

Ansatz zur Neubewertung von CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung

Ergebnisse des Forschungsprojekts BioSINK als Grundlage für die Erweiterung der Bilanzierung von Holz im CO₂-Rechner



Jahre
Umweltbundesamt
1974–2024

1 Eckpunkte

Der UBA-CO₂-Rechner

Mit dem UBA-CO₂-Rechner kann jede und jeder den persönlichen CO₂-Fußabdruck bestimmen. Es handelt sich um ein Online-Tool zur Bilanzierung der persönlich verursachten Treibhausgasemissionen. Datengrundlage für den UBA-CO₂-Rechner sind u. a. die jeweils aktuellen Daten der AG Energiebilanzen zum Energieverbrauch in Deutschland¹, Daten aus dem Emissionsberechnungsmodell TREMOD für Verkehrsemissionen² sowie Daten der umweltökonomischen und volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung³. Der CO₂-Rechner wird jährlich aktualisiert. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse fließen in Abstimmung mit dem UBA in diese jährlichen Aktualisierungs- und Überarbeitungsprozesse ein.

Bei der Ausweisung der CO₂-Emissionen für die energetische Nutzung von Holz z. B. für die Erzeugung von Gebäudewärme mittels Scheitholz- oder Pelletöfen wurden in der Vergangenheit der üblichen Praxis folgend nur die THG-Emissionen aus Ernte, Herstellung und Transport berücksichtigt. Die direkten CO₂-Emissionen aus der Verbrennung wurden mit null angesetzt. In der aktuell vorliegenden Überarbeitung wurde dies auf Basis der Ergebnisse des Projekts BioSINK angepasst.

Das UBA-Projekt BioSINK als Ausgangslage für die Neubewertung

In dem im Jahr 2024 abgeschlossenen UBA-Projekt BioSINK wurden die „Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken“ (BioSINK)⁴ untersucht. Hier kamen das Holzverwendungsmodell TRAW⁵ und das Waldmodell FABio-Forest⁶ zum Einsatz (Pfeiffer et al. 2023, Hennenberg et al. 2024). Ein Fokus der Analysen lag dabei auf der Veränderung der Kohlenstoff-Speicherleistung der Wälder⁷ in Abhängigkeit von der Intensität der Holzentnahme. Hierzu wurden Waldmodellierungen sowie eine vergleichende Analyse zwischen dem methodischen Ansatz eines nationalen Treibhausgasinventars (Ebene eines Landes) und Ansätzen von Produkt-Treibhausgasbilanzen (Ebene eines einzelnen Produkts) durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass eine höhere Holzentnahme zu einer geringeren Kohlenstoff-Speicherleistung von Wäldern führt, als dies bei niedrigerer Holzentnahme der Fall wäre. In den deutschen und europäischen Wäldern ist diese verringerte Kohlenstoff-Speicherleistung der Wälder in der Regel größer als es der im

¹ <https://ag-energiebilanzen.de/>

² <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-tremod-2019>

³ https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/_inhalt.html

⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkungen-der-energetischen-nutzung-forstlicher>

⁵ TRAW = Total Resource Assessment of Wood; eine Modellentwicklung von INFRO e.V.

⁶ FABio = Forestry and Agriculture Biomass Model (Böttcher et al. 2018)

⁷ Die Kohlenstoffspeicherleistung eines Waldes bezeichnet dabei das Delta des Kohlenstoffspeichers eines Waldes zwischen zwei Zeitpunkten.

entnommenen Holz gespeicherten Menge an Kohlenstoff entsprechen würde. Aus den Ergebnissen wurde deshalb eine zentrale Empfehlung zur Produkt-THG-Bilanz abgeleitet: **In Produkt-THG-Bilanzen sollten die CO₂-Verbrennungsemissionen aus Holz berücksichtigt werden, anstatt sie mit null zu bewerten.** Damit kann der wesentliche Teil der verringerten Kohlenstoff-Speicherleistung im Wald, die auf die Holzentnahme zurückzuführen ist, in der Produkt-THG-Bilanz berücksichtigt werden. In diesem Sinne ist die Empfehlung als konservativer Ansatz zu betrachten, da eine vollständige Berücksichtigung der verringerten Kohlenstoffspeicherleistung im Wald zu höheren CO₂-Faktoren bei der Holzenergienutzung führen würde.

Die hierbei eingeführten Emissionsfaktoren sind ein Vorschlag, der auf umfassenden Literaturstudien und Modellrechnungen für Forstentwicklungen beruht. Der Vorschlag bietet eine mögliche Lösung der komplexen Aufgabe, wie Emissionen aus der energetischen Nutzung von Holz inklusive der Auswirkungen auf der Waldfläche abgeschätzt werden können. Die Forschung zu dieser Thematik ist dynamisch und es ist davon auszugehen, dass diese Emissionsfaktoren weitere Entwicklungen und damit auch Anpassungen erfahren werden.

In der Konsequenz führen die neu in den CO₂-Rechner aufgenommenen Emissionsfaktoren zu einer deutlichen Verschlechterung der Emissionsbilanz der energetischen Biomassenutzung, sofern Waldholz zum Einsatz kommt. Mit dieser Veränderung werden die Zusammenhänge und Folgen der Holzenergienutzung realistischer abgebildet. Zudem wird den Nutzenden des CO₂-Rechners verdeutlicht, dass Holz ein begrenzter Rohstoff ist, welcher aus verschiedensten Gründen nicht ohne weitere Effizienzmaßnahmen wie z. B. Dämmung der Gebäudehülle, Modernisierung der Fenster, Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen zur Wärmeversorgung genutzt werden sollte: wegen der entstehenden Verbrennungsemissionen, aber auch aus Gründen von Nutzungskonkurrenzen mit z. B. baulichen, grundstofflichen oder gartenbaulichen Anwendungen und nicht zuletzt aus Biodiversitätsgründen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Faktoren ausschließlich im CO₂-Rechner angepasst wurden. Dies hat keine Konsequenz auf die bestehende Behandlung von Biomasse im Gebäudeenergiegesetz (GEG) und in der Bundesförderung energieeffizienter Gebäude (BEG). Dort bleiben die Emissionsfaktoren für Biomasse unverändert.

Aktualität der Emissionsfaktoren für den UBA-CO₂-Rechner

Der CO₂-Rechner wird vom UBA regelmäßig daraufhin überprüft, ob er methodisch noch dem Stand der Wissenschaft entspricht. BioSINK liefert neue Ergebnisse bei der Bewertung der energetischen Nutzung von Waldholz. Der Zusammenhang von Nutzung und Emissionen ist im Fall von Holz deutlich komplexer als jener zur Ermittlung der Emissionen beispielsweise einer Kilowattstunde Erdgas. Der Vorschlag auf Basis der BioSINK-Ergebnisse erfordert daher eine weitere Fachdiskussion, die einordnet, wie verschiedene Parameter, die das Bilanzierungssystem und somit das Ergebnis beeinflussen, bewertet werden können und sollen. Wichtige Fragen sind z. B.:

- ▶ Wie kann der auf Waldholz fokussierte Ansatz auf andere Holzsortimente (z.B. Gartenholz, Altholz) übertragen werden?
- ▶ Wie sind Emissionen den Produkten und Nebenprodukten der Sägewerksindustrie aufzuteilen (Allokation)?
- ▶ Wie sind die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Entwicklung bzw. den Erhalt von Kohlenstoffspeichern in Wäldern einzuschätzen? Im Projekt BioSINK wurden die vermehrten Störungen der letzten Jahre und Annahmen zu zukünftigen natürlichen

Störungen berücksichtigt. In Bezug auf langfristige Entwicklungen bestehen aber deutliche Unsicherheiten.

Diese Fragen gilt es zu diskutieren und stärker zu erforschen. Sollte es zukünftig durch weitere Forschungstätigkeit zu neueren Ergebnissen kommen, werden diese im CO₂-Rechner berücksichtigt.

2 Hintergrund zur wissenschaftlichen Neubewertung der Klimaschutzleistung der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse

Mehrere Institute untersuch(t)en in verschiedenen Forschungsprojekten das Thema Klimaschutzleistung von Holzenergie. In allen Projekten stellt das novellierte Klimaschutzgesetz mit seinem LULUCF-Senkenziel (Etablierung einer jährlichen Senkenleistung von durchschnittlich -40 Mio. t CO₂-Äq. bis 2045) einen zentralen Orientierungspunkt dar. Die Netto-CO₂-Einbindung auf der Waldfläche ist zentral, um dieses Senkenziel zu erreichen. Eine Holzentnahme verändert die Senkenleistung im Wald, d. h. das Delta aus Zu- und Abflüssen des C-Speichers im Wald. Vor diesem Hintergrund ist eine breite wissenschaftliche Debatte entbrannt, ob und wie die Veränderung der Senkenleistung im Wald durch die Holzentnahme aus dem Wald in Produkt-THG-Bilanzen berücksichtigt werden soll. Neben dem hier im Vordergrund stehenden Projekt BioSINK sind u.a. folgende Projekte und Veröffentlichungen zu nennen:

- ▶ DIFENS (Förderung: FNR – Waldklimafonds), Laufzeit Dezember 2021 bis Dezember 2024, Partner: Öko-Institut, INFRO e.K., ifeu, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Knauf Consulting: Es erfolgt eine Modellierung von Entwicklungskorridoren im Wald unter Berücksichtigung von Holznachfrage, Klimawandel und Extremereignissen, natürlicher Störungen und Politikanforderungen. Dabei wird auch die Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten berücksichtigt.
- ▶ Thünen-Institut: Rüter (2023) weist aus, dass biogene CO₂-Emissionen der thermischen Nutzung von Holz (Energie) z. B. im Gebäudesektor nur deshalb als „CO₂-neutral“ bezeichnet werden, um Doppelbuchungen mit dem Sektor LULUCF zu vermeiden (siehe auch IPCC 2006, Volume 2, Kap. 2.3.3.4).
- ▶ DBFZ: Schindler et al. (2023) stellen heraus, dass es bei einer stark steigenden Nachfrage nach Holz für Energie zu einer Entnahme an Holz kommen kann, die höher wäre als der Zuwachs. Dies würde die Kohlenstoffbilanz des Waldes negativ beeinflussen und wäre ein deutlicher Indikator für eine negative Klimabilanz der entsprechenden Holzenergiepfade.
- ▶ Joint Research Centers (JRC): Rougieux et al. (2024) zeigen, dass nur eine anhaltende Verringerung des Holzverbrauchs eine ausreichende Kohlenstoffsénke durch die Wälder ermöglicht, um das von der Europäischen Union gesetzte Ziel bis 2050 und darüber hinaus zu erreichen.

3 Erkenntnisse aus den Forschungsvorhaben und Ableitung von Methoden zur Ermittlung von Emissionsfaktoren

Im Fokus der oben genannten Projekte steht der Zusammenhang zwischen der Senkenleistung des Waldes und der Entnahme von Energieholz. Nach der bisherigen Konvention werden die bei der Verbrennung von Holzbrennstoffen entstehenden CO₂-Emissionen in Treibhausgasbilanzen mit null angesetzt. Das prominenteste Beispiel ist die THG-Bilanzmethode der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED)⁸. Die Begründung für diese Annahme lautet: Holz und Biomasse generell sind nachwachsende Rohstoffe, deren Kohlenstoffgehalt zeitlich gebunden ist und am Lebensende (Zerfall oder Verbrennung) als CO₂ in die Atmosphäre zurückkehrt, aus der es zuvor aufgenommen worden war. Der Kohlenstoff befindet sich somit im Kreislauf. Diese Betrachtung ist jedoch vereinfacht. Vernachlässigt werden dynamische Prozesse der Waldentwicklung sowie die aktuellen Bestandsstrukturen, die weit von einem möglichen Gleichgewichtszustand (Zuwachs und natürliche Zersetzung halten sich die Waage) entfernt sind. Zudem übersieht bzw. vernachlässigt diese Vereinfachung zahlreiche Möglichkeiten, den Holz-Kohlenstoffspeicher jenseits des Waldes zu vergrößern (z. B. in Form langlebiger Produkte).

Grundsätzlich muss zwischen zwei Methoden zur Treibhausgasberechnung unterschieden werden: dem nationalen Treibhausgasinventar gemäß der Methode des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und der Produkt-Treibhausgasbilanzierung. Produkt-THG-Bilanzen kommen z. B. in der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED), der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung und daran orientiert in der UBA-Emissionsbilanz zum Einsatz (Kurz: Produkt-THG-Bilanz nach RED). Gemäß der IPCC-Methode werden beim nationalen Treibhausgasinventar für ein ganzes Land die THG-Emissionen zusammengestellt und jeweils genau einem der beteiligten Sektoren zugeordnet, damit Doppelzählungen vermieden werden. Die Produkt-THG-Bilanzierung bezieht sich hingegen auf den Lebensweg eines einzelnen Produkts und ist damit vom Prinzip her sektor- und Ländergrenzen übergreifend. Sie dient dem Vergleich unterschiedlicher, den gleichen Zweck erfüllender Produkte.

- ▶ Nach IPCC-Regeln werden CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung der Forstwirtschaft im LULUCF-Sektor bei der Holzentnahme zugeordnet, so dass bei der Verbrennung keine Emissionen im Energiesektor berücksichtigt werden. Dies gilt auch für die Holzentnahme aus dem Holzproduktspeicher.
- ▶ In Produkt-THG-Bilanzen, wie sie gemäß den Regeln der RED zu berechnen sind,⁹ werden bisher in der Regel Emissionen aus der Holzernte und -verbrennung und die durch Holzernte veränderte Dynamik des Waldwachstums bzw. des Holzproduktspeichers nicht berücksichtigt. Wenn Produkt-THG-Bilanzen für eine Bewertung herangezogen werden sollen, ob und in welchem Umfang die Holzenergienutzung das nationale THG-Inventar verbessert, erscheint es aber notwendig, die genannte Lücke der Produkt-THG-Bilanz zu schließen.

Um zu überprüfen, in welchem Umfang Emissionen aus Holzernte und -verbrennung in Produkt-THG-Bilanzen aufgenommen werden sollten, wurde das Konzept des sogenannten CO₂-Speichersaldos entwickelt (siehe Pingoud et al. 2016 und Hennenberg et al. 2019), für den

⁸ RED: Renewable Energy Directive - Richtlinie (EU) 2018/2001, geändert durch Richtlinie (EU) 2023/2413 (RED III); <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L.202302413>

⁹ Der im Folgenden verwendete Begriff „THG-Bilanz“ bezieht sich stets auf diesen von der RED gesetzten Rechtsrahmen.

bereits eine breite Datenbasis vorliegt (Soimakallio et al. 2022). Praktisch in Produkt-THG-Bilanzen angewendet wurde der CO₂-Speichersaldo von Fehrenbach et al. (2021).

Der CO₂-Speichersaldo analysiert die Veränderungen der Senkenleistung in Wäldern, die mit der Holzentnahme zusammenhängen. Dazu werden zwei Waldbewirtschaftungsszenarien mit unterschiedlich starker Holzentnahme modelliert (Szenario hohe Holzentnahme, Szenario niedrige Holzentnahme). Zwei Größen der Modellergebnisse werden ins Verhältnis gesetzt:

- ▶ Unterschied im CO₂-Speicher im Szenario mit hoher Holzentnahme und im Szenario mit niedriger Holzentnahme
- ▶ Unterschied in der Holzentnahme der beiden Szenarien.

Der Quotient aus beiden Differenzgrößen ergibt so den CO₂-Speichersaldo. Dieser drückt aus, wie stark sich die Senkenleistung im Wald je im gleichen Zeitraum entnommener Holzmenge verändert. Er kann in folgenden Einheiten dargestellt werden:

- ▶ t CO₂/m³
- ▶ g CO₂-Äq./MJ
- ▶ oder auch $t C_{\text{Waldsenke}} / t C_{\text{Holzentnahme}}$.

Nach Soimakallio et al. (2022) liegt für boreale und temperate Wälder der mittlere CO₂-Speichersaldo bei 1,2 t CO₂/m³ (Standardabweichung ±0,7 t CO₂/m³; alle Betrachtungszeiträume). Hierfür wurden 154 Szenarienpaare aus 45 internationalen Simulationsstudien analysiert.¹⁰

Im Projekt BioSINK wurden zudem für den Wald in Deutschland Holzenergieszenarien mit unterschiedlich hoher Holzentnahme modelliert. Der ermittelte CO₂-Speichersaldo liegt auch hier in der Größenordnung wie in Soimakallio et al. (2022).

Der Vorteil des CO₂-Speichersaldos ist, dass in der Analyse die Dynamik der Waldentwicklung einfließt. So werden auf Bestandesebene Kohlenstoffverluste im Wald durch Holzernte, Durchforstung und natürliche Mortalität berücksichtigt, aber auch veränderte Zuwächse durch eine veränderte Bestandsstruktur. So zeigt sich, dass ein höherer Zuwachs jüngerer Bestände den Verlust durch die Holzernte im Wald nicht ausgleichen kann. Der Nachteil des CO₂-Speichersaldos ist, dass es methodisch schwierig ist, Ergebnisse 1:1 in eine Produkt-THG-Bilanz einzubinden. Der Speichersaldo stellt die Summe aus zwei unterschiedlichen Effekten dar:

- ▶ Verringerung des Kohlenstoffspeichers auf der Waldfläche durch die Holzentnahme: Dieser Wert entspricht der im Holz gespeicherten Menge an Kohlenstoff. Für Buche und Eiche liegt der Wert bei ca. 1,0 t CO₂/m³ und für Nadelbäume bei ca. 0,7 t CO₂/m³ bzw. bei 102 g CO₂/MJ für beide Holzarten (UBA 2022). Dieser Wert kann durch Messungen baumartenspezifisch ermittelt, direkt dem geernteten Holz zugeordnet und einfach in Produkt-THG-Bilanzen integriert werden. Wird das Holz verbrannt, wird eine entsprechende Menge an CO₂ als Verbrennungsemissionen freigesetzt. Wird das Holz stofflich genutzt, findet diese Emission (noch) nicht statt (Holzproduktspeicher).

¹⁰ Nähere Informationen zum Thema Wald-Senkenleistung und Auswirkungen auf die Emissionen von Holz finden sich unter <https://co2-speichersaldo.de>, <https://www.oeko.de/blog/red-iii-methodik-in-der-treibhausgasbilanz-fuer-energieholz-fehlt-ein-wichtiger-aspekt-der-ipcc-regeln/> und Hennenberg et al. (2023).

- ▶ CO₂-Emissionen auf der Waldfläche durch dynamische Prozesse: Mit der Holzernte und Waldbewirtschaftung gehen dynamische Prozesse einher. Schlagabraum und Wurzeln verrotten, junge Baumindividuen schließen Lücken nach Einschlag, nach Durchforstung wachsen verbliebene Bäume stärker etc. Diese dynamischen Prozesse haben – in Anlehnung an Soimakallio et al. (2022) – eine Größenordnung von ca. 0,4 t CO₂/m³ und die oben angeführte Standardabweichung von ±0,7 t CO₂/m³ ist hier zu verorten. Dieser Anteil des CO₂-Speichersaldos ist also gekennzeichnet durch eine hohe Variabilität in Abhängigkeit vom Bestand. Er ist nur über Modellierung zu ermitteln und ist daher sehr schwierig in THG-Bilanzen zu integrieren.

Es ist aber zu erkennen, dass die dynamischen Prozesse über die Bandbreite betrachtet überwiegend zu einer weiteren Erhöhung der durch die Holzentnahme berechneten CO₂-Emissionen führen würden. Vor diesem Hintergrund wird im Projekt BioSINK empfohlen, die Menge an Kohlenstoff, die im Holz gespeichert ist und bei der Holzverbrennung als CO₂ frei wird, in den Produkt-THG-Bilanzen von Holzenergie zu berücksichtigen. Weitere Emissionen, die mit dynamischen Prozessen auf der Waldfläche zusammenhängen, sollten aus methodischen Gründen aktuell nicht in die Produkt-THG-Bilanz einfließen. So ist die vorgeschlagene Weiterentwicklung der Produkt-THG-Bilanz als konservativ zugunsten der Holzenergienutzung einzustufen, da vor dem Hintergrund der aktuellen Bestandsstruktur der Wälder ein Teil der zu erwartenden Emissionen weiterhin nicht berücksichtigt wird.

4 Abgeleitete Emissionsfaktoren für Holzfeuerung im CO₂-Rechner des UBA und offene Fragen

Der UBA-CO₂-Rechner folgt bei Waldholz den Empfehlungen aus dem Projekt BioSINK und weist deshalb Holzbrennstoffen die im Holz gebundenen und bei der Verbrennung freiwerdenden CO₂-Emissionen zu. Ebenso folgt der UBA-CO₂-Rechner der Empfehlung, die darüber hinaus gehenden CO₂-Emissionen, die mit den durch die Holzentnahme ausgelösten dynamischen Prozessen auf der Waldfläche einhergehen, aufgrund der oben beschriebenen methodischen Schwierigkeiten nicht zu berücksichtigen. Für folgende Holzarten verbleibt der Emissionsfaktor im CO₂-Rechner hingegen vorerst bei null:

- ▶ **Holz aus Garten- und Landschaftspflege:** Hierbei handelt es sich um Holz, für welches keine Perspektive für einen Zuwachs des Kohlenstoffspeichers im Garten oder in der Landschaft vorliegt. Dieses Holz könnte zwar alternativ für stoffliche Nutzung eingesetzt werden, was jedoch nicht die Speicherdynamik der betreffenden Biomasseentwicklung auf der betrachteten Fläche berührt.¹¹
- ▶ **Altholz:** Hier handelt es sich um einen Stoff aus dem Post-Konsumbereich. Dabei stellt sich die Frage einer Allokation zwischen der Nutzung als Produkt im vorherigen Lebensweg und der energetischen Altholzverwertung. Im Endeffekt müssen auch die CO₂-Emissionen der Altholzverbrennung bilanziert werden. Eine vollständige Zurechnung auf diese Endnutzung ist aber strittig, da durch die produktspezifische Verarbeitung die Verbrennung als

¹¹ Aus dem gleichen Grund wäre Biomasse aus agrarischer Produktion vorerst kein CO₂-Emissionsfaktor zuzuweisen, da ein Landwirtschaftssystem als solches ebenfalls keine Perspektive für einen Speicherzuwachs aufweist, zumindest nicht in der Dimension eines Waldes. Was die Bewertung der CO₂-Emission aus der Nutzung dieser Art Biomasse betrifft, bedarf es der Entwicklung weiterer Ansätze.

Entsorgung irgendwann quasi alternativlos erfolgen muss.¹² Daher wird vorerst für die Altholzverbrennung – die im Grunde das Ende einer Kaskadennutzung darstellt – kein CO₂-Emissionsfaktor angesetzt. Für den bürgerbezogenen CO₂-Rechner ist Altholz auch bisher kaum relevant, kann jedoch bei Biomasse-Heizkraftwerken vor allem für Fernwärme bedeutsam sein.

Da gemäß diesem Vorschlag für Waldholz CO₂-Emissionsfaktoren anzusetzen sind, gilt dies für alle Sortimenten von Holz, die auf direkt dem Wald entnommenen Holzstoffströmen beruhen. Dies gilt somit für Stammholz wie für Industrierestholz (Durchforstungsholz). Und es gilt auch für Holzstoffströme der Verarbeitung von Stammholz, sofern es sich nicht um explizite Abfälle handelt. Somit werden auch für Industrierestholz (Sägenebenprodukte) CO₂-Emissionsfaktoren angesetzt, da es für diese definierte Absatzmärkte gibt.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob Industrierestholz in gleicher Weise mit dem CO₂-Emissionsfaktor zu belasten ist wie Schnittholz, dem Hauptprodukt der Sägewirtschaft. Als Abfall, der frei von Lasten aus der Produktionskette zu setzen ist, ist Industrierestholz jedoch nicht einzustufen, da es einen Marktwert hat und verschiedene Branchen (Holzwerkstoffindustrie, Papierindustrie) darum konkurrieren. Es handelt sich bei dieser Frage somit um ein klassisches Allokationsproblem. Allerdings „verschwinden“ Emissionen nicht durch Allokation. Stellt man die Sägenebenprodukte von der Emission frei, sind diese dem Schnittholz zuzurechnen. Aus diesen Gründen werden vorerst keine Allokationen vorgenommen.

Mit diesem Ansatz und den in Tabelle 1 aufgeführten Basisdaten werden die in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengestellten Emissionsfaktoren abgeleitet.

¹² Zumindest so lange das dauerhafte Bunkern von Altholz keine mögliche Option darstellt.

Tabelle 1: Basisdaten für die Ermittlung von CO₂-Emissionsfaktoren für Energie aus Holzbrennstoffen

	Anteil *	Wassergehalt **	Dichte (Raummeter**, t/m ³)	Dichte (Schüttraummeter**, t/m ³)	C-Gehalt ** (% der TM)	Heizwert (in GJ/t FM)
Holzpellets						
Industrierestholz	90 %	10 %	0,65		51,9 %	16,5
Waldholz	10 %	10 %	0,65		50,0 %	16,5
Stückholz						
Waldholz (Laub-/Nadelholz)		15 %	0,445		50,0 %	15,6
Aus eigener Gartenpflege		15 %	0,445		50,0 %	15,6
Holzhackschnitzel						
Wald, Nadelholz	59,0 %	15 %		0,295	50,0 %	15,6
Wald, Laubholz	24,6 %	15 %		0,194	50,0 %	15,6
Landschaftspflegeholz	13,6 %	15 %		0,295	50,0 %	14,3
Industrierestholz	2,9 %	15 %		0,194	50,0 %	15,6

Quelle: Gemeinsamer Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE (Hennenberg et al. 2022), soweit nicht anders vermerkt.

* Typische Zusammensetzung in Deutschland

** Quelle: Diestel und Weimar (2014) (51,9 % für Holz ohne Rinde und 50,0 % für Holz mit Rinde).

Tabelle 2: Direkte und indirekte THG-Emissionsfaktoren für Energie aus Holzbrennstoffen

	Direkte Emissionen						Vorkette	Gesamt
	CO ₂			CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -Äq	CO ₂ -Äq	CO ₂ -Äq
	t/t FM	t/m ³ *)	t/TJ **)	t/TJ **)	t/TJ **)	t/TJ **)	t/TJ **)	t/TJ **)
Holzpellets								
Industrierestholz	1,71	1,11	103,8	0,0011	0,0003	103,9	1,47	105,4
Waldholz	1,65	1,07	100,0	0,0011	0,0003	100,1	3,6	103,7
Mittlere Zusammensetzung	1,71	1,11	103,4	0,0011	0,0003	103,5	1,68	105,2
Stückholz								
Typ 1: Waldholz (Laub-/Nadelholz)	1,56	0,69	99,9	0,136	0,0019	104,2	2,62	106,8
Typ 2: Stückholz eigener Garten (Gartenpflege)	0	0	0	0,136	0,0019	4,3	1,3	5,6
Holzhackschnitzel								
Wald, Nadelholz	1,56	0,46	99,9	0,0014	0,0003	100,0	1,67	101,7
Wald, Laubholz	1,56	0,30	99,9	0,0014	0,0003	100,0	1,67	101,7
Landschaftspflegeholz	0	0	0	0,0014	0,0003	0,1	0,64	0,8
Industrierestholz	1,56	0,30	99,9	0,0014	0,0003	100,0	1,67	101,7
Mittlere Zusammensetzung	1,35	0,35	86,41	0,0014	0,0003	86,5	1,53	88,1

Quelle: Emissionsfaktoren aus BioSINK (Hennenberg et al. 2024)

*) für Stückholz in Raummeter (Ster), für Holzhackschnitzel in Schüttraummeter (SRM)

**) entspricht auch g CO₂/MJ bzw. g CO₂-Äq./MJ

***) entspricht auch g CH₄/MJ; Umrechnungsfaktor in CO₂-Äq. = 28

****) entspricht auch g N₂O/MJ; Umrechnungsfaktor in CO₂-Äq. = 265

Tabelle 3: THG-Emissionsfaktoren für Energie aus Holzbrennstoffen

	Gesamtemissionen (CO ₂ -Äq.)		
	t/t FM	t/Volumen *)	t/TJ **)
Holzpellets	1,74	1,13 t/m ³	105,2
Stückholz			
Typ1: Waldholz (Laub-/Nadelholz)	1,67	0,742 t/Ster	106,8
Typ2: Stückholz eigener Garten	0,09	0,039 t/Ster	5,6
Holzhackschnitzel	1,37	0,367 t/SRM	88,1

*) für Stückholz in Raummeter (Ster), für Holzhackschnitzel in Schüttraummeter (SRM)

**) entspricht auch g CO₂-Äq/MJ

5 Literaturverzeichnis

- Böttcher, H.; Hennenberg, K.; Winger, C. (2018): FABio-Waldmodell. Öko-Institut e.V. <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/fabio-waldmodell> (03.08.2021).
- Diessel, Sylvia; Weimar, Holder (2014): Der Kohlenstoffgehalt in Holz- und Papierprodukten – Herleitung und Umrechnungsfaktoren. Thünen Working Paper 38, Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, Hamburg. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn054392.pdf (21.07.2024)
- Fehrenbach, H.; Bischoff, M.; Böttcher, Hannes; Reise, Judith; Hennenberg, Klaus Josef (2022): The missing limb: Including impacts of biomass extraction on forest carbon stocks in greenhouse gas balances of wood use. In: *Forests* 13, 365, S. 1–14. <https://doi.org/10.3390/f13030365> (21.07.2024).
- Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Wiegmann, K.; Reise, J.; Fehrenbach, H. (2019): Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten. In: *AFZ-DerWald*, 17/2019, S. 36–39. https://co2-speichersaldo.de/media/Hennenberg_Oekobilanz_sl.pdf (21.06.2024).
- Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Köhler, B.; Reise, J.; Köppen, S. et al. (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie - Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Öko-Institut; Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu); Informationssysteme für Rohstoffe (INFRO). Dessau-Roßlau (Climate Change, 12/2022). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_12-2022_aktuelle_nutzung_und_foerderung_der_holzenergie.pdf (21.07.2024).
- Hennenberg, K.; Bürck, S.; Fehrenbach, H.; Pfeiffer, M.; Köppen, S. (2023): Trägt die Energienutzung von Waldholz zum Klimaschutz bei? In: *AFZ DerWald* (3/2023), S. 31–34. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Hennenberg-et-al_2023_Traegt_die_Energienutzung_von_Wald_holz_zum_Klimaschutz_bei_Energieholz_07_2022_MKG.pdf (21.07.2024).
- Hennenberg, K.; Pfeiffer, M.; Benndorf, A.; Böttcher, H.; Reise, J.; Mantau, U.; Köppen, S.; Fehrenbach, H.; Bürck, S. (2024): Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken (BioSINK). ifeu; INFRO; Öko-Institut e.V., Darmstadt; Berlin; Heidelberg; Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkungen-der-energetischen-nutzung-forstlicher> (19.08.2024).
- IPCC (2006) (Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. (eds.)): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (21.07.2024).
- Pfeiffer, M.; Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Reise, J.; Mantau, U. (2023): Referenzszenario der Holzverwendung und der Waldentwicklung im UBA-Projekt BioSINK. Öko-Institut. Öko-Institut Working Paper 4/2023, Öko-Institut, Berlin. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Referenzszenario-BioSINK.pdf> (21.06.2024)
- Pingoud, K.; Ekholm, T.; Soimakallio, S.; Helin, T. (2016): Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *Gcb Bioenergy*, 8(1), 171–182.
- Rougieux, P.; Pilli, R.; Blujdea, V.; Mansuy, N.; Mubareka, S. B. (2024): Simulating future wood consumption and the impacts on Europe’s forest sink to 2070. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC136526> (30.04.2024).
- Rüter, S. (2023): Abschätzung von Substitutionspotentialen der Holznutzung und ihre Bedeutung im Kontext der Treibhausgas-Berichterstattung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 50 p, Thünen Working Paper 214, DOI:10.3220/WP1685603200000, https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn066391.pdf (21.07.2024).

Schindler, H.; Majer, S.; Thrän, D.; Lenz, V. (2023): Nachhaltigkeit von Holzenergie: Diskussionspapier. Leipzig: DBFZ. III, 4-35 S. DOI: 10.48480/EDBC-EC31. https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Statements/Diskussionspapier_Nachhaltigkeit_Holzenergie.pdf (21.07.2024).

Soimakallio, S.; Böttcher, H.; Niemi, J.; Mosley, F.; Turunen, S.; Hennenberg, K.; Reise, J.; Fehrenbach, H. (2022): Closing an Open Balance: the Impact of Increased Roundwood Harvest on Forest Carbon. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/qcbb.12981> (21.07.2024).

Umweltbundesamt (UBA) (2022): Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (1990 – 2020). Korrigierter Endstand: 15.01.2022 (Excel-Tabelle).

Umweltbundesamt (UBA). Dessau.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/co2_ef_liste_2022_brennstoffe_und_industrie_final.xlsx (21.06.2024).

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet:
www.umweltbundesamt.de
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Stand: Oktober 2024

Autorenschaft, Institution

Horst Fehrenbach, Susanne Köppen, Angelika Paar, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH, Heidelberg
Dr. Klaus Hennenberg, Dr. Mirjam Pfeiffer, Öko-Institut e.V., Darmstadt, Berlin
Dr. Michael Bilharz, Umweltbundesamt