

Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten

Die Treibhausgasbilanz ist eine anerkannte Methode, um die Klimawirksamkeit von Holzprodukten gegenüber einer fossilen Referenz abzuschätzen. Effekte des Waldmanagements und Auswirkungen auf die CO₂-Speicherleistung von Wald und Holzprodukten bleiben dabei oft unberücksichtigt. Vorgestellt wird eine Methode, um solche Effekte in die Treibhausgasbilanz zu integrieren.

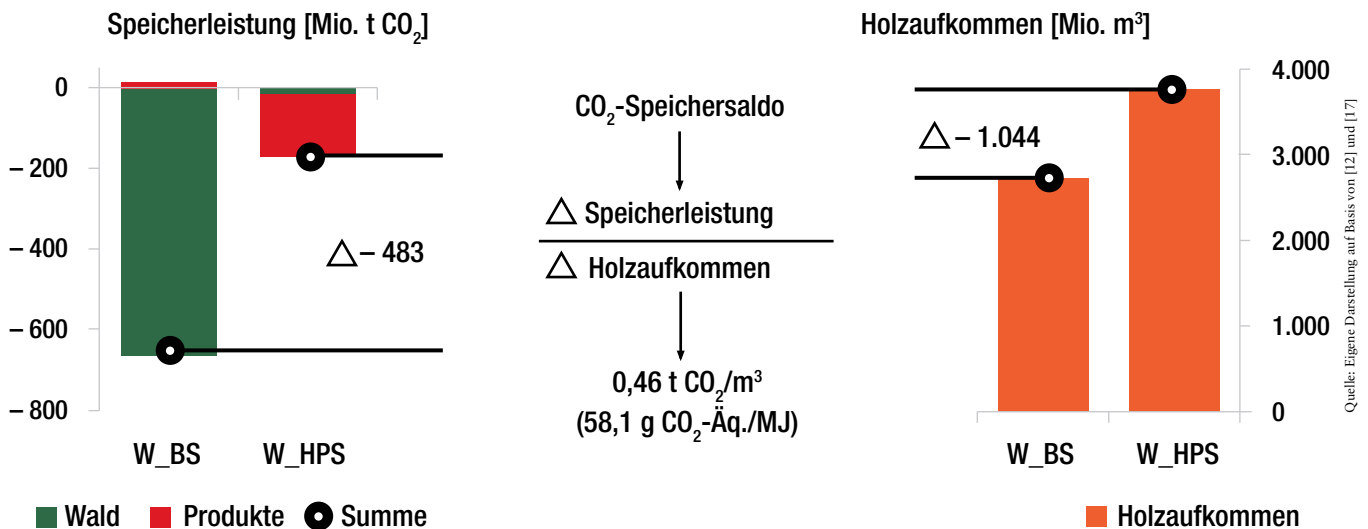


Abb. 1: Beispielhafte Berechnung des CO₂-Speichersaldos anhand des WEHAM Basisszenarios (W_BS) und des WEHAM Holzpräferenzszenarios (W_HPS) für den Zeitraum 2020 bis 2050

Klaus Hennenberg, Hannes Böttcher, Kirsten Wiegmann, Judith Reise, Horst Fehrenbach

Die Reduktion von Treibhausgasemissionen im Rahmen des Klimaschutzes stellt für die nächsten Dekaden eine der wichtigsten Herausforderung dar, die in Deutschland nur als gemeinsame Anstrengung über alle Wirtschaftssektoren erreicht werden kann. Im Klimaschutzplan 2050 [2] stellt die Bundesregierung sektorale Treibhausgasreduktionsziele auf. In Bezug auf den Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Wald (land use, land use change and forestry – LULUCF) wird im Klimaschutzplan herausgestellt, dass der Sektor derzeit eine Senke für CO₂ ist, „die mit weiteren Maßnahmen gesichert werden soll“ ([2] S. 67). Aber auch auf EU-Ebene soll der Sektor verbindlich in die Klimaziele einbezogen werden: Einerseits darf der Landnutzungssektor bei Anwendung von Anrechnungsregeln der LULUCF-Verordnung keine Quelle sein („no-debit rule“) [3]. Andererseits dürfen nach der

Lastenteilungs-Verordnung Senken aus dem LULUCF-Sektor bis zu einer gewissen Menge zum Ausgleich in anderen Sektoren außerhalb des Emissionshandels (wie z. B. im Verkehrssektor) verwendet werden [4].

Laut des Projektionsberichts 2019 der Bundesregierung [5] wird erwartet, dass Landwirtschafts- und Waldflächen, ohne Änderung der Bewirtschaftung, von einer Senke von -14 Mio. t CO₂-Äquivalent im Jahr 2016 für die Jahre 2020 bis 2035 zu einer Quelle von 11 bis 30 Mio. t CO₂-Äquivalent pro Jahr werden. Dies resultiert aus der Annahme, dass die hohen Emissionen aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Moorböden auf konstant hohem Niveau bestehen bleiben. Gleichzeitig wird projiziert, dass die Senkenleistung durch Wald und Holzprodukte von -58 Mio. t CO₂-Äquivalent im Jahr 2016 auf Werte zwischen -12 und -34 Mio. t CO₂-Äquivalent in den Jahren 2020 bis 2035 zurückgeht [5]. Dieser Rückgang ergibt sich insbesondere aus der Erwartung, dass das prognostizierte Holzaufkommen

bei Beibehaltung der momentanen Bewirtschaftung genutzt werden wird (vgl. Basisszenario der Waldentwicklungs- und Holzauflommensmodellierung WEHAM [17]).

Schneller Überblick

- Durch Holzernte wird dem Waldspeicher Kohlenstoff entzogen, teilweise dem Holzproduktspeicher zugeführt und Holzprodukte können Produkte aus fossilem Kohlenstoff ersetzen
- Treibhausgasbilanzen stellen die Klimawirksamkeit von Holzprodukten dar und ermöglichen den Vergleich mit fossilen Produkten
- Die Speicherleistung in Wald und Holzprodukten werden bisher in Treibhausgasbilanzen nicht berücksichtigt
- Es wird eine Methode zur Integration der Speicherleistung, als sog. CO₂-Speichersaldo der Holznutzung, vorgestellt

Klimaschutzwirkung	Intensivierung der Waldbewirtschaftung	Extensivierung der Waldbewirtschaftung
Aktive CO ₂ -Speicherleistung auf der Waldfläche	Abnahme zu erwarten aufgrund des Abschöpfens des Zuwachses und durch Vorratsabbau ↘	Zunahme zu erwarten durch Verbleiben des Zuwachses und Vorratsaufbau ↗
Passive CO ₂ -Speicherleistung durch Holzprodukte	Zunahme zu erwarten, abhängig von der Langlebigkeit der Holzprodukte ↗	Abnahme zu erwarten, wenn sich die Lebensdauer der Holzprodukte nicht ändert ↘
Substitutionsleistung	Zunahme zu erwarten ↗	Abnahme zu erwarten ↘

Tab. 1: Zu erwartende Wirkung einer Intensivierung und einer Extensivierung der Waldbewirtschaftung auf CO₂-Speicher- und Substitutionsleistung (Quelle: Eigene Zusammenstellung)

Prozesse der Treibhausgasminde- rung

Für die Bewertung von Alternativen der Waldbewirtschaftung und Holznutzung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Treibhausgasminde- rung spielen folgende Prozesse eine wichtige Rolle:

- die aktive CO₂-Speicherleistung auf der Waldfläche durch das Wachstum von Bäumen und Speicherung von Kohlenstoff in Bäumen, Totholz, Streu, Boden;
- die passive Speicherleistung durch Holzprodukte nach der Ernte von Holz und
- die zusätzliche Substitutionsleistung von Holzprodukten, die im Fall der Verdrängung von treibhausgasintensiveren Produkten entstehen.

Die aktive CO₂-Speicherleistung auf der Waldfläche ist der einzige der drei o. g. Prozesse, der der Atmosphäre Kohlendioxid entzieht. Wird Holz geerntet, wird aus der aktiven Speicherung eine passive, die die Emission des CO₂ verzögern aber kein zusätzliches CO₂ binden kann. Es hängt dann davon ab, in welche Holzproduktspeicher das geerntete Holz überführt wird und wie stark sich durch die passive Speicherleistung die Freisetzung des Kohlendioxids verzögert. Wald- und Holzspeicher haben eine enge Beziehung, weil sie direkt voneinander abhängen und deshalb bei der Bilanzierung zusammen betrachtet werden müssen. Substitutionseffekte ergeben sich aus der Holzverwendung in anderen Sektoren, wodurch Emissionen verringert werden können. Diese lassen sich aus dem Vergleich der Treibhausgasbilanz von Holzprodukten und von emissionsreichen Produkten ermitteln [9].

Die drei o. g. Prozesse sind nicht unabhängig voneinander. Mehr Ernte kann den Holzproduktspeicher erhöhen und führt ggf. zu mehr Substitution, verringert aber gleichzeitig den Waldspeicher. Eine Erhöhung des Waldspeichers durch reduzierte

Ernte kann wiederum den Produktspeicher verringern und reduziert die Substitutionsleistung. Schematisch ist die Wechselwirkung dieser drei Prozesse in Tab. 1 für eine Intensivierung und Extensivierung der Waldbewirtschaftung zusammengefasst.

Daten in Treibhausgasbilanzen

Die Treibhausgasbilanzierung ist eine anerkannte Methode, um u. a. die Treibhausgasemissionen von Holzprodukten bzw. die Treibhausgasminde- rung gegenüber einem Referenzprodukt zu berechnen. In Tab. 2 sind beispielhaft Daten für Treibhausgasbilanzen von Holzenergie dargestellt. Die Treibhausgasminde- rungen belaufen sich in den Beispielen auf 80 bis 94 % relativ zur fossilen Referenz. In diese Berechnungen fließen dabei die Emissionen der Kultivierung bzw. Bereitstellung (meist beschränkt auf den Maschinen- und Materialeinsatz), der Aufbereitung, des Transports und der Umwandlung ein. Effekte auf die aktive CO₂-Speicherleistung des Waldes, die mit der Waldbewirtschaftung zusammenhängen, finden dabei keine Beachtung. Vielmehr wird in diesen Arbeiten vereinfacht angenommen, dass die gleiche Menge an geerntetem Holz im selben Jahr auf Nachbarflächen nachwächst. Emissionen aus der Holzentnahme werden daher auf Null gesetzt und damit Effekte aus der Waldbewirtschaftung nicht weiter in der Bilanzierung berücksichtigt. Dies stellt eine starke Vereinfachung dar, die hier kritisch diskutiert werden soll.

Integration der Waldbewirtschaftung in Treibhausgasbilanzen

Änderungen in der Waldbewirtschaftung wirken sich direkt auf Holzvorrat und Waldwachstum und damit auf die aktive CO₂-Speicherleistung des Waldes aus (vgl. Tab. 1). Modellgestützte Analysen können helfen, dies in Form von Szenarien zu berechnen. Durch den Vergleich verschiedener Szenarien kann so die Wirkung einer alter-

Definitionen

Die **aktive CO₂-Speicherleistung** ist das Festlegen von CO₂ auf der Waldfläche in einem definierten Zeitraum durch den Entzug aus der Atmosphäre (Holzvorrat in lebenden Bäumen, aber auch Verlagerung von Kohlenstoff in Totholz, Streu und Boden). Wird Kohlenstoff nach der Ernte in Form von Holzprodukten festgehalten, kann von einer **passiven CO₂-Speicherleistung** gesprochen werden. CO₂-Speicherleistungen können positiv (Aufbau des Speichers) oder negativ (Abbau des Speichers) ausfallen. Eine **CO₂-Senke** liegt vor, wenn die Summe der betrachteten CO₂-Speicherleistungen positiv ist. Ist diese Summe negativ, spricht man von einer **CO₂-Quelle**. Waldbewirtschaftung und Holznutzung sind aktive Vorgänge, die verändert oder unterlassen werden können. Der **CO₂-Speichersaldo** ist die Menge an CO₂ pro Kubikmeter geerntetem Holz, die aufgrund von Waldbewirtschaftung und Holznutzung auf Waldflächen oder in Holzprodukten zusätzlich gespeichert bzw. nicht gespeichert wird. Er kann durch den Vergleich der Summen der betrachteten CO₂-Speicherleistungen zweier Szenarien ermittelt werden.

Die **Treibhausgasbilanz** strebt an, alle Treibhausgasemissionen entlang einer Wertschöpfungskette von der Holzproduktion im Wald bis hin zur Holznutzung und Entsorgung abzubilden.

Als **Substitutionsleistung** bezeichnet man die CO₂-Minderungen, die durch den Austausch von emissionsintensiven Produkten mit emissionsarmen Produkten erreicht werden. Sie resultiert aus dem Vergleich der Treibhausgasbilanzen zweier alternativer Produktionsweisen für eine funktionelle Einheit oder Serviceleistung (z. B. Wärmeproduktion mittels Pelletkessel vs. Gastherme oder Herstellung eines Gebäudeelements mittels Holzbau vs. Stahlbeton).

nativen Bewirtschaftung auf die CO₂-Speicherleistung abgeschätzt werden. Beispiele für solche Szenarien sind das WEHAM Basisszenario (W_BS) und das WEHAM Holzpräferenzszenario (W_HPS) des Thünen-Instituts [17, 12]. Das Basisszenario projiziert die Waldentwicklung unter der Fortsetzung der derzeitig beabsichtigten und absehbaren Waldbehandlung [17]. Demgegenüber wird im Holzpräferenzszenario das Holzaufkommen gesteigert, in dem das Produktionsende und die Zielstärken der Baumarten optimiert werden. Zudem wird die Nadelbaumart Douglasie stark gefördert [12].

Nutzung Wärme	Kultivierung, Bereitstellung	Aufbereitung	Transport	Weitere Emissionen, Konversion	Summe	Fossile Referenz	Treibhausgasminde-
							ringung
[g CO ₂ -Äq./MJ]							[%]
Hackschnitzel aus Stammholz (RED II) [13]	1,1	0,3	3,0	0,4	4,8	80	94
Hackschnitzel aus Restholz (RED II) [13]	0	1,6	3,0	0,4	5	80	94
Hackschnitzel aus Fichte (ExPressBio) [6]	4,7	6,2	0,6	5,2	16,7	86	81
Scheitholz aus Buche (ExPressBio) [6]	1,0	1,3	1,5	5,9	9,7	86	89
Scheitholz aus Stammholz (BioEm) [8]	1,0	1,3	0,3	5,0	7,6	80 [13]	90
Hackschnitzel aus Stammholz (BioEm) [8]	1,0	0,36	2,8	0,4	4,56	80 [13]	94
Pellets aus Stammholz (BioEm) [8]	1,3	11,7	2,8	0,4	16,2	80 [13]	80

Tab. 2: Beispieldaten zur Ökobilanzierung der energetischen Nutzung von Holz

Über den Zeitraum von 2020 bis 2050 sinkt im Holzpräferenzszenario durch die intensivere Holzernte die Speicherleistung um -483 t CO₂ (s. Abb. 1). Diese ergibt sich aus der Differenz beider Szenarien: Im Basisszenario beträgt die aktive CO₂-Speicherleistung im Wald -652 Mio. t CO₂, im Holzpräferenzszenario nur -13 Mio. t CO₂, da wesentlich mehr Holz geerntet wurde. Im Holzpräferenzszenario ist dagegen die passive CO₂-Speicherung durch die stärkere Einlagerung von CO₂ in Holzprodukten höher als im Basisszenario. Diese Erhöhung ist jedoch geringer als die Abnahme der aktiven Speicherleistung auf der Waldfläche (Abb. 1).

Das Holzaufkommen liegt dagegen im Holzpräferenzszenario gegenüber dem Basisszenario im Betrachtungszeitraum um 1.044 Mio. m³ höher (Abb. 1). Setzt

man die veränderte CO₂-Speicherleistung und die Veränderung des Holzaufkommens zueinander in Beziehung, ergibt sich ein Wert von 0,46 t CO₂ verminderte Speicherleistung pro Kubikmeter Holzaufkommen. Um den Wert bei einer energetischen Holznutzung in Relation zu fossilen Energieträgern zu setzen, muss er auf den Energiegehalt von Holz bezogen werden. Bei einem Energiegehalt von Holz von 7.920 MJ/m³ (als Umrechnungsfaktor in diesem Artikel genutzt; abgeleitet nach [7]) entspricht dies Emissionen von etwa 58 g CO₂-Äquivalent/MJ, die durch die höhere Holzentnahme im Holzpräferenzszenario entstehen.

Dieser Wert kann als CO₂-Speichersaldo einer entgangenen CO₂-Speicherleistung in Wald und Holzprodukten interpretiert werden, der aus der Wald-

Szenarienvergleich	Region	Modell	CO ₂ -Speichersaldo	
			[t CO ₂ /m ³]	[g CO ₂ -Äq./MJ] ¹
WEHAM-Holzpräferenzszenario (W_HPS) versus WEHAM-Basisszenario (W_BS) [17, 12]	Deutschland	WEHAM	0,46	58,1
FABio-Holzszenario (F_HS) versus FABio-Basisszenario (F_BS) [1]	Deutschland	FABio	1,34	169,2
FABio-Basisszenario (F_BS) versus FABio-Waldvision (F_WV) [1]	Deutschland	FABio	1,47	185,6
FABio-Waldvision (F_WV) versus FABio-Nullnutzung (F_NN) (unveröffentlichte Daten)	Deutschland	FABio	1,10	138,9
SILVA_Hainich-Nutzung (S_H-N) versus SILVA_Hainich-Schutz (S_H-N) [11]	Modellregion in Thüringen	SILVA	0,67	84,6
SILVA_Hohe-Schrecke-Nutzung (S_HS-N) versus SILVA_Hohe-Schrecke-Schutz (S_HS-N) [11]	Modellregion in Thüringen	SILVA	0,63	79,6
SILVA_Vessertal-Nutzung (S_V-N) versus SILVA_Vessertal-Schutz (S_V-N) [11]	Modellregion in Thüringen	SILVA	1,12	141,4
Zum Vergleich die Emissionen von Holz hackschnitzeln (Waldmanagement nicht berücksichtigt) [13]	EU			4,8
Zum Vergleich die Emissionen einer Heizung auf Basis von fossilen Brennstoffen [13]	EU			80,0

Tab. 3: CO₂-Speichersaldo ausgewählter Szenarienvergleiche. ¹ Energiegehalt von Holz von 7.920 MJ/m³ (abgeleitet nach FNR [7]). Grau hinterlegte Zellen: Vergleich mit einem Nullnutzungsszenario (Quelle: Eigene Zusammenstellung)

bewirtschaftung und der Holznutzung resultiert. Der CO₂-Speichersaldo kann positive oder negative Werte annehmen und sollte neben anderen Emissionen in die Treibhausgasbilanzen eingehen (vgl. Tab. 2). Im Beispiel wird die Emissionsminderung gegenüber der fossilen Referenz, aufgrund eines positiven Speichersaldos, deutlich gemindert.

Die Methode ermöglicht eine Aussage zur Klimawirkung der Entnahme und Verwendung der Holzmenge, die durch das veränderte Waldmanagement zusätzlich entnommen wird. So bezieht sich der in Abb. 1 berechnete CO₂-Speichersaldo auf die Holzmenge, die zusätzlich im Holzpräferenzszenario gegenüber dem Basisszenario geerntet wird. Um jedoch eine Aussage für die gesamte Holzentnahme treffen zu können, ist ein Vergleich eines Holznutzungsszenarios mit einem Szenario ganz ohne Holznutzung sinnvoll (Tab. 3).

Berechnungen auf Basis verschiedener Waldmodelle

Die Berechnung eines CO₂-Speichersaldos kann grundsätzlich auf Basis der Ergebnisse verschiedener Modelle und Szenarien angewandt werden. Tab. 3 zeigt deutschlandweite Ergebnisse der WEHAM-Szenarien (vgl. Abb. 1) sowie Ergebnisse aus der Studie Waldvision Deutschland [1], die mit dem Forestry and Agriculture Biomass Model (FABio) des Öko-Instituts berechnet wurden. Unterschieden werden in der Studie:

- das Basisszenario (F_BS), in dem die zurzeit vorherrschende Nutzungsintensität fortgeschrieben wird,
- das Holzszenario (F_HS) mit erhöhten Durchforstungs- und Entnahmemengen und einer Förderung von Nadelbäumen sowie
- das Szenario Waldvision (F_WV), in dem Zieldurchmesser erhöht und Eingriffsfrequenzen deutlich gesenkt, Laubbäume gegenüber Nadelbäumen gefördert und die ungenutzte Fläche von 4,1 % auf 16,6 % erhöht wird [1]. Hinzu kommt ein FABio-Nullnutzungsszenario (F_NN, unveröffentlichte Daten). Zudem sind in Tab. 3 Ergebnisse des SILVA-Modells aus drei Modellregionen in Thüringen berücksichtigt [11]. Diese Modellregionen repräsentieren reiche Buchenwälder (Hainich), bodensaure Buchenwälder (Hohe Schrecke) bzw. Fichten- und Bergmischwä-

der (Vessertal). Verglichen werden dabei je ein Szenario, das die in Thüringen übliche forstliche Nutzung abbildet („Nutzung“), und ein Nullnutzungsszenario („Schutz“).

Die Berechnungen auf Basis dieser Szenarien zeigen, dass die Werte für ein CO₂-Speichersaldo zwischen 0,46 und 1,47 t CO₂-Äquivalent/m³ bzw. 58 bis 186 g CO₂-Äquivalent/MJ liegen (Tab. 3). Zum Vergleich: Die Wärmeerzeugung mit fossilen Energieträgern (unter der Annahme eines Mix aus fossilen Brennstoffen, die sog. fossile Referenz) emittiert aktuell Treibhausgase in der gleichen Größenordnung, nämlich etwa 80 g CO₂-Äquivalent/MJ [13], während die Werte für Holzhackschnitzel ohne CO₂-Speichersaldo nur bei 4,8 g CO₂-Äquivalent/MJ liegen [13].

Diskussion

In diesem Artikel wird eine Methode zur Berechnung des CO₂-Speichersaldos vorgestellt, die auf dem Vergleich von zwei Waldbewirtschaftungsalternativen beruht. Die Methode ist so aufgebaut, dass sie im Zuge der Ökobilanzierung (ISO 14040 und ISO 14044) und der Carbon-Footprint-Berechnung (ISO 14067) genutzt werden kann. Die angeführten Beispiele zeigen, dass die Methode auf die Ergebnisse verschiedener Szenarien und Modelle anwendbar ist. Als Bezugsgröße für die Bewertung wird ein Nullnutzungsszenario (natürliche Waldentwicklung) vorgeschlagen, da so eine Aussage zum CO₂-Speichersaldo für die gesamte Holznutzung im entsprechenden Nutzungsszenario ermöglicht wird [16].

Als zentrales Ergebnis ist hervorzuheben, dass in den verglichenen Szenarien der CO₂-Speichersaldo Werte von 60 bis 180 g CO₂-Äquivalent/MJ annimmt (vgl. Tab. 3). Weil die Werte der fossilen Referenz mit etwa 80 g CO₂-Äquivalent/MJ im Bereich Wärme in der gleichen Größenordnung liegen (vgl. Tab. 1), ist bei der Berücksichtigung des CO₂-Speichersaldos mit einer signifikanten Verschlechterung der Treibhausgasbilanz zu rechnen. So ist ein Vorteil für den Klimaschutz durch energetische Holznutzung nicht automatisch gegeben und eine Treibhausgasminderung von 70 % – wie in der Erneuerbaren Energien Richtlinie [13] gefordert – nicht erreichbar. Wird der Speichersaldo berücksichtigt, kann insgesamt erwartet werden, dass die Substitutionsleistung

von Holzprodukten niedriger ausfallen wird. Aus diesem Grund fordern auch andere Autoren, die Auswirkungen durch die Waldbewirtschaftung in die Treibhausgasbilanzierung einzubeziehen [10, 15, 16].

Mit Blick auf eine zukünftige Anwendung eines CO₂-Speichersaldos für Holzprodukte erscheinen aber noch einige Weiterentwicklungen dieser Größe als sinnvoll. Künftige Arbeiten sollten weitere Unterscheidungen zwischen verschiedenen Waldtypen, Waldentwicklungsphasen und Sortimenten für verschiedene Holznutzungen untersuchen. Beispielsweise könnte der CO₂-Speichersaldo allein dem Stammholz zugerechnet werden („Allokation“), dessen Entnahme als Anlass für eine Bewirtschaftung zu sehen ist. Der CO₂-Speichersaldo des Waldrestholzes würde dann einen Wert von Null annehmen. Im Fall einer stofflichen Nutzung ist es gerechtfertigt, die Senkenleistung des Holzproduktspeichers bei der Berechnung des CO₂-Speichersaldos zu berücksichtigen, nicht aber im Fall einer rein energetischen Nutzung.

Einen weiteren Einfluss hat der Betrachtungszeitraum. Ist der Betrachtungszeitraum so lang, dass sich die Szenarien in ihrer Speicherleistung annähern, konvergiert der CO₂-Speichersaldo gegen Null. Kürzere Zeiträume machen Unterschiede zwischen den Wachstumsdynamiken deutlich. So können in Nadelbaumbeständen ein frühes Kulminieren des Zuwachses und ein relativ hoher Zuwachs in der Neubestockung schon über einen kurzen Zeitraum zu einem relativ niedrigen CO₂-Speichersaldo führen als in Laubbaumbeständen, die sich über einen längeren Zeitraum regenerieren. Die Wahl des Betrachtungszeitraums sollte auf die Fragestellung der jeweiligen Untersuchung abgestimmt sein. In den Beispielberechnungen in Tab. 3 wurde der Zeitraum bis 2050 gewählt, da die Bundesregierung anstrebt, bis 2050 weitestgehend treibhausgasneutral zu werden [2].

Für die Beantwortung der Frage, ob es aus Klimaschutzgründen sinnvoller ist, einen Wald intensiver oder extensiver zu bewirtschaften, sollte der CO₂-Speichersaldo in Treibhausgasbilanzen und in Berechnungen von Treibhausgasminderungen bzw. Substitutionsleistungen einbezogen werden. Dadurch wird eine umfassendere Darstellung von Treibhausgasemissionen im Vergleich zu ak-

tuellen Ökobilanzen [6, 8, 13] und Berechnungstools [14] erreicht. Um eine Richtungssicherheit von CO₂-Speichersaldo-Werten zu erreichen, ist es sinnvoll, vergleichbare Berechnungen mit unterschiedlichen Modellen und Tools durchzuführen, wozu die Autoren gerne einladen möchten: www.co2-speichersaldo.de

Literaturhinweise:

- [1] BÖTTCHER, H.; HENNINGBERG, K.; WINGER, C. (2018): Waldwissen Deutschland. Beschreibung von Methoden, Annahmen und Ergebnissen. Öko-Institut, Berlin. [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. BMUB, Berlin. [3] European Commission (2018): Regulation (EU) 2018/841 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. [4] European Commission (2018): Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013. [5] Bundesregierung (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013. [6] DRESSLER, D. et al. (2016): Kosteneffiziente Treibhausgas-Minderung verschiedener Bioenergien. TFZ WISSEN 12/2016, Technologie- und Förderzentrum (TFZ), Straubing. [7] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe – FNR (2018): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018. Gülzow-Prützen. [8] FEHRENBACH, H.; KÖPPEN, S.; MARKWARDT, S.; VOGT, R. (2016): Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen wesentlicher biogener Energienutzungspläne (BioEm). TEXTE 09/2016, UBA, Dessau-Roßlau. [9] LESKINEN, P. et al. (2018): Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7. European Forest Institute. [10] MCKECHNIE, J. et al. (2011): Forest bioenergy or forest carbon? Assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels. Environ. Sci. Technol. 45: 789-795. [11] MUND, M.; FRISCHBIER, N.; PROFFT, I.; RAACKE, J.; RICHTER, F.; AMMER, C. (2015): Klimaschutz für drei Modellregionen in Thüringen. BfN-Skripten 396. BfN (Hrsg.), Bonn. [12] ÖHMICHEN, K. et al. (2018): Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung. Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse. Thünen Report 59. Thünen-Institut, Braunschweig. [13] RED II (2018): Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung). [14] SCHLUHE, M. et al. (2018): Klimarechner zur Quantifizierung der Klimaschutzleistung von Forstbetrieben auf Grundlage von Forsteinrichtungsdaten. Landbauforschung – Applied agricultural and forestry research: 1-20. DOI: 10.3220/LBF1543210832000. https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00046050 [15] SEAR-CHINGER, T. D. et al. (2018): Europe's renewable energy directive poised to harm global forests. Nature Communications 9, Article number: 3741. [16] SOIMAKALLIO, S. et al. (2015): Attributional life cycle assessment. Is a land-use baseline necessary? Int J Life Cycle Assess 20: 1364-1375. DOI: 10.1007/s11367-015-0947-y. [17] WEHAM Basisszenario (WEHAM-BS): <https://www.weham-szenarien.de/>

Dr. Klaus Henningberg,
k.henningberg@oeko.de, ist am
Öko-Institut e. V. Experte für nachhaltige
Nutzung von Biomasse und
Landnutzungsmodellierung.
Dr. Hannes Böttcher ist am
Öko-Institut e. V. Experte für
Waldökosysteme, Klimaschutz und
Klimapolitik.



Kirsten Wiegmann ist am Öko-Institut e. V. Experte für
Stoffstromanalysen und Ökobilanzierung.

Judith Reise ist akademische Mitarbeiterin an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde im Fachbereich für Wald und Umwelt.

Horst Fehrenbach ist Ökobilanz-Experte am Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu) und Obmann im DIN NA172-00-03-01AK Carbon Footprint von Produkten.