

Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsenke

Bis zum Jahr 2017 sind die Kohlenstoffvorräte mit 113,7 Tonnen pro Hektar in unseren Wäldern auf einen neuen Rekord gestiegen. Zwischen 2012 und 2017 wurden pro Hektar und Jahr in der lebenden Biomasse 1,1 Tonnen Kohlenstoff (C) zusätzlich akkumuliert. Auch der Kohlenstoffvorrat im Totholz stieg jährlich um 0,08 Tonnen auf 3,1 Tonnen pro Hektar. Welchen Einfluss die aktuellen Ereignisse Sturm, Dürre und Insekten haben, wird erst die Bundeswaldinventur 2022 aufzeigen können. Wie die Ergebnisse zur BWI 2012 sind die Resultate der CI 2017 unter <https://bwi.info> abrufbar.

Thomas Riedel, Wolfgang Stümer,
Petra Hennig, Karsten Dunger, Andreas Bolte

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen von 1992 verpflichtet, jährliche Inventare zu Treibhausgasemissionen zu erstellen. Dazu zählen auch die Treibhausgas-Quellen und -Senken aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land use, land use change and Forestry, LULUCF).

Warum eine Kohlenstoffinventur?

Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Jahr 2005 wurden erstmals verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen für Industrieländer festgelegt. Deutschland verpflichtete sich, für die erste Verpflichtungsperiode (2008 bis 2012) des Kyoto-Protokolls

Schneller Überblick

- Die Quellen- und Senkenwirkungen aus Aufforstungen und Entwaldungen spielen gegenüber der Waldbewirtschaftung auf der Schnittmenge Holzboden eine untergeordnete Rolle
- 12,4 Mio. t C wurden pro Jahr in der lebenden Biomasse akkumuliert
- Dabei speicherten die Laubbäume, trotz geringerer Flächenanteile, mehr Kohlenstoff als die Nadelbäume
- Im Totholz wurden weitere 0,8 Mio. t C pro Jahr gebunden

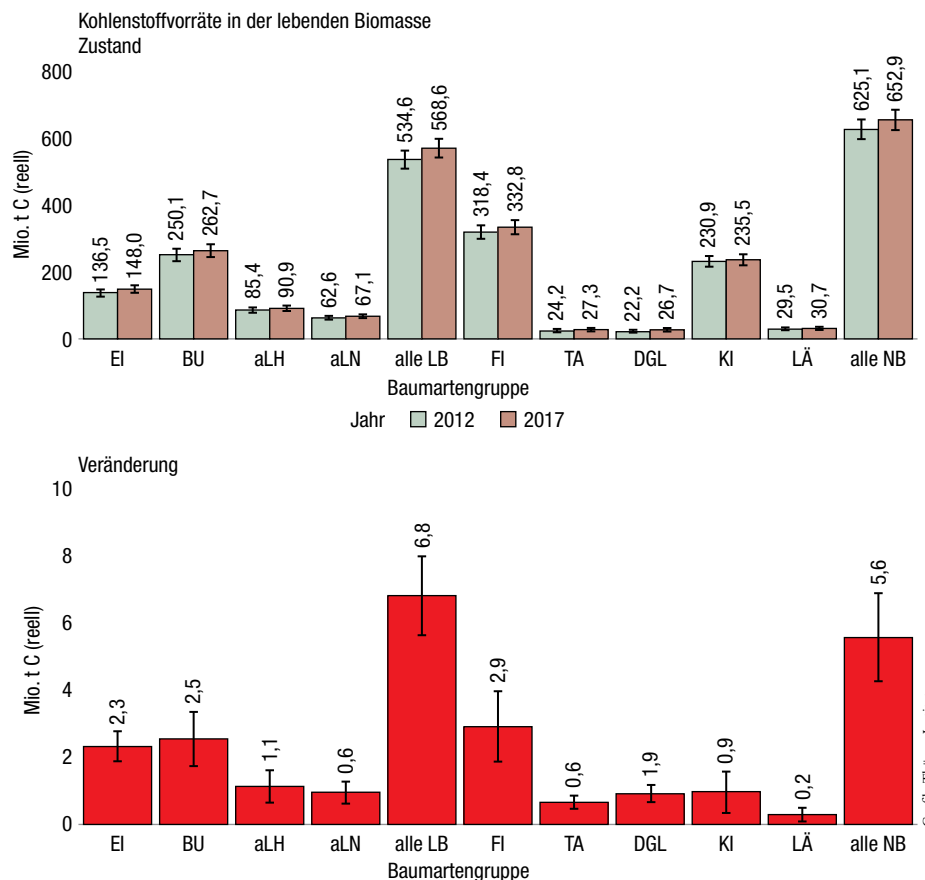


Abb. 1: Kohlenstoffvorräte (Anfangs- und Endwerte der Periode 2012 bis 2017) und deren Veränderung pro Jahr nach Baumartengruppen auf der Schnittfläche Holzboden in der Periode 2012 bis 2017. Die Werte für die Veränderung werden durch direkten Vergleich der wiederholt aufgenommenen Traktecken und entsprechende Hochrechnung ermittelt und sind somit nicht mit einfachen Differenzen aus Statuswerten von 2017 und 2012 vergleichbar. Grund für eine gesonderte Veränderungsrechnung sind höhere Genauigkeiten.

21 % weniger Treibhausgase gegenüber 1990 zu emittieren und erfüllte mit einer Einsparung von 24 % sein Ziel. Für die laufende zweite Verpflichtungsperiode (2013 bis 2020) hat sich die Europäische Union verpflichtet, ihre Treibhausgas-Emissionen um 20 % gegenüber 1990 zu verringern. Gemäß den innerhalb der EU

vereinbarten Beiträgen muss Deutschland bis 2020 seine Emissionen um etwa 34 % mindern.

Im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtend ist die Anrechnung der Quellen- und Senkenwirkung aus Entwaldung und Aufforstung nach Artikel 3.3 des Kyoto-Protokolls.

Die wichtigsten Fakten für 2017:

- 1.230 Mio. t C in lebender Biomasse gebunden;
- 33,6 Mio. t C im Totholz gespeichert;
- 47 % zu 53 % ist das Verhältnis des C-Vorrates von Laub- zu Nadelbäumen;
- 31 %, 48 %, 21 % sind die Anteile des C-Vorrates in den Altersklassen 1 bis 60, 61 bis 120, >120.

Die wichtigsten Trends in der Periode 2012 bis 2017:

- 1,1 t C/ha/a werden derzeit in der lebenden Waldbiomasse zusätzlich gespeichert.
- Die höchste C-Sequestrierung mit 4,43 t C/ha/a findet in der II. Altersklasse statt, anschließend erfolgt eine monotone Abnahme.
- In der gleichen Altersklasse bindet die Buche pro Hektar Standfläche ähnlich viel CO₂ wie die Fichte und die Eiche mehr als die Kiefer.

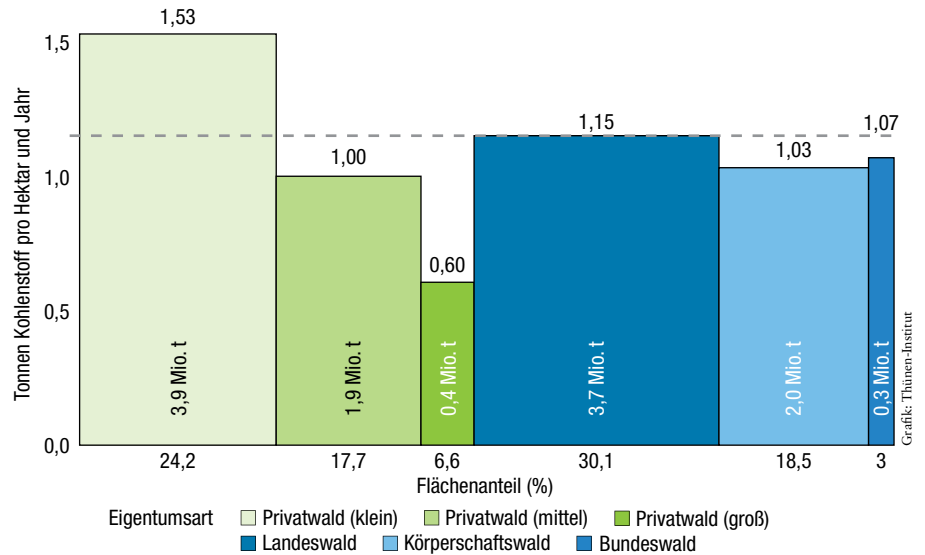


Abb. 2: Totale und flächenbezogene Kohlenstoffbindung pro Jahr nach Waldeigentumsarten auf der Schnittfläche Holzboden in der Periode 2012 bis 2017. Die Breite der Balken ist proportional zur Fläche der Eigentumsarten, die Höhe der Balken gibt die mittlere Bindungsrate je Hektar wieder (gestrichelte Linie = Mittelwert) und der Flächeninhalt der Balken entsprechend die Gesamtbindungsrate pro Jahr.

Im Vergleich zu den anderen Landnutzungen sind Wälder rückblickend auf die letzten Dekaden eine Treibhausgas-Senke. Deshalb hat sich Deutschland schon seit der ersten Verpflichtungsperiode entschieden, auch die Waldbewirtschaftung nach Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls anrechnen zu lassen.

Der Nachweis über die Treibhausgasentwicklung in Deutschland erfolgt durch den jährlichen „Nationalen Inventarbericht“ (National Inventory Reports/ NIR). Zuständig für die jährlichen Berichtspflichten ist das Bundesministerium für Umwelt (BMU). Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) stellt die für die Berichterstattung notwendigen Daten für seinen Zuständigkeitsbereich Landwirtschaft und LULUCF bereit; zu letzterem gehört auch der Wald. Hierzu bedient es sich des Thünen-Instituts.

Grundlage zur Erfüllung der Berichtspflichten im Wald ist einerseits das Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), zuletzt geändert durch das zweite Gesetz zur Änderung des Bundeswaldgesetzes vom 31. Juli 2010 (BGBl. I S. 1050). Dabei wurde der 1984 eingefügte § 41a zur Bundeswaldinventur (BWI) geändert. Im Absatz 3 steht: „Zur Erfüllung von Berichtspflichten, die aufgrund verbindlicher völkerrechtlicher Vereinbarungen zum Schutz des Klimas

bestehen, erhebt das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft soweit erforderlich in den Jahren zwischen zwei Bundeswaldinventuren Daten zum Kohlenstoffvorrat im Wald.“

Darüber hinaus stellen die Vorgaben der „IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (2006) als Regelwerk ebenfalls eine verbindliche Grundlage für die Erstellung der Inventare dar. Die Richtlinien von 2006 definieren und beschreiben die zulässigen Methoden für die Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention. Für die Berichterstattung nach Artikel 3.3 und 3.4 der zweiten Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto-Protokoll wurde 2013 das IPCC KP Supplement als Regelwerk herausgegeben.

Mit der Entscheidung, die Waldbewirtschaftung nach Artikel 3.4 KP anrechnen zu lassen, stellt der Kohlenstoffvorrat und dessen Veränderung in der Waldbiomasse, differenziert nach der oberirdischen und unterirdischen lebenden Biomasse sowie dem Totholz, eine wichtige Rolle für das Treibhausgasinventar dar. Deutschland hat für seine nationale Berichterstattung zur Waldbiomasse die sog. Vorratsänderungsmethode („Stock difference method“) gewählt, die eine Erhebung der Kohlenstoffvorräte in sinnvollen zeitlichen Abständen erfordert, um plausible Änderungswerte zu erzeugen. Zur Fortsetzung der Zeitreihe BWI 2002, Inventurstudie 2008 (IS08), BWI 2012 fand eine vierte Inventur, die sogenannte Koh-

Kategorie lt. Kyoto	Entwaldung (Artikel 3.3 KP)	Erstaufforstung (Artikel 3.3 KP)	Verbleibende Waldfläche (Artikel 3.4 KP)
Kategorie lt. BWI	Ehemaliger Holzboden	Neuer Holzboden	Schnittmenge Holzboden
Durchschnittl. Jahre ¹	2,5	2,5	5
Fläche [ha]	-52.135	48.470	10.706.717
C-Veränderung [Mio. t]	-2,8	2,3	61,8
C-Veränderung [Mio. t/a]	-1,1	0,9	12,4
C-Veränderung [t/ha]	-53,1	46,5	5,8
C-Veränderung [t/ha/a]	-21,2	18,6	1,1

Tab.1: Kennzahlen zur Veränderung des Kohlenstoffvorrats für Entwaldung, Aufforstungen und die Schnittmenge Holzboden in der lebenden Biomasse. Die Masse CO₂ entspricht 3,66 * t C. ¹Es wird unterstellt, dass sich die Anzahl Flächen, die entwaldet oder aufgeforstet werden, gleichmäßig über die Periode 2012 bis 2017 verteilen und somit durchschnittlich 2,5 Jahre Wald sind.

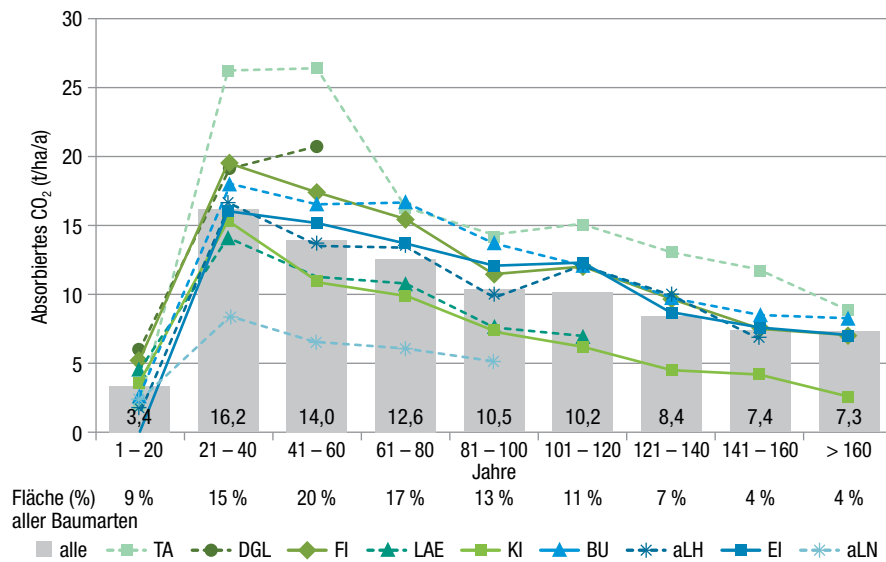


Abb. 3: Durch Zuwachs absorbiertes CO₂ in t/ha/a nach Baumarten und Altersklassen in der Periode 2012 bis 2017

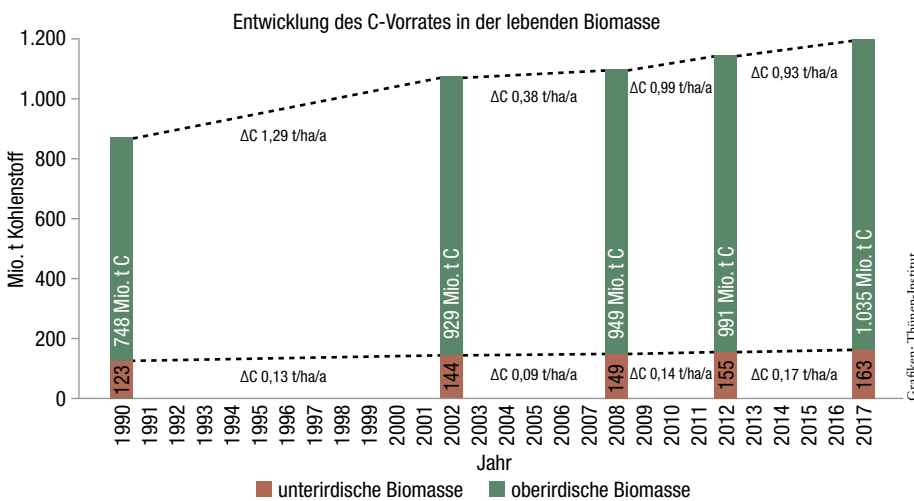


Abb. 4: Entwicklung der Kohlenstoffvorräte und -bindungsraten auf im Wald verbliebenen Flächen seit 1990

lenstoffinventur im Jahre 2017 (CI 2017), statt. Ziele der CI 2017 waren:

1. Die Erfassung des Kohlenstoffvorrates und seiner Veränderung in der lebenden Biomasse und im Totholz innerhalb der zweiten KP-Verpflichtungsperiode und
2. das Aufzeigen kurzfristiger bundesweiter Trends in der Waldentwicklung als Zwischenerhebung zu den Bundeswaldinventuren 2012 und 2022.

Die Kohlenstoffinventur quantifiziert die Kohlenstoffvorratsveränderungen für die lebende Biomasse und Totholz mit den Methoden der Bundeswaldinventur (BWI) auf einer BWI-Unterstichprobe im 8 km x 8 km-Netz. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik folgt in [1]. Die Kohlenstoffpools Boden und Streu wurden bei der CI 2017 nicht erhoben.

Hierfür ist die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) zuständig.

Die Kohlenstoffinventur 2017

Das Kyoto-Protokoll schreibt vor, alle anzurechnenden Senken- bzw. Quellenleistungen als nachprüfbar Veränderungen der Kohlenstoffbestände in jedem Verpflichtungszeitraum auszuweisen. Hierzu sollte eine Zwischeninventur möglichst zum Ende der Verpflichtungsperiode erfolgen. Jedoch ist eine so enge Abfolge zweier Inventuren (Zwischeninventur 2020 und gesetzlich vorgeschriebene BWI 2022) fachlich, inventurtechnisch, finanziell und personell nicht vertretbar. Diesem Umstand tragen sowohl das IPCC KP-Supplement, Abschnitt 2.3.4 von 2013, als auch die IPCC Guidelines (Vol. 1, Chapter 5,

Section 5.5.1) von 2006 Rechnung, indem ein fünfjähriger Turnus bei Wiederholungsinventuren als ausreichend für die Erstellung einer konsistenten Zeitreihe erachtet wird. Dem folgend wurde die Kohlenstoffinventur in das Jahr 2017 und damit in die Mitte des BWI-Turnus gelegt.

Die Senken- bzw. Quellenleistungen des Waldes sind somit über drei Jahre bis zum Ende der zweiten Verpflichtungsperiode 2020 zu extrapolieren. Die „IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories“ decken diese Vorgehensweise mit den in Abschnitt 7.3.2. beschriebenen Methoden ab. Spannend ist diese Aufgabe insofern, als dass die verstärkten Kalamitätsereignisse Sturm, Dürre und Insekten erst nach der Kohlenstoffinventur ab dem Herbst 2017 auftraten und somit in die Ergebnisse der Kohlenstoffinventur nicht einfließen konnten.

Die Kohlenstoffvorräte steigen weiter

Die Wälder Deutschlands zeigen einen weiteren Anstieg des Kohlenstoffvorrates in den Pools ober- und unterirdische Biomasse und Totholz. In unseren Wäldern waren 2017 1.264 Mio. t C gebunden, wovon 1.230 Mio. t C auf die lebende Biomasse entfallen und 33,6 Mio. t C im Totholz akkumuliert sind.

Für die Treibhausgasberichterstattung werden die Waldflächen in die drei Kategorien Aufforstung, Entwaldung und verbleibende Waldflächen unterteilt. Die Einbindung und Freisetzung von Kohlenstoff auf Aufforstungs- und Entwaldungsflächen werden als Bilanzen nach Artikel 3.3 des Kyoto-Protokolls berichtet. Die innerhalb der Verpflichtungsperiode Wald gebliebenen Flächen sind die Grundlage der Berichterstattung nach Artikel 3.4 Kyoto-Protokoll. Hier werden die Effekte der Waldbewirtschaftung angerechnet. Dabei gilt im Kontext der Klimaberichterstattung jede Wald gebliebene Fläche in Deutschland als bewirtschaftet, da auch die Nichtbewirtschaftung ein Ziel verfolgt und damit als „human induced“ gilt.

Die Aufteilung der Bilanzen auf die Kategorien für Kyoto, also die Netto-Veränderungen der Kohlenstoffinventur 2017, ist in Tab. 1 dargestellt.

So wurden in der Periode 2012 bis 2017 auf Neuwaldflächen 8,3 Mio. t CO₂

absorbiert. Unterstellt man eine gleichmäßige Entstehung der Neuwaldflächen über die Periode, so tragen diese im Mittel 2,5 Jahre zur CO₂-Bindung bei. Demnach werden 3,3 Mio. t CO₂ pro Jahr von den Aufforstungsflächen absorbiert. Dies entspricht einer Bindungsrate von 18,6 t C pro Hektar und Jahr. Dieser Wert erscheint auf den ersten Blick sehr hoch. Er berücksichtigt jedoch nur die Akkumulation von Biomasse in den ersten 2,5 Jahren nach der Aufforstung, innerhalb derer die Pflanzenzahl durch Pflanzung oder natürliche Verjüngung sehr hoch ist. Die später einsetzende Differenzierung und folgende Selektion durch natürliche Mortalität oder Läuterung führt zu einer deutlichen Senkung der Bindungsrate auf durchschnittlich 3,64 t C pro Hektar und Jahr in den ersten 20 Jahren.

Demgegenüber wurden auf den Entwaldungsflächen 10,1 Mio. t CO₂-Äquivalente bzw. 2,8 Mio. t C der lebenden Biomasse entzogen. Vernachlässigt man die bis zur Umwandlung stattfindenden Zuwächse und eventuelle Nutzungen innerhalb dieser Fünf-Jahres-Periode, wurden pro Hektar und Jahr durchschnittlich 21,2 t C der lebenden Biomasse entzogen, welche in Holzprodukten weiterhin gebunden bleiben oder anderweitig freigesetzt werden.

Durch das Wachstum der Bäume auf den in der Periode 2012 bis 2017 verbleibenden Waldflächen wird der Atmosphäre CO₂ entzogen und als Kohlenstoff gebunden. Gleichzeitig wird der lebenden Biomasse durch Nutzung und natürliche Mortalität Kohlenstoff entnommen und in Holzprodukten – je nach Verwendung – unterschiedlich lange gespeichert bzw. dem Totholz-Pool zugeführt. Netto wurde die Atmosphäre zwischen 2012 und 2017 auf der Schnittmenge des Holzbodens durch Waldbewirtschaftung (Artikel 3.4 KP) jährlich um 45,3 Mio. t CO₂ (12,4 Mio. t C) entlastet (Abb. 1). Dies entspricht einer Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen (11 t CO₂ pro Jahr und Kopf im Jahr 2016 [3]) von 0,55 t CO₂ bzw. 5 %. Dabei wurden von den Laubbäumen 6,8 Mio. t C akkumuliert und von den Nadelbäumen 5,6 Mio. t C.

Da Aufforstungs- und Entwaldungsflächen insgesamt in Deutschland eine untergeordnete Rolle spielen, ist damit die Waldbewirtschaftung auf der Schnittmenge des Holzbodens von 10,7 Mio. Hektar der

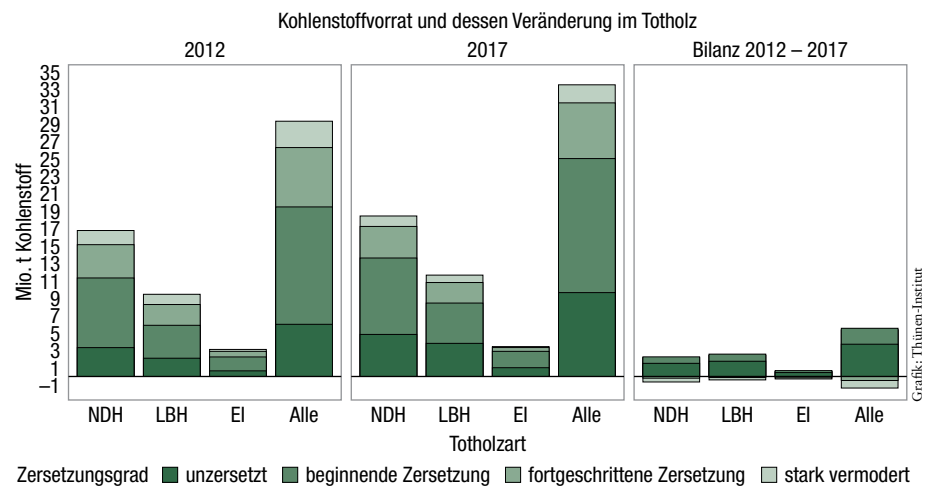


Abb. 5: Der Kohlenstoffvorrat und dessen Veränderung im Totholz auf der Schnittfläche Wald innerhalb der Periode 2012 bis 2017

entscheidende Motor bei der Kohlenstoffbindung mit 1,15 t C pro Hektar und Jahr in unseren Wäldern.

Bei einer vergleichenden Betrachtung nach Eigentumsarten fällt die jährliche Kohlenstoffbindungsrate im Kleinprivatwald bis 20 ha Größe mit 1,5 t pro Hektar und Jahr derzeit am höchsten aus. Zurückzuführen ist dies auf die vergleichsweise geringe Nutzungsrate gegenüber anderen Eigentumsarten (Abb. 2).

Die CO₂-Einbindung war – wie beim Holzzuwachs – in der zweiten Altersklasse (21 bis 40 Jahre) mit 16,2 t pro Hektar und Jahr am größten. Bezogen auf die Baumarten- und Altersklassenfläche zeigt Abb. 3, dass die CO₂-Absorption anschließend in den höheren Altersklassen sinkt. Die durchschnittliche CO₂-Absorption je Baumartenfläche lag bei Fichte, Buche und Eiche enger beieinander als die Holzzuwächse [2]. Die Kiefer schnitt diesbezüglich ab Altersklasse III deutlich schlechter ab. Bemerkenswert hoch ist die CO₂-Absorption der Tanne. Die Kurve der Douglasie wurde aufgrund der geringen Stichprobenzahl in den höheren Altersklassen abgeschnitten.

Die Entwicklung der Kohlenstoffbindungsraten in der lebenden Biomasse auf den verbleibenden Waldflächen seit 1990 ist in Abb. 4 dargestellt. Sie liegt seit drei Jahrzehnten etwa bei 1 t C pro Hektar und Jahr. Neueste Untersuchungen am Thünen-Institut zeigen, dass die in der Periode 2002 bis 2008 relativ geringe Kohlenstoffbindungsrate pro Hektar und Jahr maßgeblich durch den Sturm „Kyrill“ und der damit deutlichen Steigerung des Holzaufkommens

innerhalb des Jahres 2007 verursacht worden ist.

Der Kohlenstoffvorrat im Totholz ist zwischen 2012 und 2017 auf Grund der schnelleren Zufuhr von neuem Totholz gegenüber den natürlichen Abbauprozessen um 4,2 Mio. t C gestiegen (Abb. 5). Das sind pro Jahr 0,8 Mio. t C (bzw. 3,1 Mio. t CO₂-Äquivalente). Dies gilt im speziellen für die Zersetzungsgrade „unzersetzt“ und „beginnende Zersetzung“. Dagegen setzen die beiden Klassen „fortgeschrittene Zersetzung“ und „stark vermodert“ in der Nettobilanz CO₂ frei, da die natürlichen Abbauprozesse die Nachlieferungsrate übersteigen.

In der lebenden Biomasse und im Totholz wurden aufgrund der Waldbewirtschaftung (Artikel 3.4 KP) zwischen 2012 und 2017 netto pro Jahr 13,2 Mio. t C (48,4 Mio. t CO₂-Äquivalente) zusätzlich im Wald akkumuliert. Bezieht man zusätzlich die aktuellsten Bindungsraten für den Boden und die Streu ein, so entlasten die deutschen Wälder die Atmosphäre um 62 Mio. t CO₂ jährlich. Sie kompensieren damit die nationalen Treibhausgasemissionen insgesamt um 7 %.

Anrechnung der Kohlenstoffsénke

Die hier aufgeführten Zahlen sind vorläufig, da an den Berechnungen für die Treibhausgasberichterstattung 2020 noch gearbeitet wird. Die Ergebnisse der CI 2017 spiegeln nur die Veränderungen in der Periode 2012 bis 2017 wider. Diese müssen bis zum Jahr 2020 mit den in den IPCC Guidelines vorgegebenen Methoden extrapoliert werden.

Bei der Anrechnung unter Artikel 3.3 des Kyoto-Protokolls in der zweiten Verpflichtungsperiode wird die Bilanz zwischen der Speicherung bei Aufforstung und dem Verlust bei Entwaldung direkt angerechnet. Hierbei sind neben den oben betrachteten Pools lebende Biomasse und Totholz auch die Pools Boden und Streu in der Periode von 2013 bis 2017 zu berücksichtigen. Die Quell- oder Senkenleistung der beiden letztgenannten Pools werden von der Bodenzustandserhebung im Wald quantifiziert. Da summarisch die Speicherleistung aller Pools höher als der Verlust ist, können nach gegenwärtigem Stand durchschnittlich pro Jahr 1,25 Mio. t C als Speicher angerechnet werden.

Literaturhinweise:

[1] SCHWITZGEBEL, F.; RIEDEL, T. (2019): Die Kohlenstoffinventur 2017 – Methode, Durchführung, Kosten. AFZ-DerWald, Nr. 14, S. 19-21. [2] HENNIG, P.; SCHNELL, S.; RIEDEL, T. (2019): Produktivität der Wälder. AFZ-DerWald Nr. 14, S. 28-31. [3] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union#textpart-2>, letzter Zugriff: 2019-06-03.

Bei der Waldbewirtschaftung (Schnittmenge Holzboden) ist die Anrechnung komplizierter. Gemäß der Vereinbarung von Cancun im Rahmen des Kyoto-Protokolls sollen anthropogene Treibhausgasemissionen aus Quellen und Senken, die sich aus Waldbewirtschaftung unter Artikel 3.4 in der zweiten Verpflichtungsperiode ergeben, gegen das sog. „Forest Management Reference Level“ (FMRL) angerechnet werden. Das FMRL beinhaltet einen Wert, der die durchschnittlichen jährlichen Netto-Emissionen von Waldbewirtschaftung in der zweiten Verpflichtungsperiode aus historischen Daten und politischen Entscheidungen projiziert. Damit soll bei der Anrechnung nur das berücksichtigt werden, positiv wie negativ, was sich durch die heutige, veränderte Waldbewirtschaftung gegenüber der projizierten Bewirtschaftung vor 2009 ergibt. Das aktuelle korrigierte FMRL beträgt -17,15 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr. Der Betrag ist negativ, da der Atmosphäre CO₂ entzogen wurde. Aus den Ergebnissen

der Kohlenstoffinventur für die Pools Biomasse und Totholz sowie den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung im Wald für die Pools Boden und Streu resultiert eine nach heutigem Stand jährliche Einbindung von ca. -57 Mio. t CO₂-Äquivalente in der Periode 2012 bis 2017. Dies würde gegenüber dem FMRL zu einer jährlichen Anrechnung von -39,85 Mio. t CO₂-Äquivalente bzw. 10,8 Mio. t C führen.

Dr. Thomas Riedel, thomas.riedel@thuenen.de, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Thünen-Institut für Waldökosysteme, Arbeitsbereich Walddressourcen und Klimaschutz. Er leitet und koordiniert den Fachbereich Bundeswaldinventur. **Dr. Wolfgang Stümer** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Thünen-Institut für Waldökosysteme, Arbeitsbereich Walddressourcen und Klimaschutz. Er leitet und koordiniert den Fachbereich Klimaberichterstattung. **Petra Hennig** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Thünen-Institut für Waldökosysteme mit den Arbeitsschwerpunkten Datenmanagement, Methodenentwicklung und Auswertung der Bundeswaldinventur. **Karsten Dunger** ist Leiter des Arbeitsbereiches Walddressourcen und Klimaschutz am Thünen-Institut für Waldökosysteme. **Prof. Dr. Andreas Bolte** ist Leiter des Thünen-Institutes.

