Bilanzierung von Holz im CO_2-Rechner

Horst Fehrenbach, Susanne Köppen, Angelika Paar

Stand: 02.05.2024

Vorbemerkung

Mit dem UBA-CO_2-Rechner kann jede und jeder den persönlichen CO_2-Fußabdruck bestimmen. Es handelt sich um ein Instrument zur Bilanzierung der persönlich verursachten CO_{2e}-Emissionen. Datengrundlage für den UBA-CO_2-Rechner sind u. a. die jeweils aktuellsten Daten der AG Energiebilanzen zum Energieverbrauch in Deutschland[1], Daten aus dem Emissionsberechnungsmodell TREMOD für Verkehrsemissionen[2], Daten der umweltökonomischen und volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung[3]. Der CO_2-Rechner wird jährlich aktualisiert. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse fließen in Abstimmung mit dem UBA in diese jährlichen Aktualisierungs- und Überarbeitungsprozesse ein.

Die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise zu Emissionsfaktoren für die Bilanzierung von Holz im CO_2-Rechner beruht im Kern auf den Ergebnissen des aktuellen Forschungsprojekts des Umweltbundesamts *„Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken* (BioSINK)“. Dessen Veröffentlichung steht bevor. Die darin abgeleiteten Emissionsfaktoren spiegeln einen Vorschlag wider, wie die bisher übliche Praxis der Anrechnung einer Null-Emission bei der energetischen Nutzung von Holz angepasst werden kann. Dazu wurden umfassende Literaturstudien und Modellrechnungen für Forstentwicklungen durchgeführt. Der Vorschlag des Projekts BioSINK bietet eine mögliche Lösung der komplexen Aufgabe, wie diese Emissionen abgeschätzt werden können. Die Forschung zu dieser Thematik ist dynamisch und es ist davon auszugehen, dass diese Emissionsfaktoren weitere Entwicklung erfahren werden.

Für den CO_2-Rechner werden derzeit die Ergebnisse des Projekts BioSINK verwendet. Sollte es zukünftig durch weitere Forschungstätigkeit zu anderen Ergebnissen kommen, werden diese im CO_2-Rechner überarbeitet.

Hintergrund und Zielsetzung

Das bei der Verbrennung von Holz entstehende CO_2 wurde bisher in der THG-Bilanzierung mit Null angesetzt. Die Begründung war: Holz ist ein nachwachsender Rohstoff. Er speichert CO_2, welches am Ende seines Lebensweges (durch Verrottung oder Verbrennung) in die Atmosphäre zurückkehrt. Der Kohlenstoff befindet sich somit im Kreislauf. Diese Betrachtung ist jedoch zu kurz gefasst bzw. idealisiert, v.a. in globaler Perspektive halten sich das

[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

Wachstum von Bäumen und die Nutzung von Holz nicht zwangsläufig die Waage. Wird dem Wald mehr entnommen als nachwächst, ist das Gleichgewicht gestört.

Deshalb wird künftig im CO_2-Rechner das im Holz gebundene CO_2 bei der Verbrennung in die THG-Bilanzierung einbezogen. Dafür wird zwischen Waldholz und Holz aus der Grün- und Gartenpflege unterschieden. Bei letzterem – so die Annahme – verringert die Entnahme von Holz keine bilanzierte Senkenleistung, da diese Flächen nicht mit Wald vergleichbare Speicher bilden können. Deshalb werden hier geringere CO_2-Emissionsfaktoren angesetzt. Mit dieser THG-Bilanzierung wird deutlich, dass die energetische Nutzung von Holz aus dem Wald (z.B. in Form von Scheitholz aus Stammholz) nicht klimaneutral ist und z. B. eine Dämmung der Gebäudehülle auf alle Fälle höchste Priorität hat.

Wissenschaftliche Neubewertung der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse

Mehrere Institute untersuch(t)en in verschiedenen Forschungsprojekten das Thema Biomasse und ihre Bewertung. In allen Projekten stellt das novelllierte Klimaschutzgesetz mit seinem LULUCF[1]-Senkenziel (-40 Mio. t CO_2-Äq. bis 2045) einen zentralen Orientierungspunkt dar. Vor diesem Hintergrund ist eine breite wissenschaftliche Debatte entbrannt, ob und wie die Senkenwirkung der Holzentnahme aus dem Wald auf Produktebene berücksichtigt werden soll. Folgende Projekte und Veröffentlichungen sind zu nennen:

- BioSink (Auftraggeber UBA), Laufzeit April 2021 bis Dezember 2023, Partner: Öko-Institut, INFRO e.K. – Informationssysteme für Rohstoffe:
  Es wird die Auswirkung der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse in Deutschland auf deutsche und internationale LULUCF-Senken in einem Modellverbund modelliert.
- DIFENS (Förderung: FNR – Waldklimafonds), Laufzeit Dezember 2021 bis Dezember 2024, Partner: Öko-Institut, INFRO e.K., 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) nur deshalb als „CO_2-neutral“ bezeichnet werden, um Doppelbuchungen mit dem Sektor LULUCF zu vermeiden.
- DBFZ: Schindler et al. (2023) eine stark steigende Nachfrage nach Holz für Energie zu einer Entnahme an Holz, die höher wäre als der Zuwachs, würde dies die Kohlenstoffbilanz des Waldes negativ beeinflussen. Dies wäre ein deutlicher Indikator für eine negative Klimabilanz der entsprechenden Holzenergiepfade

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 (Energie-)Holz. In der bisherigen Konvention werden die bei der Verbrennung von Holzbrennstoffen entstehenden CO_2-Emissionen in Treibhausgasbilanzen mit Null angesetzt. Die Begründung: Holz und Biomasse generell sind nachwachsende Rohstoffe, deren Kohlenstoffgehalt zeitlich gebunden ist und am Lebensende

[1] Landnutzung (engl. **L**and **U**se, LU), Landnutzungsänderungen (engl. **L**and-**U**se **C**hange, LUC) und Forstwirtschaft (engl. **F**orestry, F),

(Zerfall oder Verbrennung) als CO_2 in die Atmosphäre zurückkehrt, aus der es zuvor aufgenommen worden war. Der Kohlenstoff befindet sich somit im Kreislauf. Diese Betrachtung ist jedoch idealisiert, denn Wachstum von Biomasse und deren Nutzung halten sich keineswegs zwangsläufig die Waage. Wird dem Wald mehr entnommen als nachwächst, ist das Gleichgewicht gestört.

Tatsächlich geht jedoch die globale Bilanz des biogenen CO_2 nicht auf: nach IPCC (2019) wurden im Zeitraum 2007 bis 2016 jährlich im Mittel 5,2 Mrd. Tonnen CO_2 netto im AFOLU-Sektor (Agriculture, Forestry and Other Land Use) emittiert, sowohl durch Landnutzungsänderung, einschließlich Entwaldung und Aufforstung/Wiederaufforstung als auch durch Holzernte. Im nationalen Inventar Deutschlands liegt die Nettobilanz des sogenannten LULUCF-Sektors seit Jahren im negativen Bereich, d. h. der LULUCF-Sektor stellt in Deutschland eine Senke dar. Diese nimmt jedoch seit Jahren kontinuierlich ab und es wird projiziert, dass bis 2025 der Sektor zu einer Quelle wird (Repenning et al. 2021). Der Grund: Die Senkenleistung des Waldes nimmt erheblich ab, v. a. aufgrund einer verstärkten Holzentnahme.

Während diese Emissionen bzw. Senken unter AFOLU oder LULUCF separat auf nationaler oder globaler Ebene bilanziert werden, bleiben die damit einhergehenden Nutzanwendungen (insb. die Holznutzung im Energiesektor) davon unberührt: Ihre Emissionsbilanz wird weiterhin als neutral unterstellt. Dabei lässt sich die mit einem entnommenen Volumen an Holz verbundene Reduktion an Senkenleistung des Waldes schlüssig in CO_2-Emissionen überführen. Als geeignete Größe wird u. a. der sogenannte CO_2-Speichersaldo erachtet. Dieser wurde vom Öko-Institut entwickelt und mit breiter Datenbasis unterlegt (Soimakallio et al. 2022). Praktisch angewendet wurde er von Fehrenbach et al. (2021).

Der CO_2-Speichersaldo lässt, wie die IPCC-Regeln, die direkten Emissionen der Verbrennung außer Acht und setzt stattdessen zwei messbare Beobachtungen ins Verhältnis:

- Unterschied im CO_2-Speicher in zwei Forsten mit unterschiedlich intensiver Bewirtschaftung
- Unterschied zwischen den beiden Forsten im Holzertrag.

Der Quotient aus beiden Differenzgrößen ergibt so den CO_2-Speichersaldo. Dieser drückt also aus, wie stark sich die Senkenleistung im Wald je entnommener Holzmenge verändert. Er kann in folgenden Einheiten dargestellt werden: CO_2/m^3, g CO_2-Äq./MJ oder auch t $C_{Waldsenke}$ / t $C_{Holzentnahme}$.

Nach Soimakallio (et al. 2022) liegt für boreale und temperate Wälder der mittlere CO_2-Speichersaldo bei 1,2 t CO_2/m^3 (Standardabweichung ±0,7 t CO_2/m^3; alle Betrachtungszeiträume). Hierfür wurden 154 Szenarienpaare aus 45 internationalen Simulationsstudien analysiert. Nähere Informationen zum Thema Wald-Senkenleistung und Auswirkungen auf die Emissionen von Holz finden Sie unter https://co2-speichersaldo.de.[1]

In welcher Höhe die CO_2-Emission für Holzfeuerung nach Maßgabe der IPCC-Regeln liegt, ist also gekoppelt an die Dynamik der Waldentwicklung, die über eine Modellierung von Waldbeständen ermittelt werden kann. Dies ist jedoch einerseits aufwendig, und andererseits ist es methodisch schwierig, die Ergebnisse einer Waldmodellierung in die THG-Bilanzierung zu

[1] Es sei angemerkt, dass der CO_2-Speichersaldo auch für Waldholz gilt, das stofflich genutzt wird, z. B. für langfristige Nutzung im Baubereich. In diesen Fällen ist zu beachten, dass im LULUCF-Sektor auch der Speichereffekt in Holzprodukten (Harvested Wood Products) bilanziert wird. Wird in THG-Bilanzen für solche Produkte der CO_2-Speichersaldo im Wald angerechnet, muss korrekterweise auch der Produktspeicher mit einbezogen werden.

integrieren (z.B. zeitverzögerte Effekte nach der Holzentnahme). Hinzu kommt, dass für Effekte eine deutliche, bestandsabhängige Variabilität besteht. Das in den Abschnitten oben beschriebene Konzept des Speichersaldos stellt einen stark generischen Ansatz dar, um diese Effekte zu quantifizieren, unterliegt aber den vorangehend genannten methodischen Schwierigkeiten.

Als Alternative zur konkreten Berechnung eines CO_2-Speichersaldos für die verringerte CO_2-Senkenleistung des Waldes durch die Holzentnahme bietet sich die Anrechnung der Freisetzung des biogenen CO_2 durch die Holzverbrennung an. So sind im Holz von Bäumen zwischen 1,0 und 1,4 t CO_2 pro m³ gespeichert bzw. lt. UBA (2022a) bei 102 g/MJ. Somit läge die Anrechnung dieser Emission im gleichen Bereich wie der mittlere CO_2-Speichersaldo von 1,2 t CO_2/m³ (Soimakallio et al. 2022). Diese Vorgehensweise wurde auch im Rahmen des Projekts BioSINK gewählt.

Abgeleitete Emissionsfaktoren für Holzfeuerung im CO_2-Rechner des UBA

Aufgrund der oben beschriebenen methodischen Herausforderungen bei der Ermittlung der Faktoren auf Basis des Speichersaldos schlägt die UBA-Studie BioSINK vor, für die Bestimmung von CO_2-Emissionsfaktoren von Holz im UBA CO_2-Rechner nicht die Dynamik auf der Waldfläche, sondern die direkten CO_2-Emissionen bei der Verbrennung von Holz anzusetzen. Da der ursächliche Zusammenhang aber mit dem Einfluss auf das Speicherpotenzial des Waldsystems einhergeht, wird ein solcher Emissionsfaktor vorerst nur für Waldholz angesetzt. Für folgende Holzarten verbleibt der Emissionsfaktor bei Null:

- Holz aus Garten- und Landschaftspflege, da es sich hierbei um Holz handelt, für welches eine Perspektive für einen Speicherzuwachs nicht vorliegt. Dieses Holz könnte zwar alternativ für stoffliche Nutzung eingesetzt werden, was jedoch nicht die Speicherdynamik der betreffenden Biomasseentwicklung berührt.
- Altholz (für den bürgerbezogenen CO_2-Rechner bisher kaum relevant, kann jedoch bei Biomasse-Heizkraftwerken vor allem für Fernwärme bedeutsam sein), da es sich hier um einen Stoff aus dem post-Konsumbereich handelt. Hier stellt sich die Frage einer Allokation zwischen der Nutzung als Produkt im vorherigen Lebensweg und der energetischen Altholzverwertung. Im Endeffekt müssen auch die CO_2-Emissionen der Altholzverbrennung bilanziert werden. Eine vollständige Zurechnung auf diese Endnutzung ist aber strittig, da durch die produktspezifische Verarbeitung die Verbrennung als Entsorgung irgendwann quasi alternativlos erfolgen muss.[1] Daher wird vorerst für die Altholzverbrennung kein CO_2-Emissionsfaktor angesetzt.

Da gemäß diesem Vorschlag für Waldholz CO_2-Emissionsfaktoren anzusetzen sind, gilt dies für alle Sortimente von Holz, die auf direkt dem Wald entnommenen Holzstoffströmen beruhen. Dies gilt somit für Stammholz wie für Industrieholz (Durchforstungsholz). Und es gilt auch für Holzstoffströme der Verarbeitung von Stammholz, sofern es sich nicht um explizite Abfälle handelt. Somit sind auch für Industrierestholz (Sägenebenprodukte wie z. B. Pellets) CO_2-Emissionsfaktoren anzusetzen, für die es schließlich definierte Absatzmärkte gibt.

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

[1] Zumindest so lange das dauerhafte Bunkern von Altholz keine mögliche Option darstellt.

Tabelle 1: Basisdaten für die Ermittlung von CO_2-Emissionsfaktoren für Energie aus Holzbrennstoffen

	Anteil*)	**Wasser-gehalt **)**	**Dichte** Raumme-ter**) t/m³	**Dichte** Schüttraum-meter**) t/m³	**C-Gehalt **)** % der TM	**Heizwert in GJ/t**
Holzpellets						
Industrierestholz	90%		0,65		51,9%	17,1
Waldholz	10%		0,65		50,0%	17,1
Stückholz		*15%*	0,445		50%	16,2
Holzhackschnitzel						
Wald, Nadelholz	59,0%	*15%*		0,295	50%	15,6
Wald, Laubholz	24,6%	*15%*		*0,194*	50%	12,1
Landschaftspflegeholz	13,6%	*15%*		0,295	50%	
Industrierestholz	2,9%	*15%*		*0,194*	50%	15,6

Quelle: BioWISE https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/aktuelle-nutzung-foerderung-der-holzenergie soweit nicht anders vermerkt

*) Typische Zusammensetzung in DE

**) Quelle: Thünen-Institut https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn054392.pdf (51,9% für Holz ohne Rinde und 50% für Holz mit Rinde).

Tabelle 2: Direkte CO_2-Emissionsfaktoren für Energie aus Holzbrennstoffen sowie Faktoren für Methan, Lachgas und die Summe als CO_2-Äquivalente und Faktoren für die THG-Emissionen der Vorkette

	Direkte Emission						**Vorkette**
	CO_2 t/ t	t/ m³ *)	t/TJ **)	CH_4 t/TJ **)	N_2O t/TJ **)	CO_2Äq t/TJ **)	CO_2Äq t/TJ **)
Holzpellets							
Industrierestholz	*1,74*	*1,13*	*102*	*0,0011*	*0,0003*	*102,1*	*1,47*
Waldholz	*1,74*	*1,13*	*102*	*0,0011*	*0,0003*	*102,1*	*3,56*
Gesamt						102,1	1,68
Stückholz							
Typ1: Stückholz (Wald, Buche)	1,62	0,720	106	0,136	0,0019	109,7	2,62
Typ2: Stückholz eigener Garten (Gartenpflege)	0	0	0	0,136	0,0019	4,0	1,3
Holzhackschnitzel							
Wald, Nadelholz	*1,62*	*0,460*	*100*				*1,67*
Wald, Laubholz	*1,62*	*0,302*	*129*				*1,67*
Landschaftspflegeholz	*0*	*0*					*0,64*
Industrierestholz	*1,62*	*0,302*	*104*				*1,67*
Mittlere Zusammensetzung	**1,35**	***0,354***	***93,6***	***0,0014***	**0,0003**	**93,7**	**1,53**

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

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

**) entspricht auch g CO_2/MJ

Tabelle 3: Gesamt THG-Emissionsfaktoren für Energie aus Holzbrennstoffen

	Gesamtemission (CO_2-Äq.)		
	t/ t	t/ Volumen*)	t/TJ **)
Holzpellets	1,77	1,15 t/m³	103,8
Stückholz			
Typ1: Stückholz (Wald, Buche)	1,72	0,76 t/Ster	112,3
Typ2: Stückholz aus Gartenpflege	0,08	0,04 t/Ster	5,3
Holzhackschnitzel	1,37	0,36 t/SRM	95,2

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

**) entspricht auch g CO_2/MJ

Literaturverzeichnis

Fehrenbach, H.; Bischoff, M.; Böttcher, H.; Reise, J.; Hennenberg, K. J. (2021): The Missing Limb: Including Impacts of Biomass Extraction on Forest Carbon Stocks in GHG Balances of Wood Use. Preprints.

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. S. 84. – Veröffentlichung steht bevor

Hennenberg, Klaus; Böttcher, Hannes; Braungardt, Sibylle; Köhler, Benjamin; Reise, Judith; Köppen, Susanne 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). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_12-2022_aktuelle_nutzung_und_foerderung_der_holzenergie.pdf

IPCC (2019): Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers. https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/ (09.06.2020).

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

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

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. Preprints.