

Kohlenstoffspeicherung in Wäldern Nordrhein-Westfalens

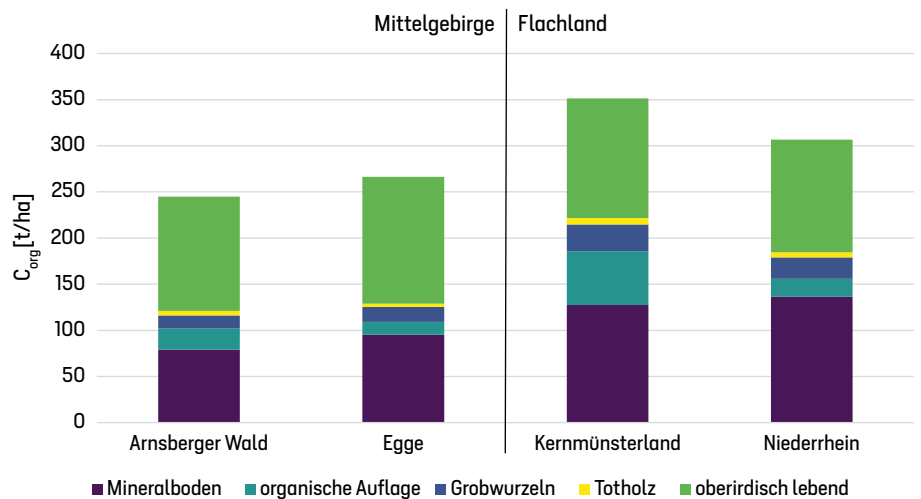
Im BiCO₂-Projekt wurden die Kohlenstoffvorräte in für Nordrhein-Westfalen regional bedeutsamen Waldtypen mit unterschiedlicher Nutzungsintensität ermittelt. Die mittleren Kohlenstoffvorräte aller 200 untersuchten Flächen (inklusive der oberirdischen lebenden Biomasse, des Totholzes, der Grobwurzeln, der organischen Auflagen und des Mineralbodens bis 60 cm Tiefe) liegen bei 292 ± 72 t Kohlenstoff pro Hektar.

TEXT: UTE HAMER, THERESA KLEIN-RAUFHAKE, MICHAEL MEYER, JENS SCHAPER, KATHARINA RENTEMEISTER

Waldökosysteme können bedeutende Mengen an Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Atmosphäre aufnehmen und in Form von organisch gebundenem Kohlenstoff (C_{org}) langfristig speichern. Wichtige C-Speicher sind neben der oberirdischen lebenden Biomasse besonders die Böden [1]. Unklar ist, in welchem Ausmaß die C-Speicherung durch die Waldnutzung gezielt gesteuert werden kann [2].

Durch die Photosynthese wandeln Pflanzen das CO₂ zunächst in lebende Biomasse um, in der der Kohlenstoff als wesentlicher Bestandteil organischer Verbindungen gespeichert wird. Durch den Streufall sowie über absterbendes Holz und Wurzeln wird der organisch gespeicherte Kohlenstoff (C_{org}) dem Boden zugeführt, wo er durch streuabbauende Organismen veratmet und in sekundäre organische Verbindungen umgewandelt wird. Neben wühlenden Bodenorganismen, die die anfallende Biomasse in den Mineralboden einarbeiten, spielen die Wurzeln eine wichtige Rolle: Sie speichern nicht nur C_{org}, sondern bringen den Kohlenstoff auch tief in den Mineralboden ein. Dort kann C_{org} z. B. an die Mineralphase im Boden, v. a. an Tonminerale, gekoppelt und so langfristig stabilisiert werden. Trotz fortlaufender Abbauprozesse, bei de-

Kohlenstoffvorräte



Grafik: T. Klein-Raufhake

Abb. 1: Durchschnittliche Vorräte des organischen Kohlenstoffs [C_{org}] aller 50 untersuchten Flächen in den vier Projektgebieten. Lila entspricht den Vorräten im Mineralboden (0 bis 60 cm Tiefe), dunkelgrün der organischen Auflage (L-, Of- und Oh-Horizonte), blau dem Grobwurzelsystem der lebenden Bäume, gelb dem Totholz und hellgrün den Vorräten im oberirdisch lebenden Baumbestand.

nen (Mikro-)Organismen im Boden C_{org} in CO₂ umwandeln, kommt es damit zu einer Anreicherung von organischer Bodensubstanz. Der Mineralboden spielt eine entscheidende Rolle bei der langfristigen stabilen C-Speicherung. Auch in der organischen Auflage kann sich Kohlenstoff in unterschiedlichen Zersetzungsstadien anreichern (vgl. Klein-Raufhake in dieser Ausgabe [3]; vgl. [4, 5]), doch im

Vergleich zum Mineralboden ist diese C-Speicherung labil [2, 6].

Im BiCO₂-Projekt wurden die Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen lebenden Biomasse, im Totholz, in Grobwurzeln, in der organischen Auflage und im Mineralboden bis 60 cm Tiefe entlang eines Nutzungsgradienten (Formi, vgl. Wöllecke in dieser Ausgabe [7]) ermittelt. Die Bodenprobenahme er-



Abb. 2: Typisches Bohrstockprofil aus dem Arnsberger Wald mit deutlich erkennbarem Bodenskelett (Steine > 2 mm)

Foto: U. Hamer



folgte in Anlehnung an die bei der „Bodenzustandserhebung (BZE) Wald“ [8] übliche Vorgehensweise mit einer volumenbezogenen Probenahme der organischen Auflagehorizonte (L, Of, Oh) und des Mineralbodens, unterteilt in die Tiefenstufen 0 bis 5 cm, 5 bis 30 cm und 30 bis 60 cm. Im Labor wurden die C- und N-Gehalte gemessen und die Lagerungsdichten und Skelettgehalte bestimmt. Die Berechnung der oberirdischen C-Vorräte ist an die internationale Methodik angelehnt [9]. Dafür wurde das Biomassevolumen der verschiedenen lebenden und toten Holzkompartimente berechnet und in C-Vorräte konvertiert (Faktor 0,5).

Einfluss von Standortfaktoren auf die C-Speicherung

Betrachtet man den ober- und unterirdischen C-Speicher insgesamt (Abb. 1), dann weist der Arnsberger Wald mit im Mittel 250 t C_{org}/ha die geringsten und das Kernmünsterland mit 350 t C_{org}/ha die höchsten Vorräte auf. Diese Zunahme ist v. a. auf den im Mineralboden bis in 60 cm Tiefe gespeicherten organischen Kohlenstoff zurückzuführen. Die durchschnittlichen Vorräte im oberirdischen lebenden Bestand unterscheiden sich nur geringfügig zwischen den vier Projektgebieten. Sie liegen bei etwa 130 t C_{org}/ha. Hinzu kommen noch durchschnittlich 21 t C_{org}/ha in den Grobwurzeln. Die Speicherfunktion des stehenden und liegenden Totholzes (vgl. Santora in diesem Heft [10]) kann demgegenüber vernachlässigt werden. Sie beträgt im Mittel 2 t C_{org}/ha.

Deutlich größere Variabilität weisen die Vorräte im Boden auf. Die Vorräte im Arnsberger Wald und der Egge liegen unter 100 t C_{org}/ha. Derart geringe Vorräte finden sich auf 46 % der Waldstandorte in Deutschland, die im Rahmen der BZE untersucht wurden [8]. Die Waldböden im Kernmünsterland und am Niederrhein liegen mit etwa 130 t C_{org}/ha deutlich darüber. Solche mittleren Vorräte sind auf 48 % aller BZE-Waldstandorte zu finden [8]. Diese um bis zu 57 t C_{org}/ha geringeren Vorräte der Mittelgebirgsstandorte im Vergleich zu den Flachlandstandorten sind v. a. auf Unterschiede der abiotischen Bodeneigenschaften zurückzuführen. Die Böden (Hauptbodentyp: Braunerde) im Arnsberger Wald und in der Egge

„Auffallend ist die starke Variabilität der C_{org}-Vorräte in den untersuchten Böden im Münsterland.“

UTE HAMER

sind deutlich skelettreicher (Steine >2 mm). In dem Bodenvolumen, das durch diese Steine ausgefüllt ist, kann kein Kohlenstoff gespeichert werden (Abb. 2). Skelettgehalte von bis zu 60 % im Mineralboden in einer Tiefe von 30 bis 60 cm sind in den beiden Mittelgebirgsstandorten nicht selten. Dagegen werden in den beiden Flachlandstandorten kaum Skelettgehalte >5 % gefunden. Hinzu kommt im Kernmünsterland der stärkere Einfluss wechselfeuchter Standortbedingungen (Hauptbodentyp: Pseudogley). Ausgeprägte Feuchtphasen im Winterhalbjahr und Trockenphasen im Sommerhalbjahr haben Abbauprozesse verlangsamt oder phasenweise gestoppt, was zu einer Humusanreicherung in den lehmigen Böden führte. Auffallend ist die starke Variabilität der C_{org}-Vorräte in den Böden im Münsterland. Die Spannweite reicht

von Vorräten <100 t C_{org}/ha bis zu mehr als 200 t C_{org}/ha. Letzteres sind hohe C-Vorräte, die in der BZE nur auf ca. 5 % aller untersuchten Waldstandorte Deutschlands zu finden sind. Ursachen für die starke Variabilität sind die kleinräumig wechselnden Bodenarten, das Mikrorelief, hoch anstehendes Grundwasser sowie eine beginnende Podsolierung bei stark sauren pH-Werten. Auf diesen Böden bildet sich oft eine sehr mächtige organische Auflage, was v. a. durch Nadelbestände verstärkt wird (vgl. [3]). Demgegenüber findet sich die geringste C-Speicherung in der organischen Auflage mit im Mittel 13,7 t C_{org}/ha in der Egge, da hier das basenreiche Ausgangsgestein für bessere Streuqualitäten und höhere pH-Werte im Oberboden sorgen [3] und damit einen rascheren Ab- und Umbau der Streu ermöglichen.

Dagegen überrascht, dass die C-Vorräte in den sandigen bis lehmig-sandigen Mineralböden am Niederrhein (Hauptbodentyp: Braunerde) in ähnlicher Größenordnung liegen wie im Kernmünsterland. Hier spielt neben örtlich stärkerem winterlichen Stauwasser einfluss und Podsolierung vermutlich auch die historische Nutzung eine Rolle. So wurden die meisten Flächen am Niederrhein mit dem Streifenpflug bearbeitet (persönliche Mitteilung der Revierleiter). Das hat dazu geführt, dass wenig zersetztes organisches Material aus den Auflagehorizonten in den tieferen Mineralboden eingearbeitet wurde, was in den Bohrstockproben noch gut zu erkennen war.

Einfluss vom Bestandesalter auf die C-Speicherung

Erwartungsgemäß steigt die Kohlenstoffspeicherung in der oberirdischen Biomasse, im Totholz und den lebenden Wurzeln mit zunehmendem Bestandesalter deutlich an (Abb. 3). Hauptspeicherkomponente ist eindeutig die lebende oberirdische Holzbiomasse, während das Totholz, wie für Wirtschaftswälder typisch, von völlig nachgeordneter Bedeutung als Kohlenstoffspeicher ist. Der Unterschied zwischen 50-jährigen und über 200-jährigen Beständen kann dabei rund 50 t C_{org}/ha betragen. In Naturwaldreservaten mit ca. 150 Jahre alten Laubholzbeständen werden maximale Werte von

Schneller ÜBERBLICK

- » **Das Baumalter ist entscheidend für die Höhe der oberirdischen Kohlenstoffvorräte**
- » **Im Boden sind bis zu 61 % des Kohlenstoffs gespeichert**
- » **(Wechsel-)feuchte, skelettarme Böden speichern im Mittel 52 % mehr Kohlenstoff in 0 bis 60 cm Tiefe als Hangstandorte mit hohem Steingehalt**
- » **Die Nutzungsintensität beeinflusst v. a. die Stabilität des Kohlenstoffs im Boden**

268 t C_{org}/ha im lebenden Bestand erreicht.

Totholz kann neben seiner Speicherfunktion auch eine wichtige Quelle für organischen Kohlenstoff sein, der mit dem Sickerwasser in größere Tiefen des Bodens verlagert wird und somit den C_{org}-Vorrat im Mineralboden langfristig ansteigen lässt [11]. Auch den Wurzeln kommt hier eine besondere Bedeutung zu. Sie können sekundäre Leitbahnen für Sickerwasser schaffen und geben selbst aktiv verschiedenste organische Verbindungen in die Bodenlösung ab [12]. Wurzeln sterben und können durch Boden(mikro)organismen in stabilere Huminstoffverbindungen umgebaut werden. Dabei spielt nicht nur die Menge an Wurzelbiomasse eine Rolle, sondern auch deren chemische Zusammensetzung und letztlich ihr Gehalt an Nährstoffen [13]. Diese Qualität der Wurzeln variiert in Abhängigkeit der Baumart sowie der Zusammensetzung von Kraut- und Strauchschicht.

Einfluss der Nutzungsintensität und der Baumartenwahl

Eine spannende Frage ist, inwieweit die C-Speicherung in Waldböden durch die Nutzungsintensität (ForMi, vgl. [7]) gesteuert werden kann, und zwar unabhängig vom Untersuchungsgebiet und den jeweiligen Standortverhältnissen. Um diese Frage zu beantworten, wurde ein statistisches Modell genutzt, um die Veränderung der C-Vorräte zu erklären. In dieses lineare Modell sind neben dem ForMi als feste erklärende Variablen die Bodenart, die Bodenfeuchte und das Untersuchungsgebiet eingegangen und im Mineralboden zusätzlich noch der Skelettgehalt. Hier zeigt sich für die organischen Auflagen, dass mit steigender Nutzungsintensität die Höhe der C-Speicherung signifikant zunimmt. Im Mittel werden über alle Untersuchungsgebiete hinweg bis zu 22 t C_{org}/ha mehr gespeichert. Dies liegt v. a. an einem zunehmenden Anteil an Nadelbäumen, die eine schlecht zersetzbare Streu liefern. Zudem fehlen bei den niedrigeren

Literaturhinweise:

Download des Literaturverzeichnis in der digitalen Ausgabe von AFZ-DerWald (<https://www.digitalmagazin.de/marken/afz-derwald>) sowie unter: www.forstpraxis.de/downloads

Kohlenstoffvorräte in der Holzbiomasse

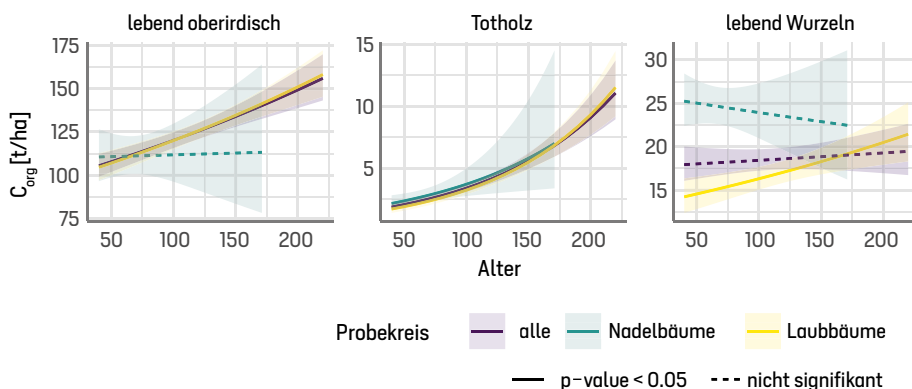


Abb. 3: Änderung der Kohlenstoffvorräte (C_{org}) in der Holzbiomasse (lebend oberirdisch, Totholz, lebend Wurzeln) in Abhängigkeit vom Bestandesalter (über alle 200 Flächen (lila), alle 40 Nadelbaumbestände (grün), alle 160 Laubbaumbestände (gelb))

pH-Werten (vgl. [3]) häufig bodenwühlende Organismen wie Regenwürmer, die organisches Material tiefer in den Mineralboden einarbeiten. Wichtig ist, dass der Kohlenstoffspeicher in der organischen Auflage sehr labil ist und Kalamitäten, Windwurf oder Waldbrände schnell zu erhöhten Bodentemperaturen und einem beschleunigten Abbau dieses C-Vorrats führen können [2, 6]. Andererseits könnte durch den Rückbau von Drainagen auf Flächen mit Stau- und Grundwasseranschluss der Abbau (auch im Mineralboden) langfristig verlangsamt und weitere Speicherpotenziale geschaffen werden.

Im Mineralboden ist der Einfluss der Nutzungsintensität zunächst kaum sichtbar. Betrachtet man allerdings nur die 160 Laubbaumbestände, so wird deutlich, dass bei niedrigem ForMI im Mineralboden in einer Tiefe von 5 bis 30 cm tendenziell mehr organischer Kohlenstoff gespeichert ist. In reinen Laubbaumbeständen mit alten Tiefwurzlern (Eiche, Buche) können in 5 bis 30 cm Bodentiefe im Mittel sogar bis zu 10 t C_{org}/ha mehr gespeichert werden als in jüngeren Laubbaumbeständen mit hohem ForMi.

Fazit

Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung des Mineralbodens als wichtiger Kohlenstoffspeicher. Dabei hängt die Größenordnung des C-Speicherpotenzials der Böden v. a. von den abiotischen Standortverhältnissen ab und kann im Mittel der untersuchten Gebiete um bis zu 57 t C_{org}/ha varii-

ren. Demgegenüber ist die Beeinflussung der Höhe der Kohlenstoffvorräte im Boden durch Nutzungsentscheidungen gering. Reine Nadelholzbestände unterscheiden sich bezüglich der Speicherfunktion des Bodens kaum von naturnäheren Laubholzbeständen. Allerdings kommt es hier infolge verringelter Streuqualität verstärkt zum Aufbau labiler organischer Auflagen. Stellschraube ist v. a. die Einbringung von Kohlenstoff in den Mineralboden (über tiefe Wurzelsysteme, Totholz), der dort langfristig stabilisiert werden kann, und die Förderung eines aktiven Bodenlebens, das sich positiv auf die Bodenqualität auswirkt und Tiefenverlagerung vom C_{org} begünstigt.



Prof. Dr. Ute Hamer
ute.hamer@uni-muenster.de

ist Projektleiterin seitens der Universität Münster. **Theresa Klein-Raufhake** ist Doktorandin und **Dr. Michael Meyer** ist Postdoc im Waldklimafonds-Projekt „BiCO₂“ am Institut für Landschaftsökologie der Universität Münster. **Jens Schaper** und **Katharina Rentemeister** sind wissenschaftliche Projektmitarbeitende beim NABU Münsterland.