

# Substitutionsfaktoren als Mittel zur Abschätzung der indirekten Treibhausgasemissionen der Holznutzung?

Joachim Rock<sup>1</sup>, Sebastian Rüter<sup>2</sup>

## Abstract

Durch die Nutzung von holzbasierten Produkten können Produkte aus anderen Materialien ersetzt werden, die einen höheren Treibhausgasausstoß verursachen, was „Substitutionseffekte“ bewirkt. Diese können allerdings in den nach international abgestimmten Regeln erstellten Treibhausgasinventaren weder direkt bestimmt noch der Holznutzung an sich zugeordnet werden, da sie als THG-Minderung in anderen Quellgruppen erfasst werden.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Versuche unternommen, z.B. über „Substitutionsfaktoren“ die Auswirkungen der Holz(be)nutzung auf die Waldbewirtschaftung zu beziehen und so eine „komplette“ Bilanz der Effekte der Bewirtschaftung zu erstellen. Diese dimensionslosen Faktoren sind in der Anwendung einfach und können theoretisch skaliert und über unterschiedliche Verwendungen hinweg kombiniert werden. Allerdings werden hierbei mehrere Rahmenbedingungen und Grundannahmen oft nicht beachtet (von zu beachtenden methodischen Vorgaben normgerechter Ökobilanzen bis zur Annahme der generellen Übertragbarkeit der ermittelten Emissionsdifferenzen definierter Produktsysteme über den gesamten Produktmarkt hinweg). In diesem Beitrag werden die Beschränkungen der Arbeit mit „Substitutionsfaktoren“ herausgestellt und ein System präsentiert, wie Substitutionseffekte zumindest im Gebäudebereich normgerecht und IPCC-konform ermittelt werden können.

Keywords: Substitution; Treibhausgasberichterstattung; Quellgruppe; THG-Berichterstattung; Holzprodukte

## 1 Einleitung

Im Rahmen der multidisziplinären Waldbewirtschaftung besteht auch die Frage nach einer "klimaoptimalen" Bewirtschaftung des Waldes. Das nach international abgestimmten Regeln durchgeführte Treibhausgasmonitoring (IPCC 2006, 2014, 2019) und die darauf basierende Berichterstattung zum Beispiel im Rahmen der Klimarahmenkonvention (UNFCCC 1992), des Kyoto-Protokolls (UNFCCC 1997) und des Pariser Übereinkommens (UNFCCC 2015) ermitteln und berichten Emissionen (und ggf. Entnahmen von Treibhausgasen bzw. deren Vorstufen aus der Atmosphäre) nach sog. Quellgruppen. Diese Quellgruppen sind nicht zwingend deckungsgleich mit Wirtschafts- oder gesellschaftlichen Sektoren. Die Klimarahmenkonvention und EU-Verordnungen und Regularien (European Commission and Council 2018) nutzen die Quellgruppen *Energie*,

*Industrieprozesse, Landwirtschaft, Abfall und Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft* (Land Use, Land Use-Change, and Forestry, LULUCF). Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG, Bundesregierung 2019) verwendet den Terminus *Sektor* und weist bei Energie noch die in der internationalen Berichterstattung hierunter subsumierten Quellgruppen *Verkehr* und *Gebäude* als separate *Sektoren* aus. Für alle Sektoren außer LULUCF sind im KSG verbindliche Minderungsziele als maximale Emissionen in festgelegt. Das Ziel für LULUCF ist nicht rechtsverbindlich, aber als Ziel zumindest in der politischen Debatte den anderen Zielen gleichgestellt.

In der waldbezogenen Berichterstattung wird Kohlenstoff in Holz nach dem Quellprinzip als emittiert betrachtet, wenn dieser die im Sektor LULUCF definierten Kohlenstoffspeicher *Biomasse* oder *Holzprodukte* wieder verlässt. Wird Holz als Energieträger eingesetzt, z. B. in den Quellgruppen *Energiewirtschaft inkl. Elektrizitäts- und Wärmeversorgung, Ölraffinerien, Sonstige (Strom- und Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln), Gebäude, Handel, Dienstleistungen* oder *Haushalte* werden die assoziierten direkten Kohlenstoffemissionen lediglich als sog. *memo item* nachrichtlich aufgelistet, aber nicht in der Gesamtbilanz berücksichtigt, um so genanntes *double counting* zu vermeiden. Bei der

---

<sup>1</sup> Thünen-Institut für Waldökosysteme Alfred-Möller-Str. 1, Hs. 41/42  
16225 Eberswalde  
joachim.rock@thuenen.de

<sup>2</sup> Thünen-Institut für Holzforschung  
Leuschnerstraße 91  
21031 Hamburg-Bergedorf  
sebastian.rueter@thuenen.de

stofflichen Verwendung von Holz in Form von Holzprodukten werden die damit verbundenen CO<sub>2</sub> Emissionen über die Änderung des Kohlenstoffspeichers Holzprodukte (HWP, harvested wood products) abgeschätzt. Erfasst wird nur der biogene, gebundene Kohlenstoff aus einheimischem Einschlag. Importiertes Holz wird nicht erfasst (wird nach dem sog. Quellprinzip im Herkunftsland verbucht) während der Kohlenstoff in exportiertem Holz aus inländischem Einschlag der Bilanz des Herkunftslandes zugeordnet wird. Durch die Verwendung von Holz anstelle anderer Materialien, die in der Her- und Bereitstellung einen höheren Treibhausgasausstoß aufweisen, entstehen THG-Minderungseffekte, die auf Basis des Vergleichs funktional äquivalenter Produktsysteme als Substitutionspotential abgeschätzt werden können (Rüter 2023). Im Nationalen THG-Inventar tauchen diese Effekte jedoch nur indirekt auf, nämlich durch die geringeren Emissionen in den entsprechenden Quellgruppen. Eine Zuordnung zum Kohlenstoffspeicher Holzprodukte – geschweige der Waldbewirtschaftung – ist nicht vorgesehen und i.d.R. auch nicht möglich.

## 2 Bestimmung der nicht-biogenen Treibhausgasemissionen der Holzverwendung

Für die Erfassung und den Vergleich solcher Treibhauspotentiale von Produkten bzw. Produktsystemen existieren internationale Vorgaben für die Durchführung solcher Ökobilanzen (ISO 14040/44), die insbesondere für den Be-

reich des Nachhaltigen Bauens noch weiter spezifiziert wurden (ISO (ISO 21930 und EN 15804). Sie berücksichtigen die Systemgrenzen inklusive der Herstellung bis zum Werkstor (*cradle to gate*) inklusive der Einbeziehung von Nutzungsszenarien bis zum Lebenszyklusende der jeweiligen Produkte bzw. Gebäude (*cradle to grave*). Die biogene Kohlenstoffbilanz, die den materialinhärenten Kohlenstoff beinhaltet, wird ebenfalls ausgewiesen; allerdings stellt er über den gesamten Lebenszyklus ein Nullsummenspiel dar, da sich die Speichergröße auf Produktebene über den gesamten Lebenszyklus nicht verändert. Holzbasierte Produktsysteme, wie z.B. einzelne Gebäude, stellen somit rechnerisch auch keine *Senke* dar, sondern sind lediglich Bestandteil eines Speichers, dessen Größenänderung nur auf einer anderen Skalenebene Auswirkungen auf die THG-Bilanz hat (siehe Abschnitt 1).

## 3 Skalierung von Ökobilanzen

### 3.1 Substitutionsfaktoren

Ein Ansatz zur Schätzung dieser indirekten Effekte für den gesamten Sektor wurde mit der Verwendung von Substitutionsfaktoren vorgeschlagen (Sathre und O'Connor 2010b, Leskinen et al. 2018, Myllyviita et al. 2021). Hierbei werden i.d.R. lediglich die Treibhauspotentiale von Produkten bzw. Produktsystemen *ohne Holz* aus Ökobilanzuntersuchungen mit solchen *mit Holz* verglichen und auf den im Holz enthaltenen biogenen Kohlenstoff bezogen (Gleichung 1, Sathre und O'Connor 2010a).

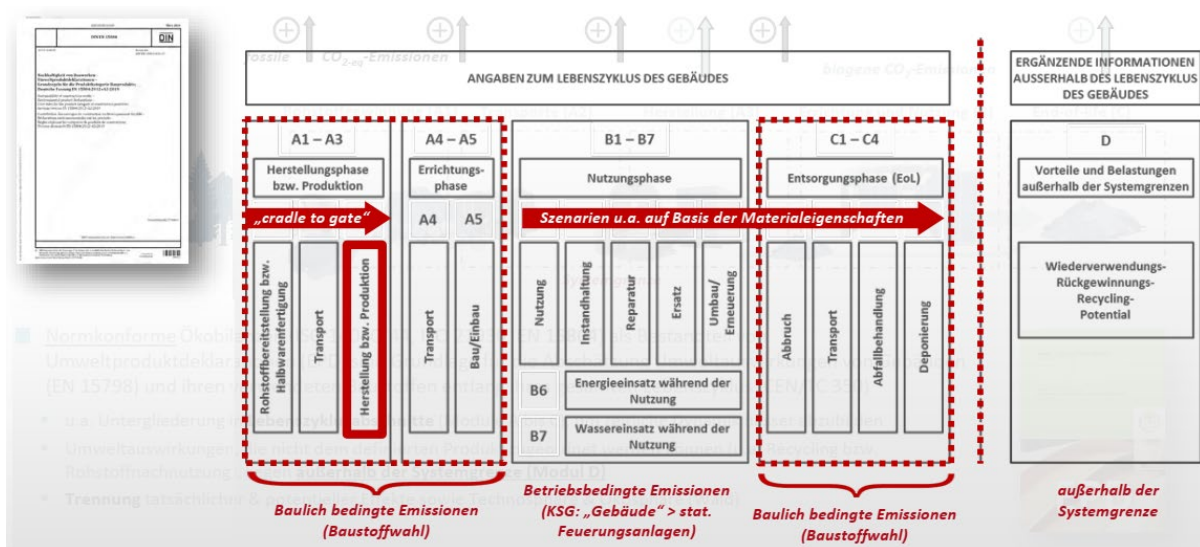


Abbildung 1: Systemgrenzen von Ökobilanzen für Bauprodukte gemäß 15804 (Rüter 2023)

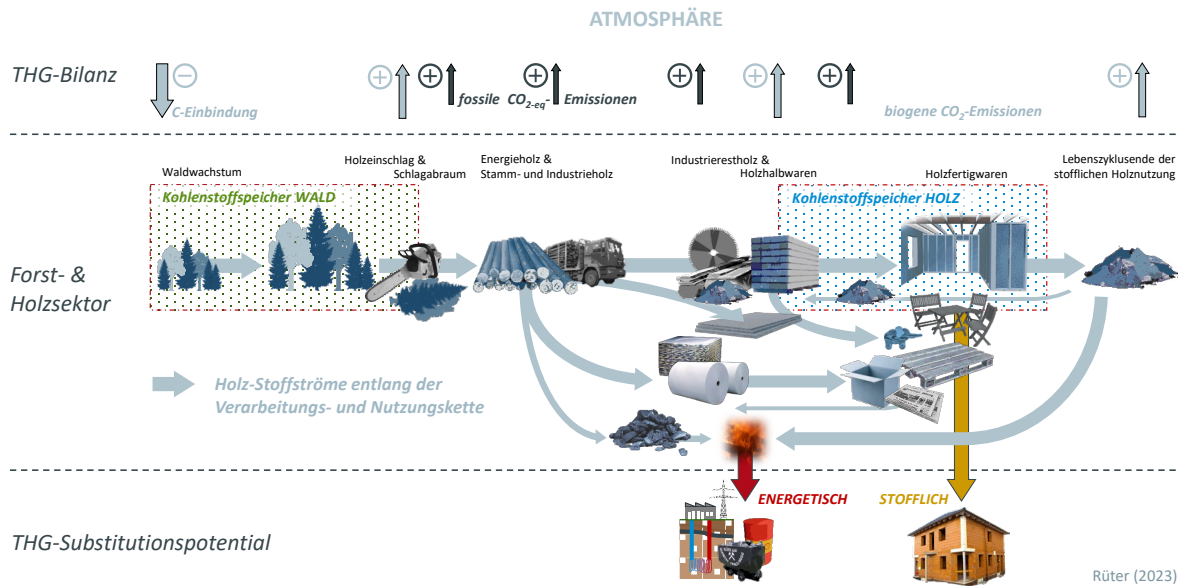


Abbildung 2: Schema der zu berücksichtigenden Wirkungen bei der Abschätzung von Substitutionspotentialen der Holzverwendung (Rüter 2023)

$$SF = \frac{THG(Nicht-Holz) - THG(Holz)}{C(Holz) - C(Nicht-Holz)} \quad (1)$$

Die vermeintlichen Vorteile dieser Schätzung liegen in der einfachen Kommunizierbarkeit und der - leider nur scheinbaren - umfassenden Betrachtung und Potenzialabschätzung *ab Wald* (bzw. aus der Produktverwendung in den Wald hinein). Die einzelnen Faktoren sind meistens positiv und liegen in der Regel zwischen Null und ca. 3,0. Ein *Substitutionspotential* mit einem Faktor kleiner 1 bedeutet, dass bei dieser Holzverwendung durch die Verwendung von Holz mehr Kohlenstoff freigesetzt wird als bei der Verwendung der Alternativen. Dies ist z.B. bei der Verwendung von Holz als Energieträger der Fall, da z.B. fossile Brennstoffe eine wesentlich höhere Energiedichte besitzen und pro emittierter Einheit CO<sub>2</sub> mehr Einheiten *Energie* (in Form eines Heizwertes) bereitstellen können.

Problematisch ist hierbei eine oft tendenziöse Auswahl der verglichen Produktsysteme (*kein Holz* gegenüber *möglichst viel Holz*), die Einbeziehung eigentlich nicht substituierbarer Holz-mengen für Funktionen, die praktisch nur durch Holz- oder holzbasierte Produkte erfüllt werden können und die Verwendung in Meta-Studien, ohne dass auf unterschiedliche Systemgrenzen geachtet werden könnte. Die Faktoren aus einzelnen Studien sind zudem statische Ergebniswerte, bei einer Hochskalierung von Minderungseffekten wären jedoch Marktverschiebungen zu

erwarten, die diese Faktoren beeinflussen. Auch Abhängigkeiten wie Koppelproduktion oder Annahmen zu Nutzungsketten oder -kaskaden machen eine Aggregation von *Substitutionsfaktoren* auf höhere Ebenen schwierig – wenn nicht unmöglich. Auch sind Funktionalitäten oft nicht rein technisch definiert (Möbel: Stauraum), sondern haben oft auch eine Designkomponente (Glastisch). Bei dem Beispiel in Abbildung 2 würde durch die Verwendung eines Faktors beim Vergleich eines der Dächer mit Holz-Unterkonstruktion mit dem Dach aus Beton-Halbschalen unterstellt, dass dieser Faktor für beide holzbasierte Dächer hinreichend ähnlich ist, die Art des Daches keine Auswirkungen auf die Nachfrage nach Dächern hätte und diese nicht durch limitierte Ressourcen (sowohl Holz als auch Beton) beschränkt wird. Zu guter Letzt lagen zum Zeitpunkt dieses Methodenvorschlag die entsprechenden internationalen Standards noch nicht vor, so dass sie nicht hätten berücksichtigt werden können.

Die Verwendung von Faktoren ist also eine rein hypothetische, ideelle Betrachtung, die sowohl zu den Anforderungen an die Treibhausgasinventare als auch zu mittlerweile geltenden internationalen Standards inkonsistent ist.

### 3.2 Inventarkonsistentes Vorgehen

Als Beispiel für ein Vorgehen, wie entsprechende Effekte konsistent mit dem Treibhausgasinventar und den geltenden internationalen Normen für den Bausektor abgeschätzt werden können wird u.a. in Hafner et al (2017), Rüter & Hafner (2022) und Rüter (2023) beschrieben. Die Vorteile dieser Herangehensweise liegen darin, dass der Fokus auf Funktionalitäten gerichtet ist, real existierende Systeme miteinander verglichen werden und ein Bezug zu den Quellgruppen in den Inventaren herstellbar ist. Auch hier sind die Basisdaten Baustoff-Ökobilanzen, die in einer Datenbank zusammengestellt sind (ÖKOBAU-DAT). Über verschiedene, aber funktionsäquivalente Gebäude werden dann über vorliegende repräsentative Gebäudedaten (Materialeinsatz, Energiebedarf bei der Herstellung) unter Verwendung der Baustoff-Ökobilanzen normkonforme Gebäude-Ökobilanzen berechnet (nach EN 15978). Anschließend werden die Gebäude nach dem vorwiegend verwendeten Baustoff in Gebäudetypen sortiert. Innerhalb der Gruppen erfolgte dann eine Durchschnittsbildung, in die auch Produktions- und Gebäudefertigstellungsstatistiken einfließen. So wurden in Hafner et al (2017) zwei Szenarien verglichen, einmal die *BBSR-Wohnungsbauprognose 2030* unter Beibehaltung des aktuellen Baustoffmixes und einmal unter veränderter Holzbauquote. Über die Differenz zwischen den Szenarien wurden die Auswirkungen in der Quellgruppe LULUCF bezüglich

- Rohholzbedarf, und die daraus resultierende Änderungen im Waldspeicher,
- die Kohlenstoffspeicherwirkung im Speicher HWP, sowie
- die als Substitutionspotenzial beschriebenen potentiellen Auswirkungen in der Quellgruppe Energie

bestimmt. Die Erhöhung der Holzbauquote führte in dieser Studie zu einem Mehrbedarf an Rohholz (aus dem Wald) von 1,9 Mio. Festmetern pro Jahr, die zusätzliche Speicherung in den Holzprodukten akkumulierte sich auf +10 Mt CO<sub>2</sub>-Äquivalente bis 2030 und die THG-Minderungswirkung ohne die biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen (sogen. *graue Emissionen*, d.h. die mit Rohstoff-Bereitstellung über Bauproduktherstellung sowie Gebäudefertigung anfallenden übrigen THG-Emissionen, betrug 12 Mt CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Insgesamt wurde somit ein Substitutionspoten-

zial von ca. 6,5 Mt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Zusammenhang mit der unterstellten Änderung der Holzbauquote ermittelt. Auch dieses Verfahren erlaubt jedoch kein Aufaddieren eines Substitutionspotenzials zur THB-Bilanz des eingeschlagenen Rohholzes.

## 4 Diskussion und Fazit

Klimaschutzpolitik ist auch in Bezug auf Wald sektoral ausgerichtet, Ziele z.B. aus dem KSG werden nur waldbezogen be- und gemessen (Bundesregierung 2019). Indirekte Auswirkungen von Holzverwendung werden nicht direkt der Waldbewirtschaftung zugeordnet und sind in politischen Programmen in der Regel nicht explizit ausgewiesen oder berechnet (BMU (Bundesministerium für Umwelt 2019, Bundesregierung 2021, BMUV 2022)). Auf der Ebene der Berichterstattung für Nationalstaaten ist die Annahme der Emission des in Holz gebundenen Kohlenstoffs im Augenblick der Entfernung des Holzes aus dem Wald eine sinnvolle, praktische Vereinfachung. Eine Attribution der Effekte der Holznutzung in anderen Quellgruppen ist für die globale Bilanz nicht notwendig. Sollen jedoch Politiken und Maßnahmen entworfen, implementiert und bewertet werden, ist die Erfassung und Zuordnung dieser Effekte notwendig. Dass solch belastbaren Abschätzungen aktuell nicht in allen politischen Programmen oder Instrumenten adäquat berücksichtigt werden führt zu der paradoxen Situation, dass quasi alle anderen Sektoren ihre THG-Emissionen durch den Einsatz von (Holz-) Biomasse senken sollen um *klimaneutral* zu werden, der Landnutzungssektor soll hingegen *klimaneutral* werden, indem er Biomasse anreichert und den anderen Sektoren nicht zur Verfügung stellt (z.B. implizite Folge des *Aktionsprogramms natürlicher Klimaschutz* (ANK, BMUV 2022)).

Die Betrachtung der Substitutionspotenziale über Faktoren ist zwar zunächst intuitiv, einfach und zeigt bei entsprechender Skalierung i.d.R. einen großen positiven Effekt der Holzverwendung (Sathre und O'Connor 2010a, Leskinen et al. 2018, Myllyviita et al. 2021). Die ermittelten Substitutionspotenziale sind allerdings rein hypothetischer Natur, da sie unter vielen Annahmen stehen, die unrealistisch sind (Rock 2011). So wird z.B. angenommen, dass die Menge an nachgefragten Gütern und Leistungen in jedem Fall (Va-

riante mit Holz / ohne Holz) identisch ist, die Substitution in egal welche Richtung also keine Auswirkungen auf Preise, Mengenrelationen oder Verfügbarkeiten hat oder durch diese beschränkt wird. Problematisch ist auch die Berücksichtigung von z. B. Koppelprodukten, d.h. die Erfassung und Zurechnung der Sortimente, die bei der Bewirtschaftung anfallen, obwohl sie keine Zielsortimente sind. Es ist z. B. unmöglich, nur starkes Stammholz zu ernten, ohne dass dünnere Sortimente oder Kronenholz mit anfällt. Diese und andere Probleme machen die Ergebnisse einer auf *Substitutionsfaktoren* basierenden Betrachtung unsicher und verhindern ihre direkte Kopplung mit z.B. dem Treibhausgasinventar.

Der zweite vorgestellte Ansatz ist hingegen mit dem Treibhausgasinventar kompatibel und entspricht geltenden Normen. Er ist jedoch sehr datenintensiv, auf den Vergleich von Szenarien beschränkt und erlaubt ebenfalls keine alleinige Zuordnung zur Waldbewirtschaftung an sich.

Dieser vermeintliche Widerspruch ist jedoch letztlich ebenfalls Ergebnis einer sektoralen Betrachtung: die Frage nach der *klimaoptimalen* Bewirtschaftung des Waldes kann nicht (mit vertretbarem Aufwand) an Hand von Kennzahlen des Waldes beantwortet werden. Die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten von den Marktverwendungen des Materials Holz sind schlicht zu komplex. Sinnvoller ist daher eine (auch argumentative) Rückbesinnung auf die Funktion von Waldbewirtschaftung: die Erfüllung breiter gesellschaftlicher Anforderungen, nicht die Maximierung einzelner Funktionen wie Klimaschutz. Die Debatte müsste dazu vom Wald hin zu den Funktionen, Leistungen und Funktionalitäten gelenkt werden, begleitet von einer Budgetorientierung beim Klimaschutz anstelle sektoraler Einzelziele. In Bezug auf das hier verwendete Beispiel *Wohnungsbau* bedeutet dies z.B., dass als erste Frage die der Suffizienz behandelt werden muss: werden die in der Wohnungsbauprognose projizierten zusätzlichen Wohnungen wirklich benötigt? Falls diese Frage bejaht wird sollte die Umsetzung dieser gesellschaftlichen Anforderung so klimaschonend wie möglich erfolgen, was in diesem Beispiel mit einem erhöhten Einsatz von Holz und entsprechenden Emissionen verbunden ist. Diese müssten wiederum einem Gesamtbudget angerechnet werden und nicht einem Sektorziel.

## 5 Literatur

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 173 S.
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) (2022): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz – Entwurf. Berlin, 70 S.
- Bundesregierung (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz. Berlin, 10 S.
- Bundesregierung (2021): Klimaschutz Sofortprogramm 2022. Berlin, 9 S.
- European Commission and Council (2018): Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council (Text with EEA relevance.). Official Journal of the European Union, 77 S.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara und K. Tanabe (eds.). IGES.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. T. Hiraiishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, B. Jamsranjav, M. Fukuda und T. Troxler (eds.). 354 S.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2019): 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. E. C. Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, B. Jamsranjav, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Sherman und S. Federici (eds.).
- Leskinen, P., G. Cardellini, S. González-García, E. Hurmekoski, R. Sathre, J. Seppälä, C. Smyth, T. Stern und P. J. Verkerk (2018): Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7, European Forest Institute, 28 S.
- Myllyviita, T., S. Soimakallio, J. Judl und J. Seppälä (2021): Wood substitution potential in greenhouse gas emission reduction—review on current state and application of displacement factors. Forest Ecosystems 8 (1): 18.

- Rock, J. (2011): Ertragskundliche Orientierungsgrößen für eine "klimaoptimale" Waldbewirtschaftung. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 2011. J. Nagel. Göttingen, NW-FVA, DVFFA: 173 - 180.
- Rüter, S. (2023) Abschätzung von Substitutionspotentialen der Holznutzung und ihre Bedeutung im Kontext der Treibhausgas-Berichterstattung. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 214, 50 S.
- Rüter, S. und Hafner, A. (2022) Verwendung von Holz in Gebäuden als Beitrag zum Klimaschutz. In: Sahling, U. (Hrsg.) Klimaschutz und Energiewende in Deutschland: Herausforderungen – Lösungsbeiträge – Zukunftsperspektiven. Springer Berlin Heidelberg. S 795-807.
- Sathre, R. und J. O'Connor (2010a): Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. Environmental Science & Policy 13 (2): 104-114.
- Sathre, R. und J. O'Connor (2010b): A Synthesis of Research on Wood Products & Greenhouse Gas Impacts. Vancouver, B.C., FPInnovations. TR-19R: 123 S.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (1992): RAHMENÜBEREINKOMMEN DER VEREINTEN NATIONEN ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN. New York, 25 S.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (1997): Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. 40 S.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2015): Paris Agreement. 25 S.