

Bilanzierung von Holz im CO₂-Rechner



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Horst Fehrenbach, Susanne Köppen, Angelika Paar, Nils Rettenmaier

Stand: 19.04.2024

Das bei der Verbrennung von Holz entstehende CO₂ wurde bisher in der THG-Bilanzierung mit Null angesetzt. Die Begründung war: Holz ist ein nachwachsender Rohstoff. Er speichert CO₂, 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 Wachstum von Bäumen und die Nutzung von Holz nicht zwangsläufig die Waage. Wird dem Wald mehr entnommen als nachwächst, ist das Gleichgewicht gestört. Die Entnahme von Holz aus dem Wald verringert die Senkenleistung¹ des Waldes. Wird das Holz verbrannt, entstehen direkt CO₂-Emissionen.

Deshalb wird künftig im CO₂-Rechner das im Holz gebundene CO₂ bei der Verbrennung in die THG-Bilanzierung einbezogen. Dafür wird zwischen Waldholz und Holz aus der Grün- und Gartenpflege unterschieden. Bei letzterem verringert die Entnahme von Holz keine bilanzierte Senkenleistung, da diese Flächen nicht mit Wald vergleichbare Speicher bilden können. Deshalb werden hier geringere CO₂-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.

Hintergrund und Zielsetzung

Mit dem UBA-CO₂-Rechner kann jede und jeder den persönlichen CO₂-Fußabdruck bestimmen. Datengrundlage für den UBA-CO₂-Rechner sind u. a. Daten der AG Energiebilanzen zum Energieverbrauch in Deutschland², Daten aus dem Emissionsberechnungsmodell TREMOD für Verkehrsemissionen³, Daten der umweltökonomischen und volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung⁴. Bisher nicht enthalten sind Emissionen aus Landnutzung (engl. **Land Use**, LU), Landnutzungsänderungen (engl. **Land-Use Change**, LUC) und Forstwirtschaft (engl. **Forestry**, F), weder bezogen auf nationale Emissionen aus der Landwirtschaft, noch auf Importe aus dem Ausland. Tendenziell führt dies zu einer Unterschätzung der THG-Emissionen, insbesondere im Konsumfeld Ernährung. Im Rahmen des Vorhabens zur Weiterentwicklung des Rechners (FKZ 3721 37 3010) wurde geprüft, ob und wie LULUCF-Emissionen im Rechner integriert werden können. In einer ersten Voranalyse wurden folgende Empfehlungen dazu ausgesprochen:

¹ Kohlenstoffsinken wie z. B. der Wald erbringen eine sogenannte Senkenleistung. Das heißt, sie nehmen mehr Kohlenstoff auf, als sie abgeben, und speichern diesen. Wird mehr Holz aus Wäldern verbrannt als nachwächst, kann der Wald zu einer Kohlenstoffquelle (= negative Senke) werden.

² <https://ag-energiebilanzen.de/>

³ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-tremod-2019>

⁴ https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/_inhalt.html

- Emissionen aus LULUCF sollen vollumfänglich in allen Konsumfeldern (Ernährung, Wohnen, Mobilität, Konsum) des CO₂-Rechners implementiert werden, nicht nur im Ernährungsbereich wie ursprünglich im Rahmen der Leistungsbeschreibung angefragt.
- Es gibt bereits methodische Grundlagen, die ein Umlegen der LULUCF-Emissionen auf einzelne Produkte zulassen (sogenannte aLULUC-Verfahren).
- Es liegen aus vielen verschiedenen Projekten Erkenntnisse vor, welchen Einfluss LULUCF-Emissionen auf Produktbilanzen haben, allerdings nicht konsolidiert und systematisch ausgewertet. Insbesondere bei der Frage nach LULUCF-Emissionen in den Sektoren Wohnen (Holz als Energieträger und Baumaterial), Mobilität (Biotreibstoffe) und sonstiger Konsum (stofflich genutztes Holz, z. B. in Form von Papier, Textilien aus Naturfasern etc.) wären Datengrundlagen zu recherchieren.
- **Die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Auswirkungen der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse auf die Senkenleistung des Waldes in Deutschland und im Ausland sind essenziell und sollten in den CO₂-Rechner aufgenommen werden.**

Dieser letzten Punkt wurde nun im UBA-CO₂-Rechner abgebildet. Wie das umgesetzt wurde und weshalb es notwendig ist, Waldholz neu zu bewerten, wird im Folgenden hergeleitet.

Wissenschaftliche Neubewertung der energetischen Nutzung forstlicher Biomasse

Das ifeu sowie mehrere weitere Institute untersuch(t)en in mehreren Forschungsprojekten das Thema Biomasse und ihre Bewertung. In allen Projekten stellt das novellierte Klimaschutzgesetz mit seinem LULUCF-Senkenziel (-40 Mio. t CO₂-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 sind zu nennen:

- Langfristszenarien 3 (Auftraggeber BMWK), veröffentlicht im Mai 2021:
Es werden Szenarien für die zukünftige Entwicklung des Energiesystems modelliert, mit denen die energie- und klimapolitischen Ziele erreicht werden. Darüber hinaus wird untersucht, wie viel Energieholz aus dem Wald künftig zur Verfügung steht, wenn das LULUCF-Senkenziel erreicht werden soll.
- 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.

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 CO₂-Emissionen in Treibhausgasbilanzen mit Null angesetzt. Die Begründung: 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 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.

In den Regeln des IPCC zur Bilanzierung nationaler Treibhausgasinventare (IPCC 2006) ist das auch berücksichtigt: Alle Emissionen und Senken (engl.: removals) von biogenem CO₂ durch Nutzung und Zuwachs von Biomasse werden im sogenannten LULUCF-Sektor bilanziert. In den Sektoren, in denen Holz tatsächlich verbrannt wird (Energie, Industrie etc.) wird zur Vermeidung von Doppelzählungen die Emission des biogenen CO₂ zu Null gesetzt.

Tatsächlich geht jedoch die globale Bilanz des biogenen CO₂ nicht auf: nach IPCC (2019) wurden im Zeitraum 2007 bis 2016 jährlich im Mittel 5,2 Mrd. Tonnen CO₂ netto im AFOLU-Sektor (Agriculture, Forestry and Other Land Use) emittiert, sowohl durch Landnutzungsänderung, einschließlich Entwaldung und Aufforstung/Wiederaufforstung als auch durch Holzernnte. 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 Nutzenwendungen (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 CO₂-Emissionen überführen. Als geeignete Größe wird u. a. der sogenannte CO₂-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).

Es ist daher sachlich richtig, die CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung von Holz entstehen, in der Treibhausgasbilanz der Holzenergienutzung zu berücksichtigen. Der erwähnte CO₂-Speichersaldo bietet eine Möglichkeit dazu. Er lässt, wie die IPCC-Regeln, die direkten Emissionen der Verbrennung außer Acht und setzt stattdessen zwei messbare Beobachtungen ins Verhältnis:

- Unterschied im CO₂-Speicher in zwei Forsten mit unterschiedlich intensiver Bewirtschaftung
- Unterschied zwischen den beiden Forsten im Holzertrag.

Der Quotient aus beiden Differenzgrößen ergibt so den CO₂-Speichersaldo. Dieser drückt also aus, wie stark sich die Senkenleistung im Wald je entnommener Holzmenge verändert. Er kann in folgenden Einheiten dargestellt werden: CO₂/m³, g CO₂-Äq./MJ oder auch $t_{\text{Waldsenke}} / t_{\text{Holzentnahme}}$.

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. 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 CO₂-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 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.

Alternativ zur Anrechnung eines CO₂-Speichersaldos für die verringerte CO₂-Senkenleistung des Waldes durch die Holzentnahme ist auch die schlichte Freisetzung des biogenen CO₂ durch die Holzverbrennung denkbar. So sind im Holz von Bäumen zwischen 1,0 und 1,4 t CO₂ pro m³ gespeichert bzw. lt. UBA (2022a) bei 102 g/MJ. Bemerkenswerterweise läge die Anrechnung dieser Emission im gleichen Bereich wie der mittlere CO₂-Speichersaldo von 1,2 t CO₂/m³ (Soimakallio et al. 2022).

Emissionsfaktoren für Holzfeuerung im CO₂-Rechner des UBA

Die Erläuterungen zeigen, dass es gegen die Regeln des IPCC spricht und wissenschaftlich nicht haltbar ist, die direkten CO₂-Emissionen bei der Holzverbrennung und die CO₂-Effekte im Wald in der Produkt-THG-Bilanz mit Null zu bewerten. Somit ist eine THG-Bilanzierung von Holzenergie ohne Berücksichtigung dieser Emissionen unvollständig. Aufgrund der oben beschriebenen methodischen Herausforderungen bei der Ermittlung der Faktoren auf Basis des Speichersaldos wird vorgeschlagen, für die Bestimmung von CO₂-Emissionsfaktoren von Holz im UBA CO₂-Rechner nicht die Dynamik auf der Waldfläche, sondern die direkten CO₂-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 CO₂-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

¹ Es sei angemerkt, dass der CO₂-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 CO₂-Speichersaldo im Wald angerechnet, muss korrekterweise auch der Produktspeicher mit einbezogen werden.

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 Entsorgung irgendwann quasi alternativlos erfolgen muss.¹ Daher wird vorerst für die Altholzverbrennung kein CO₂-Emissionsfaktor angesetzt.

Da gemäß diesem Vorschlag für Waldholz grundsätzlich CO₂-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) CO₂-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.

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
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).

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

Tabelle 2: Direkte CO₂-Emissionsfaktoren für Energie aus Holzbrennstoffen sowie Faktoren für Methan, Lachgas und die Summe als CO₂-Äquivalente und Faktoren für die THG-Emissionen der Vorkette

	Direkte Emission					CO ₂ Äq t/TJ ^{**})	Vorkette CO ₂ Äq t/TJ ^{**})
	CO ₂ t/ t	t/ m ³ *)	t/TJ ^{**})	CH ₄ t/TJ ^{**})	N ₂ O t/TJ ^{**})		
Holzpellets							
<i>Industriestholz</i>	1,74	1,13	102	0,0011	0,0003	102,1	1,47
<i>Waldholz</i>	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							
<i>Wald, Nadelholz</i>	1,62	0,460	100				1,67
<i>Wald, Laubholz</i>	1,62	0,302	129				1,67
<i>Landschaftspflegeholz</i>	0	0					0,64
<i>Industriestholz</i>	1,62	0,302	104				1,67
Mittlere Zusammensetzung	1,35	0,354	93,6	0,0014	0,0003	93,7	1,53

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

***) entspricht auch g CO₂/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/m ³	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 CO₂/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.

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).

Repenning (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland. S. 369.

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.