur Energiewende und Engagement zum Schutz der letzten europäischen Urwälder.

> [luick@hs-rottenburg.de](mailto:luick@hs-rottenburg.de)



**Dr. Klaus Hennenberg** arbeitet als Senior Researcher am Öko-Institut e. V. in Darmstadt. Studium der Biologie (Schwerpunkt Naturschutz und Vegetationsökologie) an der Universität Göttingen; Studium Energie und an der Universität Kassel (Master), Promotion Dr. rer. nat.

an der Universität Rostock. Seit 2007 Senior Researcher im Bereich Energie und Klimaschutz im Öko-Institut e.V. Arbeits- und Forschungsschwerpunkte: Nachhaltigkeitsfragen in der Waldbewirtschaftung und Bioenergieproduktion, Bewertung von Zertifizierungssystemen, Modellierung von THG-Emissionen im LULUCF-Sektor.

> [k.hennenberg@oeko.de](mailto:k.hennenberg@oeko.de)



**Prof. Dr. Christoph Leuschner** lehrt und forscht an der Georg-August-Universität Göttingen, Abt. Pflanzenökologie, im Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften. Studium der Biologie an den Universitäten Freiburg und Göttingen. Promotion und Habilitation im

Fach Pflanzenökologie an der Universität Göttingen. 1996–2000 Professor für Ökologie an der Universität Kassel, seit 2000 Professor für Pflanzenökologie an der Universität Göttingen. Mitglied der Göttinger Akademie der Wissenschaften. Forschungsschwerpunkte: Ökologie temperater und tropischer Bäume und Wälder, Klimawandeleffekte auf den Wald, Bedeutung von Urwäldern für die Waldbiodiversität. Zustand und Schutz der Agrarbiobiodiversität im Acker- und Grünland.

> [cleusch@gwdg.de](mailto:cleusch@gwdg.de)

**Dipl.-Ing. Manfred Grossmann**, Leiter Nationalpark Hainich, Bad Langensalza

> [manfred.grossmann@nnp.thueringen.de](mailto:manfred.grossmann@nnp.thueringen.de)

**Prof. Dr. Eckhard Jedicke**, Hochschule Geisenheim University, Kompetenzzentrum Kulturlandschaft, Professur für Landschaftsentwicklung

> [eckhard.jedicke@hs-gm.de](mailto:eckhard.jedicke@hs-gm.de)

**Dr. Nicolas Schoof**, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Standorts- und Vegetationskunde

> [nicolas.schoof@waldbau.uni-freiburg.de](mailto:nicolas.schoof@waldbau.uni-freiburg.de)

**Dr. Thomas Waldenspuhl**, Leiter Nationalpark Schwarzwald, Seebach

> [thomas.waldenspuhl@nlp.bwl.de](mailto:thomas.waldenspuhl@nlp.bwl.de)

### Literatur zur Veröffentlichung:

**Luick, R., Hennenberg, K., Leuschner, C., Grossmann, M., Jedicke, E., Schoof, N., Waldenspuhl, T. (2022): Urwälder, Naturwälder und Wirtschaftswälder im Kontext der Biodiversitätsdebatte und des Klimaschutzes. Teil 2: Das Narrativ von der Klimaneutralität der Ressource Holz. Naturschutz und Landschaftsplanung 54 (1), 22-36.**

- Agostini, A., Giuntoli, J., Boulamanti, A.K., Marelli, L. (2014): Carbon accounting of forest bioenergy conclusions and recommendations from a critical literature review. (No. JRC EUR27254 EN). Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC70663> (gesehen am: 25.11.2021).
- , Giuntoli, J., Marelli, L., Amaducci, S. (2020): Flaws in the interpretation phase of bioenergy LCA fuel the debate and mislead policymakers. *Int. J. Life Cycle Assess.* 25, 17-35.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, R., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N. (2010): A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259 (4), 660-684.
- Barua, S.K., Lehtonen, P., Pahkasalo, T. (2014): Plantation vision: potentials, challenges and policy options for global industrial forest plantation development. *International Forestry Review* 16, 117-127.
- Berndes, G., Abt, B., Asikainen, A., Cowie, A., Dale, V., Egnell, G., Lindner, M., Marelli, L., Paré, D., Pingoud, K., Yeh, S. (2016): Forest biomass, carbon neutrality and climate change mitigation. *Science to Policy* 3. European Forest Institute. [https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2019/efi\\_fstp\\_3\\_2016.pdf](https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2019/efi_fstp_3_2016.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- BImSchG & BImSchV (BundesImmissionsschutzgesetz & Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) (2010): Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV). [http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_1\\_2010/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/index.html) (gesehen am: 25.11.2021).
- BIOMASS101 (2019): 100 Forestry Scientists Endorse Fundamentals for Forest Biomass Carbon Accounting. <http://www.biomass101.org/news/2015/4/9/open-letter-to-epa-from-100-forestry-scientists> (gesehen am: 25.11.2021).
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2004): Verstärkte Holznutzung zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen (Charta für Holz). [https://oekosiedlungen.de/downloads/dokumente/Charta\\_fuer\\_Holz.pdf](https://oekosiedlungen.de/downloads/dokumente/Charta_fuer_Holz.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- (2017): Charta für Holz 2.0. <https://www.charta-fuer-holz.de/charta-service/mediathek> (gesehen am: 25.11.2021).
- (2018): Der Wald in Deutschland – ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/bundeswaldinventur.html> (gesehen am: 05.12.2021).
- (2021 a): Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2020. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ergebnisse-waldzustandserhebung-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ergebnisse-waldzustandserhebung-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=7) (gesehen am: 25.11.2021).

- (2021 b): Waldstrategie 2050 – Nachhaltige Waldbewirtschaftung – Herausforderungen und Chancen für Mensch, Natur und Klima.  
[https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldstrategie2050.pdf;jsessionid=9518884C7AC2467C7FB2CA8CD7426B4D.live921?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldstrategie2050.pdf;jsessionid=9518884C7AC2467C7FB2CA8CD7426B4D.live921?__blob=publicationFile&v=6) (gesehen am: 25.11.2021).
- Bolte, A., Ammer, C., Annighöfer, P., Bauhus, J., Eisenhauer, D.-R., Geissler, C., Leder, B., Petercord, P., Rock, J., Seifert, T., Spathelf, P. (2021): Fakten zum Thema: Wälder und Klimaschutz. AFZ-DerWald 11/2021, 12-15.
- Böttcher, H., Hennenberg, K., Winger, C. (2018): Waldvision Deutschland, Beschreibung von Methoden, Annahmen und Ergebnissen. Öko-Institut e.V. <https://waldvision.de/index-4.html#> (gesehen am: 04.12.2021).
- , Hennenberg, K., Reise, J., Fehrenbach, H., Mosley, F., Soimakallio, S. (2020 a): The CO<sub>2</sub> Storage Balance: A method for more comprehensively assessing GHG implications of wood use. PIK Conference: Managing forests in the 21st century, March 4 2020. [https://www.pik-potsdam.de/en/institute/departments/climate-resilience/projects/project-pages/formasam/meetings/4/Bttcher\\_et\\_al\\_CO2\\_storage\\_balance\\_day2session3\\_shareyes.pdf](https://www.pik-potsdam.de/en/institute/departments/climate-resilience/projects/project-pages/formasam/meetings/4/Bttcher_et_al_CO2_storage_balance_day2session3_shareyes.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- , Hennenberg, K., Hünecke, K., Fehrenbach, H., Rettenmaier, N., Bischoff, M., Reise, J. (2020 b): Naturschutz und fortschrittliche Biokraftstoffe. BfN-Skripten 580, Bonn Bad-Godesberg, Bundesamt für Naturschutz, 70 S.
- Bringenzu, S., Distelkamp, M., Lutz, C., Wimmer, F., Schaldach, R., Hennenberg, K.J., Böttcher, H., Egenolf, V. (2021): Environmental and socioeconomic footprints of the German bioeconomy. Nature Sustainability (2021), 1-9.
- Bundesregierung (2021 a): Klimaschutzgesetz 2021 – Generationenvertrag für das Klima. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> (gesehen am: 25.11.2021).
- (2021 b): Projektionsbericht 2021 für Deutschland gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/projektionsbericht\\_2021\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/projektionsbericht_2021_bf.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- BWE (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2021): Die Energie der Zukunft – Achter Monitoring-Bericht zur Energiewende – Berichtsjahre 2018 und 2019. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/achter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=24](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/achter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?__blob=publicationFile&v=24) (gesehen am: 25.11.2021).
- BWI 3 (Bundeswaldinventur III) (2012): Dritte Bundeswaldinventur. <https://bwi.info/> (gesehen am: 25.11.2021).
- Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, R., Robert, N., Cazzaniga, N.E., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, J.I., Mubareka, S. (2021): The use of woody biomass for energy purposes in the EU. EUR 30548 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- CLEW (Clean Energy Wire) (2021): German reactions to EU “Fit for 55” plans to overhaul climate and energy laws. <https://www.cleanenergywire.org/news/german-reactions-eu-fit-55-plans-overhaul-climate-and-energy-laws> (gesehen am: 25.11.2021).
- Deutscher Bundestag (2019): Entwicklung des Papierverbrauchs in Deutschland. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Bettina Hoffmann, Tabea Rößner,

- Lisa Badum, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Drucksache 19/12732. <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/136/1913658.pdf> (gesehen am: 25.11.2021).
- Döring, P.; Weimar, H., Mantau, U. (2018 a): Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2016. Hamburg. 23 S. [http://www.infro.eu/downloads/studien/6\\_Holzeinsatz%20in%20Biomasse-Gro%C3%9Ffeuerungsanlagen%202016.pdf](http://www.infro.eu/downloads/studien/6_Holzeinsatz%20in%20Biomasse-Gro%C3%9Ffeuerungsanlagen%202016.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- , Glasenapp, S., Weimar, H., Mantau, U. (2018 b): Die energetische Nutzung von Holz in Biomassefeuerungsanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten im Jahr 2016 Teilbericht, 21 S. [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn059776.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059776.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- EASAC (European Academies Science Advisory Council, German National Academy of Sciences – Leopoldina) (2017): Multi-functionality and sustainability in the European Union’s forests, 51 S. [https://easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Forests/EASAC\\_Forests\\_web\\_complete.pdf](https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Forests/EASAC_Forests_web_complete.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- (2018): Letter to the President of the European Commission Jean-Claude Juncker. [https://easac.eu/fileadmin/user\\_upload/180108\\_Letter\\_to\\_President\\_Juncker.pdf](https://easac.eu/fileadmin/user_upload/180108_Letter_to_President_Juncker.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- EC (European Commission) (2018): Renewable Energy Directive 2018/2001 – Recast to 2030 (RED II). <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii> (gesehen am: 25.11.2021).
- EEB (European Environmental Bureau) (2021): EU’s ‘Fit for 55’ is unfit and unfair. <https://eeb.org/eus-fit-for-55-is-unfit-and-unfair-ngos-say/> (gesehen am: 25.11.2021).
- EP & EC (European Parliament & European Council) (2018): LULUCF Regulation (Land Use, Land Use Change and Forestry Sector) 2018/841 (2018): Regulation of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU, LULUCF Regulation. European Commission, 2018. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.156.01.0001.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.156.01.0001.01.ENG) (gesehen am: 25.11.2021).
- EPN (European Paper Network) (2021): Mapping the paper industry. <https://environmentalpaper.org/tools-and-resources/mapping-bioenergy/> (gesehen am: 25.11.2021).
- EU RED II (Renewable Energy Directive 2018/2001) (2018): Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II). <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii> (gesehen am: 25.11.2021).
- EU LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry Sector 2018/841) (2018): Regulation of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework, and amending Regulation (EU) No 525/2013 and Decision No 529/2013/EU, LULUCF Regulation. European Commission, 2018. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.156.01.0001.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.156.01.0001.01.ENG) (gesehen am: 25.11.2021).
- EU (Europäische Union) (2019): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Der europäische Grüne Deal. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640> (gesehen am: 25.11.2021).
- (2020 a): 2030 climate & energy framework. [https://ec.europa.eu/clima/poliies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/poliies/strategies/2030_en) (gesehen am: 25.11.2021).
- (2020 b): Im Blickpunkt – Erneuerbare Energien in Europa. [https://ec.europa.eu/info/news/focus-renewable-energy-europe-2020-mar-18\\_de](https://ec.europa.eu/info/news/focus-renewable-energy-europe-2020-mar-18_de) (gesehen am: 25.11.2021).

- (2021 a): Europäisches Klimagesetz. [https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law_de) (gesehen am: 25.11.2021).
  - (202 b): EU Fit for 55: delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN> (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 c): Amendment Renewable Energy Directive (RED). [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/amendment-renewable-energy-directive-2030-climate-target-with-annexes\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/amendment-renewable-energy-directive-2030-climate-target-with-annexes_en.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 d): New EU Forest Strategy. <https://ec.europa.eu/info/files/communication-new-eu-forest-strategy-2030> (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 e): Carbon Farming. [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/carbon-farming\\_de](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/carbon-farming_de) (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 f): Regulations – Commissions delegated regulation (EU) 2021/268 of 28 October 2020 amending Annex IV to Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council as regards the forest reference levels to be applied by the Member States for the period 2021-2025. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0268&from=EN> (gesehen am: 25.11.2021).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2021): Forest Product Statistics. <http://www.fao.org/forestry/statistics/en/> (gesehen am: 25.11.2021).
- , UNEP (United Nations Environment Programme) (2020): The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.
- Fehrenbach, H., Köppen, S., Kauertz, B., Wellenreuther, F., Baur, B., Breitmayer, E. (2017): Biomassekaskaden: Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis. Umweltbundesamt, UBA-Texte 53/2017. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-13\\_texte\\_53-2017\\_biokaskaden\\_anlage.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-13_texte_53-2017_biokaskaden_anlage.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (2020): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2021. [https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2020/Mediathek/broschuere\\_basisdaten\\_bioenergie\\_2020\\_gaendert.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2020/Mediathek/broschuere_basisdaten_bioenergie_2020_gaendert.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Frühwald, A., Pohlmann, C., Wegener, G. (2001): Holz – Rohstoff der Zukunft nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. Informationsdienst Holz, DGfH e.V. und HOLZABSATZFONDS, Holzbauhandbuch 1 (3, 2), 32 S.
- Gutsch, M., Lasch-Born, P., Kollas, C., Suckow, F., Reyer, C.P.O. (2018): Balancing trade-offs between ecosystem services in Germany's forests under climate change. Environmental Research Letters 13: 045012.
- Hennenberg, K., Böttcher, H., Wiegmann, K., Reise, J., Fehrenbach, H. (2019): Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten. AFZ-DerWald 17/2019: 36-39. [https://co2-speichersaldo.de/media/Hennenberg\\_Oekobilanz\\_sl.pdf](https://co2-speichersaldo.de/media/Hennenberg_Oekobilanz_sl.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- , Böttcher, H., Reise, J., Bohn, F., Gutsch, M., Reyer, C. (2021): Interpretation des Klimaschutzgesetzes für Waldbewirtschaftung verlangt adäquate Datenbasis – Reaktion auf die Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik beim BMEL. Öko-Institut Working Paper 3/2021, 28 S. [www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/03-WP-Klimaschutzgesetz-Waldbewirtschaftung.pdf](http://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/03-WP-Klimaschutzgesetz-Waldbewirtschaftung.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Huber, M., Kirchmeir, H., Fuchs, A. (2021): Die Rolle des Waldes im Klimaschutz – Wie wird unser Wald klimafit? Studie im Rahmen von Mutter Erde; E.C.O. Institut für Ökologie, Klagenfurt, 105 S.
- HPE (Bundesverband Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackung) (2016): Palettenproduktion in Deutschland 2003 bis 2016. <https://www.packaktuell.ch/newspool/holzpackmittelindustrie-in>

- deutschland-herstellung-von-paletten-holzpackmitteln-und-kabeltrommeln-waechst-2016-um-5-7-prozent-erstmals-mehr-als-100-millionen-paletten-produziert/ (gesehen am: 25.11.2021).
- (2018): Produktion von Paletten und Kisten steigt unaufhaltsam weiter.  
<https://www.hpe.de/presse.html#!/blog/posts/Produktion-von-Paletten-und-Kisten-steigt-unaufhaltsam-weiter/64> (gesehen am: 25.11.2021).
- Hudiburg, T., Law, B., Moomaw, W., Harmon, M., Stenzel, J. (2019): Meeting GHG reduction targets requires accounting for all forest sector emissions. *Environmental Research Letters*. 14. 095005. 10.1088/1748-9326/ab28bb. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab28bb> (gesehen am: 25.11.2021).
- Hudson, B. (2021): To keep forests intact, we must use them - Research demonstrates that demand for wood leads to increased forest area and productivity. Wood-based bioenergy supports markets that help protect our forests from conversion to other uses.-  
<https://www.euractiv.com/section/energy-environment/opinion/to-keep-forests-intact-we-must-use-them/> (gesehen am: 25.11.2021).
- Ibisch, P., Gohr, C., Mann, D, Blumröder, J. (2021): Der Wald in Deutschland auf dem Weg in die Heißzeit: Vitalität, Schädigung und Erwärmung in den Extremsommern 2018–2020. Centre for Ecnics and Ecosystem Management an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde für Greenpeace. Eberswalde.  
[https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/ibisch\\_et\\_al\\_2021\\_der\\_wald\\_in\\_deutschland\\_auf\\_dem\\_weg\\_in\\_die\\_heisszeit\\_final.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/ibisch_et_al_2021_der_wald_in_deutschland_auf_dem_weg_in_die_heisszeit_final.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- IEA Bioenergy (2019): The use of forest biomass for climate change mitigation: response to statements of EASAC, (2019). [https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/12/WoodyBiomass-Climate\\_EASACresponse\\_Nov2019.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/12/WoodyBiomass-Climate_EASACresponse_Nov2019.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- IEEP (Institute for European Environmental Policy) (2021): REDIII: Valuing the maintenance of carbon sinks and ecosystems over using biomass for energy? <https://ieep.eu/news/rediii-valuing-the-maintenance-of-carbon-sinks-and-ecosystems-over-using-biomass-for-energy> (gesehen am: 25.11.2021).
- Inventurstudie ISO8 (2008): <https://www.thuenen.de/de/wo/projekte/waldressourcen-und-klimaschutz/projekte-treibhausgasmonitoring/inventurstudie-2008/> (gesehen am: 25.11.2021).
- ISE (Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme) (2021): Nettostromerzeugung in Deutschland 2020: Erneuerbare Energien erstmals über 50 %. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2020/nettostromerzeugung-in-deutschland-2021-erneuerbare-energien-erstmals-ueber-50-prozent.html> (gesehen am: 25.11.2021).
- Jochem, D., Weimar, H., Dieter, M. (2020): Holzeinschlag 2019 steigt – Nutzung konstant. *Holzzentralblatt*, 2020 (33), 593-594.  
[https://www.thuenen.de/media/institute/wf/HM\\_div.\\_Statistik\\_Dateien/Dateien\\_-\\_Bilanzen\\_-\\_Tabellen/Wald/Einschlagrueckrechnung/dn062585.pdf](https://www.thuenen.de/media/institute/wf/HM_div._Statistik_Dateien/Dateien_-_Bilanzen_-_Tabellen/Wald/Einschlagrueckrechnung/dn062585.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- , Weimar, H., Dieter, M. (2021): Holzeinschlag kalamitätsbedingt weiter gestiegen. *Holzzentralblatt*, 2021 (32), 563-564.
- KIWUH (Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz) (2019): Basisdaten Wald und Holz 2019.- [https://www.fnr.de/fileadmin/kiwuh/dateien/Basisdaten\\_KIWUH\\_web\\_neu\\_1.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/kiwuh/dateien/Basisdaten_KIWUH_web_neu_1.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Kohlenstoffinventur (2017): <https://www.thuenen.de/de/wo/projekte/waldressourcen-und-klimaschutz/projekte-treibhausgasmonitoring/kohlenstoffinventur-2017/> (gesehen am: 25.11.2021).

- Kun, Z., DellaSalla, D., Keith, H., Kormos, C., Mercer, B., Moomaw, W.R., Wiezik, M. (2020): Recognizing the importance of unmanaged forests to mitigate climate change. *BCB Bioenergy*, Volume 12 (12), 1034-1035. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12714> (gesehen am: 25.11.2021).
- Kuresoo, S., Kuresoo, L., Lilleväli, U., Kerus, V. (2020): -Hidden inside a wood pellet - Intensive logging impacts in Estonian and Latvian forests. [https://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Biomass\\_report\\_ENG%20\\_2020.pdf](https://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Biomass_report_ENG%20_2020.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Leturcq, P. (2020): GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution. *Scientific Reports* 10, 20752. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-77527-8> (gesehen am: 25.11.2021).
- Lovejoy, T.E., Nobre, C. (2018): Amazon Tipping Point. *Science Advances* 4 (2):eaat2340 (gesehen am: 25.11.2021).
- Luick, R., Hennenberg, K., Leuschner, C., Grossmann, M., Jedicke, E., Schoof, N., Waldenspuhl, T. (2021): Urwälder, Natur- und Wirtschaftswälder im Kontext von Biodiversitäts- und Klimaschutz – Teil 1: Funktionen für die biologische Vielfalt und als Kohlenstoffspeicher und -speicher. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 53 (12), 12-25.
- Mantau, U., Döring, P., Weimar, H., Glasenapp, S., Jochem, D., Zimmermann, K. (2018): Rohstoffmonitoring Holz – Erwartungen und Möglichkeiten. FNR, Gülzow-Prüzen. [https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere\\_Kurzfassung\\_Rohstoffmonitoring\\_Web.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Kurzfassung_Rohstoffmonitoring_Web.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Milford, C., Westphal, A. (2021): From forest to furnace: how the U.K.'s wood-pellet plants are driving logging in B.C. – Environmentalists are concerned the recent move by a U.K. power plant to buy Pinnacle Renewable Energy in Prince George means that B.C.'s already over-logged forests will prove catastrophic. <https://thenarwhal.ca/bc-wood-pellets-drax-pinnacle-renewable-energy/> (gesehen am: 25.11.2021).
- Miner, R.A., Abt, R.C., Bowyer, J.L., Buford, M.A., Malmshiemer, R.W, O'Laughlin, J., Oneil, E.E., Sedjo, A., Skog, K.E. (2014): Forest Carbon Accounting Considerations in US Bioenergy Policy. *Journal of Forestry* 112 (6), 591-606.
- NAUFRP (National Association of University Forest Resources Programs) (2019): Science Fundamentals of Forest Biomass Carbon Accounting. <http://naufrp.org/wp-content/uploads/2019/10/2019-Final-Carbon-Accounting-Science-Fundamentals-with-signatures.pdf> (gesehen am: 25.11.2021).
- Negrón, J., Cain, B. (2018): Mountain Pine Beetle in Colorado: A Story of Changing Forests. *Journal of Forestry*, Volume 117 (2), 144-151.
- Norton, M., Baldi, A., Buda, V., Carli, B., Cudlin, P., Jones, M.B., Korhola, A., Michalski, R., Novo, F., Oszlányi, J., Duarte Santos, F., Schink, B., Shepherd, J.V.L., Walloe, L., Wijkman, A. (2019): Serious mismatches continue between science and policy in forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 2019, 1-8.
- NRDC (Natural Resources Defense Council) (2015): Think wood pellets are green? Think Again. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/bioenergy-modelling-IB.pdf> (gesehen am: 25.11.2021).
- (2019): Global markets for biomass energy are devastating U.S. forests. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/global-markets-biomass-energy-06172019.pdf> (gesehen am: 25.11.2021).
- Oehmichen, K., Klatt S., Gerber, K., Polley, H., Röhling, S., Dunger, K. (2018): Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung – Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 59, 88 S.

- Ørsted (2016): Denmark's largest power station replaces coal with wood pellets.  
<https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2017/10/denmarks-largest-power-station-replaces-coal-with-wood-pellets> (gesehen am: 25.11.2021).
- Pearce, P. (2015): Up in flames – How biomass burning wrecks Europe's forests. Fern, 16 S.  
<https://www.fern.org/fileadmin/uploads/fern/Documents/Up%20in%20Flames.pdf> (gesehen am: 25.11.2021).
- RobinWood (2021): Onyx-Kraftwerk in Wilhelmshaven auf dem Holzweg.  
<https://www.robinwood.de/blog/onyx-kraftwerk-wilhelmshaven-auf-dem-holzweg> (gesehen am: 25.11.2021).
- Rüter, S. (2016): Der Beitrag der stofflichen Nutzung von Holz zum Klimaschutz – Das Modell WoodCarbonMonitor. Dissertation TUM München, 270 S.  
[https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn058534.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn058534.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- , Stümer, W., Dunger, C. (2017): Treibhausgasbilanzen der WEHAM-Szenarien. AFZ-DerWald 13/2017, 30-31.
- Schlüter, K. (2019): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2017. UBA Text 139/2019.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/2019\\_11\\_19\\_aufkommen\\_u\\_verwertung\\_verpackungsabfaelle\\_2017\\_final.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/2019_11_19_aufkommen_u_verwertung_verpackungsabfaelle_2017_final.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Schmidt, M.-S. (2018): Regionale Wertschöpfung von Waldenergieholz – Bottom-Up Analyse ökonomischer Effekte von Unternehmens- und Verbraucherwertketten nach dem Stakeholder-Prinzip. Dissertation Universität Kassel, 333 S.
- Schuldt, B., Buras, B., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T.E.E., Hauck, M., Hajek, P., Hartmann, H., Hiltbrunner, E., Hoch, G., Holloway-Phillips, M., Körner, C., Larysch, E., Lübbe, T., Nelson, D.B., Rammig, A., Ringling, A., Rosei, L., Ruehr, N.K., Schumann, K., Weiser, F., Werner, C., Wohlgemuth, T., Zang, C.S., Kahmen, A. (2020): A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. Journal Basic & Applied Ecology 45, 86-103.
- Schulze, E.-D., Sierra, C.-A., Egenolf, V., Woerdehoff, R., Irslinger, R., Baldamus, C., Stupka, I., Spellmann, H. (2020): The climate change mitigation effect of bioenergy from sustainably managed forests in Central Europe. GCB Bioenergy 2020 (12), 186-197.
- Searchinger T. D., Beringer, T., Holtsmark, B., Kammen, D.M., Lambin, E.F., Lucht, W., Raven, P., van Ypersele J.-P. (2018): Europe's renewable energy directive poised to harm global forests. Nature Communications 9, 3741.
- SELC (Southern Environmental Law Center) (2018): Burning trees for power – the truth about woody biomass, energy & wildlife. [https://www.southernenvironment.org/wp-content/uploads/legacy/publications/Biomass\\_Biodiversity\\_white\\_paper.pdf](https://www.southernenvironment.org/wp-content/uploads/legacy/publications/Biomass_Biodiversity_white_paper.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Statistisches Bundesamt (2019): Umweltökonomische Gesamtrechnung – Waldgesamtrechnung, Berichtszeitraum 2014–2017, Tabelle 2 „Physische Holzvorratsbilanz“ (Zeitreihe 2014–2017). (gesehen am: 25.11.2021).
- (2021): Zahl der Woche – 3 % der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen werden netto vom Wald absorbiert. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21\\_40\\_p002.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_40_p002.html) (gesehen am: 25.11.2021).
- Statista (2020): Anzahl der Waldbrände nach ausgewählten Ländern weltweit in den Jahren von 2012 bis 2019. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/778427/umfrage/waldbraende-nach-ausgewaehlten-laendern-weltweit/> (gesehen am: 25.11.2021).

- (2021 a): Entwicklung des Holzeinschlags in Deutschland in den Jahren von 2000 bis 2020.  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152173/umfrage/entwicklung-des-holzeinschlags-seit-dem-jahr-1998/> (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 b): Anteil der genehmigten Wohngebäude in Holzbauweise an allen genehmigten Wohngebäuden in Deutschland in den Jahren 2003 bis 2019.  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/456639/umfrage/quote-der-genehmigten-wohngebaeude-in-holzbauweise-in-deutschland/> (gesehen am: 25.11.2021).
- The New Yorker (2021): The Millions of Tons of Carbon Emissions That Don't Officially Exist.  
<https://www.newyorker.com/news/annals-of-a-warming-planet/the-millions-of-tons-of-carbon-emissions-that-dont-officially-exist/> (gesehen am: 10.12.2021).
- UBA (Umweltbundesamt) (2020 a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2018. CLIMATE CHANGE 22/2020, UBA, Dessau-Roßlau.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-15-climate-change\\_22-2020\\_nir\\_2020\\_de\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-15-climate-change_22-2020_nir_2020_de_0.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- (2020 b): Verpackungsabfälle. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#verpackungen-uberall> (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 a): Hintergrund – Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021\\_hgp\\_umweltschutzwald\\_u\\_nachhaltigeholznutzung\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_hgp_umweltschutzwald_u_nachhaltigeholznutzung_bf.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 b): National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2019, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2021 National. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/submission-under-the-united-nations-framework-6> (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 c): Emissionsübersichten in den Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes, Datendownload unter: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/emissionsuebersichten-in-den-sektoren-des> (gesehen am: 25.11.2021).
  - (2021 d): Kleinf Feuerungsanlagen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/industrieverbrennung/feuerungsanlagen/kleinf Feuerungsanlagen#anlagenbestand-in-deutschland> (gesehen am: 25.11.2021).
- UN (United Nations Department of Economic and Social Affairs, United Nations Forum on Forests Secretariat) (2021): The Global Forest Goals Report 2021. <https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2021/04/Global-Forest-Goals-Report-2021.pdf> (gesehen am: 25.11.2021).
- VR (Verkehrsrundschau) (2019): Rekordzahl von 111 Millionen Holzpaletten in Deutschland produziert. <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/rekordzahl-von-111-millionen-holzpaletten-in-deutschland-produziert-2286473.html> (gesehen am: 25.11.2021).
- Walker, X.J., Baltzer J.L., Cumming, S.G., Day, N.J., Ebert, C., Goetz, S., Johnstone, J.F., Potter, S., Rogers, B.M., Schuur, E.A.G., Turetsky, M.R., Mack, M.C. (2019): Increasing wildfires threaten historic carbon sink of boreal forest soils. *Nature* 572 (7770), 520-523.
- Walthert, L., Ganthaler, A., Mayr, S., Saurer, M., Waldner, P., Walser, M., Zweifel, R., von Arxa, G. (2021): From the comfort zone to crown dieback: Sequence of physiological stress thresholds in mature European beech trees across progressive drought. *Science of the total Environment* 753, 141792.
- WBW (Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik) (2021a): Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel - Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik.

- [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ministerium/Beiraete/waldpolitik/gutachten-wbw-anpassung-klimawandel.pdf;jsessionid=E60BC2D17F215906771E098B42B2D5D3.live922?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/waldpolitik/gutachten-wbw-anpassung-klimawandel.pdf;jsessionid=E60BC2D17F215906771E098B42B2D5D3.live922?__blob=publicationFile&v=2) (gesehen am: 25.11.2021).
- (2021 b): Geplante Änderung des Klimaschutzgesetzes riskiert Reduktion der potenziellen Klimaschutzbeiträge von Wald und Holz. Stellungnahme. Berlin, 13 S. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ministerium/Beiraete/waldpolitik/klimaschutzgesetz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/waldpolitik/klimaschutzgesetz.pdf?__blob=publicationFile&v=5) (gesehen am: 25.11.2021).
- WEHAM (WaldEntwicklungs- und HolzAufkommensModellierung) (2017): Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz (WEHAM-Szenarien). <https://www.weham-szenarien.de/> (gesehen am: 25.11.2021).
- WCRC (Woodwell Climate Research Center) (2021): Letter Regarding Use of Forests for Bioenergy - Hundreds of scientists affirm that trees are more valuable alive than dead — both for climate and for biodiversity. <https://www.woodwellclimate.org/letter-regarding-use-of-forests-for-bioenergy/> (gesehen am: 25.11.2021).
- WD (Wissenschaftlicher Dienst der Bundesregierung) (2019): Entwicklung des globalen Waldbestandes in den letzten zehn Jahren. <https://www.bundestag.de/resource/blob/645670/847da2f7719cc1bb7fb58184dba0c6de/WD-5-042-19-pdf-data.pdf> (gesehen am: 25.11.2021).
- Weimar, H. (2020): Holzbilanzen 2017 bis 2019 für die Bundesrepublik Deutschland. Thünen Working Paper 153. [https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper\\_153.pdf](https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_153.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Welch, C. (2020): The grand old trees of the world are dying, leaving forests younger and shorter – The effects on wildlife and the ability of forests to store CO<sub>2</sub> from fossil fuels could be enormous. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/grand-old-trees-are-dying-leaving-forests-younger-shorter> (gesehen am: 25.11.2021).
- Wenker J. L., Rüter, S. (2015): Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel. Braunschweig. Thünen Report 31. Johann Heinrich von Thünen-Institut, 130 S. [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn055528.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn055528.pdf) (gesehen am: 25.11.2021).
- Wern, B., Thorwarth, H., Scholl, F., Matschoss, P., Vogle, C., Baur, F. (2021): Die Rolle von Holz in der Energiewende. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 71 (11), 42-46.
- Weser-Kurier (2020): Kraftwerk in Wilhelmshaven soll mit Biomasse betrieben werden. <https://www.weser-kurier.de/bremen/wirtschaft/umstieg-auf-biomasse-kraftwerk-will-sich-von-kohle-verabschieden-doc7e4jce7a6dsr1viicc7> (gesehen am: 25.11.2021).
- Wirtschaft (2020): 500 Mio. Paletten halten Europas Logistik am Laufen. <https://wirtschaft.com/500-mio-paletten-halten-europas-logistik-am-laufen/amp/> (gesehen am: 25.11.2021).
- WRI (World Resources Institute) (2020): We lost a football pitch of primary rainforest every 6 seconds in 2019. <https://www.wri.org/blog/2020/06/global-tree-cover-loss-data-2019> (gesehen am: 25.11.2021).
- ZDF (Zweites Deutsches Fernsehen) (2020): Fast Furniture – Wie billige Möbel kostbare Wälder vernichten. <https://www.zdf.de/dokumentation/planet-e/planet-e-fast-furniture-100.html> (gesehen am: 25.11.2021).

