

Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden

Die BZE 2 gibt einen Einblick in die Größenordnung des Kohlenstoffspeichers

Alfred Schubert

Die Diskussion zur Klimaänderung bezieht seit einiger Zeit auch den organischen Kohlenstoff in Böden als CO₂-Senke oder CO₂-Quelle mit ein. Da Deutschland sich verpflichtet hat, im Rahmen des Kyoto-Protokolls die Bodenvorräte des organischen Kohlenstoffs zu erheben, erfährt diese Betrachtung eine bisher nicht dagewesene Brisanz. Verlässliche Werte können hier nur mit Hilfe von Inventuren wie der BZE 2 erhoben werden. Abgesehen von dieser »neuen Fragestellung« bieten Daten zum Bodenkohlenstoff noch weitere wertvolle Informationen.

Waldböden enthalten je nach Horizont und Bodentiefe unterschiedliche Anteile von Mineralboden und Humus. In der Regel nimmt der Humusanteil von oben nach unten ab. Die bedeutendste Humusquelle sind abgefallene Blätter, Nadeln, Zweige, Äste, Früchte, Rindenteile sowie die abgestorbenen Wurzeln der Bäume im Boden. Gefallene Streu und Wurzelstreu werden im Boden zersetzt und schließlich mineralisiert. Dabei entstehen im Wesentlichen die zwei Humusformen *Nährhumus* und *Dauerhumus*, die auf die unterschiedliche Abbauresistenz der Streu-Wurzel-Bestandteile zurückzuführen sind. Der Nährhumus wird in der Regel in kurzen Zeiträumen umgesetzt (Jahre bis Jahrzehnte) und ist hauptsächlich für die Nährstoffnachlieferung verantwortlich. Dagegen wird der Dauerhumus in deutlich längeren Zeiträumen (Jahrhunderte bis Jahrtausende) abgebaut und reichert sich in den Böden an. Die Nährhumusanteile sind in den Oberbodenhorizonten deutlich höher als in den unteren Horizonten. Beim Dauerhumus ist es umgekehrt. Die Humusgehalte und -vorräte in den Waldböden sind ein Ergebnis des Zusammenspiels unterschiedlicher Standortfaktoren wie Ausgangsgestein der Bodenbildung, Zeitraum der Bodenbildung, Relief, Exposition, Klima, Vegetation und Art der Waldbewirtschaftung. Die beiden letzten Faktoren bedingen sich gegenseitig und wirken sich auf den Humus vor allem in den obersten Bodenhorizonten sehr kurzfristig und sehr dynamisch aus (Scheffer und Schachtschabel 1998). Die Relation zwischen dem ober- und unterirdischen Kohlenstoffspeicher in Wäldern umfasst eine große Spannbreite. Als mittlere Faustzahl wird in der Literatur für Europa ein Verhältnis von 1:2 angegeben (FAO 2005).

Organische Kohlenstoffvorräte in bayerischen Waldböden

Der Kohlenstoff in Böden liegt in karbonatischer (Kalk-Dolomit-Gesteine und -Mergel) und organisch gebundener (Humus) Form vor. Im Rahmen der BZE 2 wurden beide Kohlenstoffbindungsformen analytisch bestimmt. In Abbildung 2 sind alle 372 beprobten BZE-Punkte mit ihren Vorratssummen des organischen Kohlenstoffs bis 150 Zentimeter Tiefe in Form einer Summenkurve dargestellt. Die Summenkurve



Foto: R. Süß

Abbildung 1: Mit der Rammkernsonde werden Bodenproben bis aus einer Tiefe von 150 cm gewonnen.

zeigt den Wertebereich der Kohlenstoffvorräte, in dem die einzelnen BZE-Punkte aufsteigend angeordnet sind. Der niedrigste Wert aller BZE Punkte liegt bei 35, der höchste bei 1.144 Tonnen pro Hektar (t/ha). Der 50-Prozent-Wert (Median) liegt

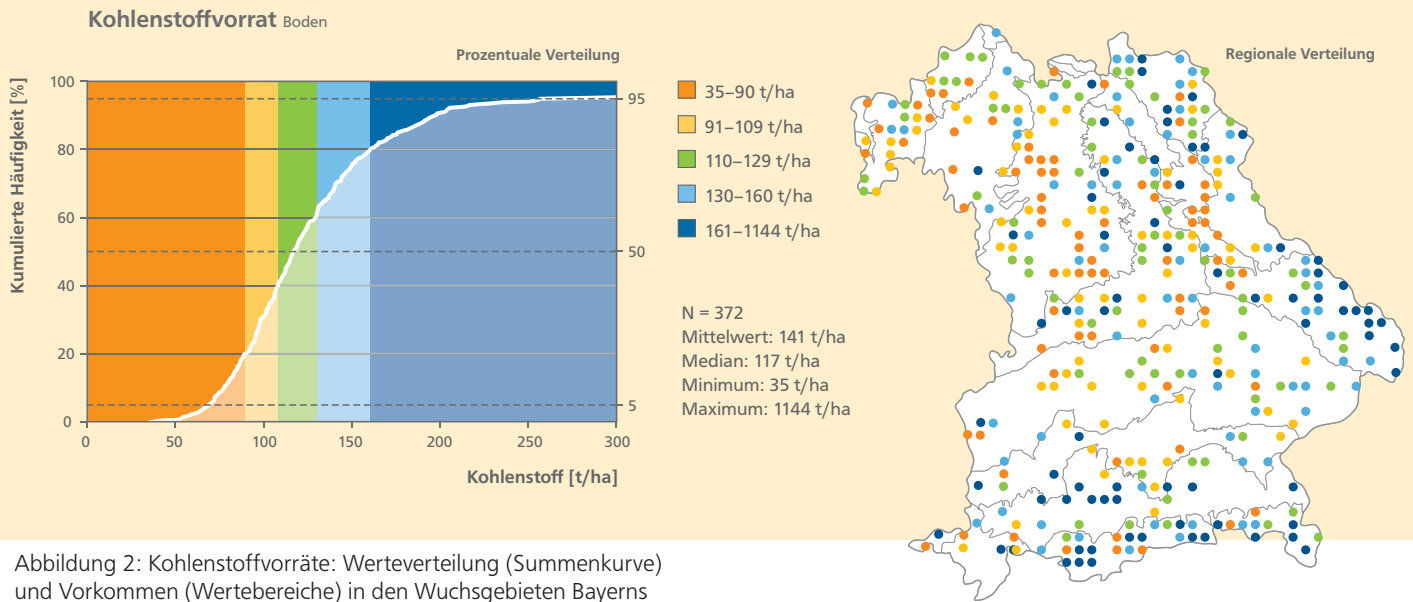


Abbildung 2: Kohlenstoffvorräte: Werteverteilung (Summenkurve) und Vorkommen (Wertebereiche) in den Wuchsgebieten Bayerns

bei 117 t/ha. Die Werteverteilung erstreckt sich über einen sehr weiten Bereich und es gibt keinen BZE-Punkt ohne Humus. Die Karte Bayerns rechts davon veranschaulicht die flächige Verteilung der Wertebereiche.

An BZE-Punkten mit sehr flachgründigen und sehr steinigen Böden findet man trotz hoher Kohlenstoffgehalte generell sehr geringe Vorräte organischen Kohlenstoffs. Extrem hohe Vorräte finden sich an Punkten ohne oder mit sehr geringem Mineralbodenanteil. Das sind in der Regel Moore und Anmoore mit sehr hohen Gehalten organischer Substanz. Schwerpunkte bei den Vorratswerten sind im Süden und Osten Bayerns zu erkennen. Dies gibt erste Hinweise auf die verantwortlichen Standortfaktoren.

Organische Kohlenstoffvorräte in unterschiedlichen Bodenbereichen

Neben Kohlenstoffvorräten des Gesamtprofils ist es auch interessant, sich einzelne ausgewählte Bodenbereiche (organische Auflagen, Auflage + 30 cm Mineralboden, Auflage + 100 cm Mineralboden) genauer auf die Vorräte hin anzusehen. Die Kohlenstoffvorräte in den *organischen Auflagen* ($L/O_f + O_h$) stehen in enger Beziehung zur Streu der aufstockenden Waldbestände und werden am stärksten von kurzfristigen Veränderungen der Standortfaktoren beeinflusst (siehe oben). Die Kohlenstoffvorräte der *Auflage und des Mineralbodens der obersten 30 Zentimeter* werden zu einem Vorratswert zusammengefasst. Wenn in der Standortskunde der Oberboden angesprochen wird, entspricht das weitgehend diesem Bodenbereich.

Abbildung 3 zeigt die drei Bodenbereiche mit ihren Vorratswerten und ihrer Streu in Form von Boxplots. Den Maximalwert bei den Auflagen repräsentiert ein BZE-Punkt mit Tangelhumus in den Bayerischen Alpen. Die Extremwerte bei den beiden anderen Bodenbereichen oberhalb 95 Prozent sind alle auf Moor- und Anmoorstandorte zurückzuführen.

Die vergleichsweise geringen Kohlenstoffvorräte in den Humusaufgaben gegenüber den anderen Bodenbereichen fallen auf. Im Vergleich zu den Mineralbodenhorizonten findet man in den Auflagen zwar die höchsten Anteile organischen Kohlenstoffs, andererseits haben die Proben ein sehr geringes spezifisches Gewicht. Diese beiden Faktoren sind in den Berechnungsverfahren für Vorräte gegenläufig. Humusformen mit deutlicher Differenzierung in mächtige O_f und O_h -Horizonte zeichnen Inventurpunkte mit gehemmtem Abbau aus (z. B. Rohhumus, rohhumusartiger Moder bis Moder). Im Oberboden sind deutlich größere Vorräte organischen Kohlenstoffs gespeichert. Das ist darauf zurückzuführen, dass die mineralischen Oberbodenhorizonte einerseits noch nennens-

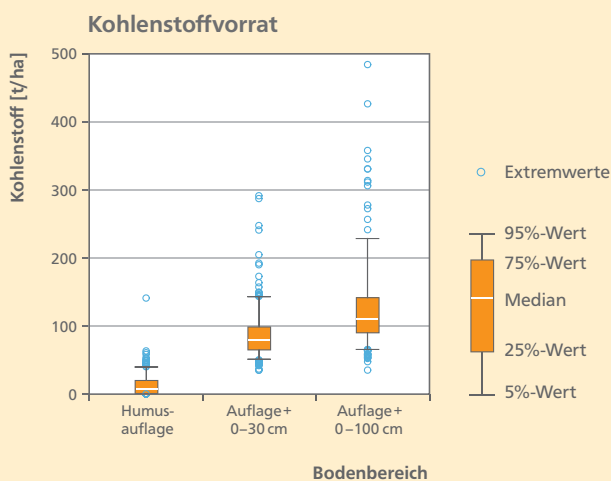


Abbildung 3: Die Kohlenstoffvorräte an den BZE-Inventurpunkten in drei unterschiedlichen Bodenbereichen. Bemerkenswert ist der vergleichsweise geringe Kohlenstoffvorrat der Humusaufgabe.

werte Kohlenstoffgehalte aufweisen, andererseits das spezifische Gewicht schon deutlich über denen der Auflagen liegt. Der dritte Bodenbereich bis einen Meter Tiefe weist zwar noch einmal einen deutlich höheren Vorrat organischen Kohlenstoffs gegenüber dem Oberbodenbereich auf, aber die zusätzlichen 70 Zentimeter im Bodenprofil tragen nur untergeordnet zum Vorrat bei. Die Kohlenstoffgehalte liegen in den Unterbodenhorizonten häufig bei einem Prozent und darunter. Andererseits ist das spezifische Gewicht des Bodens dort hoch. Steine mindern allerdings des Öfteren den Vorrat. Auf diese Weise kommen auch in diesen Bodenhorizonten nicht zu vernachlässigende Kohlenstoffvorräte zustande. Hier im Unterboden sind auch die höchsten Anteile abbauresistenter Humusfraktionen anzutreffen.

In Böden stellt sich bei konstanten Standortfaktoren über lange Zeiträume ein Gleichgewicht zwischen Anlieferung und Abbau der organischen Substanz ein (Scheffer und Schachtschabel 1998). Ein wesentlicher Faktor, der schon in einem Zeitraum von Jahrhunderten den Vorrat organischen Kohlenstoffs beeinflusst, ist die unterschiedlich intensive anthropogene Nutzung organischer Substanz. Organischer Kohlenstoff kann zu einer CO₂-Senke werden, wenn dem Boden mehr organische Substanz zugeführt wird als die Bodenlebewesen mineralisieren und veratmen und dem Boden nicht zu viel Kohlenstoff, beispielsweise auf Grund von Übernutzung, entzogen wird.

Die Daten der BZE 2 geben nicht nur Aufschluss über den aktuellen Zustand der Waldböden. Es ist auch möglich, sich Vorstellungen über die Veränderungen in der Zukunft zu machen – vor allem im Zuge des Klimawandels. Die zu erwartende Temperaturerhöhung steht dabei im Mittelpunkt der Betrachtungen.

Organische Kohlenstoffvorräte in Abhängigkeit von klimatischen Größen

Die mittlere Jahrestemperatur, die Jahresniederschlagssumme, die Seehöhe und der Fichten-/Kiefernanteil beeinflussen den Kohlenstoffvorrat, der an den BZE-Punkten bestimmt wurde. In die folgenden Betrachtungen beziehen wir die bereits genannten drei Waldbodenbereiche *organische Auflage*, *Oberboden* (Auflage und Mineralboden 0–30 cm) und den *Bodenbereich bis einen Meter Tiefe* (Auflage und 0–100 cm) ein.

Für die *organischen Auflagen* zeigen die berechneten Korrelationen zu den Vorräten des organisch gebundenen Kohlenstoffes keine Abhängigkeiten von Niederschlag und Höhenlage, vernachlässigbar geringe bei Temperatur (schwach signifikant) und einzig deutlichere vom Fichten-/Kiefernanteil (hoch signifikant).

Betrachtet man nur die *Oberböden*, zeigen sich folgende Abhängigkeiten: Fichten-/Kiefernanteil – signifikant; Temperatur, Niederschlag und Höhe – jeweils hoch signifikant.

Kulturlandschaft »Almen und Alpen«

Das Werk ist die erste alpenweite, länderübergreifende Monographie der Höhenkulturlandschaft der Alpen. Die Publikation

- porträtiert die natürlichen Grundlagen der Almen und Alpen im Alpenraum,
- würdigt die Arbeit der Alm- und Alpbauern und
- zeigt, wie dort über Jahrtausende eine zweite Natur entstanden ist.

Der Biologe Alfred Ringler richtet in seinem »Almbuch« das Augenmerk auf die Grenzen der Belastbarkeit der alpinen Kulturlandschaft und benennt Leitplanken für eine ökologisch verträgliche Nutzungsweise. Das Werk ist ein wissenschaftlicher Beitrag für die Umsetzung von Natura 2000 und der Alpenkonvention. Es bietet Daten für das Alpenbeobachtungs- und Informationssystem ABIS der Alpenkonvention und ihren nächsten Alpenzustandsbericht. Darüber hinaus formuliert es Handlungsvorschläge für die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU nach 2013.

vzsb

Das »Almbuch« liegt wegen seines großen Umfangs (1.448 S.) nur auf CD vor, der eine gedruckte, reich bebilderte »Kurzfassung« (134 S.) beiliegt.

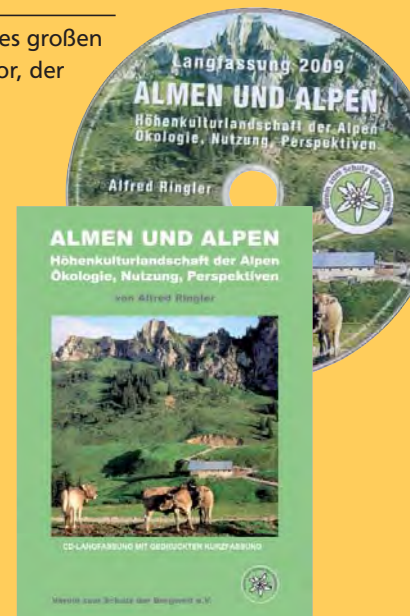
Alfred Ringler (2009)

Almen und Alpen

Höhenkulturlandschaft der Alpen. Ökologie, Nutzung, Perspektiven

Herausgeber: Verein zum Schutz der Bergwelt, München
ISBN 978-3-00-029057-2

Bestellung: info@vzsb.de
40.– EURO zzgl. Versandkosten



Für den *Bodenbereich bis einen Meter* Tiefe zeigt sich ein Einfluss von Temperatur, Niederschlag und Höhe (jeweils hoch signifikant), jedoch kein Einfluss des Fichten-Kiefern-Anteils.

Der Befund der statistischen Auswertung deutet darauf hin, dass die Klimaparameter die Vorräte organischen Kohlenstoffes umso mehr beeinflussen, je mehr man auch die tieferen Bodenhorizonte einbezieht. Die Humusfraktionen in größerer Bodentiefe bestehen zu einem nicht zu vernachlässigenden Anteil aus sehr alten Humusbestandteilen. Diese sehr alten Humusfragmente spiegeln den kontinuierlichen Klimaeinfluss vieler Jahrhunderte wider. In den obersten Bodenhorizonten wird dagegen der Einfluss der Baumartenzusammensetzung wichtiger. Er wirkt schon vergleichsweise kurzfristig auf die Humusform und damit auf die Humusverteilung im Oberboden.

Kohlenstoff und Temperatur

Die Temperaturspanne der Waldstandorte Bayerns reicht von 3,0 °C bis 9,0 °C. Drei Viertel aller BZE-2-Punkte liegen zwischen 7,0 °C und 9,0 °C. In Abbildung 4 sind die Kohlenstoffvorräte von Auflage und Oberboden der einzelnen Temperaturklassen als Boxplots dargestellt. Die Mediane der Boxplots nehmen von den kalten hin zu den warmen Temperaturklassen ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Temperaturbereiche 3–4 °C, 4–5 °C und 9–10 °C nur mit sehr wenigen Probenahmepunkten repräsentiert sind (zusammen nur 3,8 Prozent aller Punkte). Betrachtet man nur den Oberboden, findet man die oben beschriebene Reihung annähernd wieder, jedoch mit der Einschränkung, dass die Vorratswerte des organischen Kohlenstoffs in der Temperaturspanne 3–4 °C gegenüber 4–5 °C zurückgehen. Bei den Auflagen hingegen finden sich die höchsten Vorräte im Temperaturbereich 6–7 °C und nehmen von dort aus beidseitig ab. Dies ist auch der Grund, warum fast keine statistisch belegbaren Zusammenhänge bestehen.

Diese ersten Auswertungen zeigen, dass im Zusammenwirken der Standortfaktoren auf den Vorrat der organischen Substanz bayerischer Waldböden die Klimaverhältnisse einen mehr oder weniger deutlichen Einfluss ausüben. Daneben zeigt sich noch die Wirkung der vorherrschenden Baumart. In Sonderfällen spielt auch der Faktor Landschaftsgenese eine Rolle. Beispielhaft stehen dafür die Moorstandorte, die die höchsten Vorratswerte aufweisen, aber in warmem Klima liegen und sich bis auf wenige Ausnahmen alle im Wuchsgebiet 14 (Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge) konzentrieren. In diesem Fall beeinflusst die geomorphologische Formung der Landschaft während der letzten Eiszeit die Moorbildung und damit die Akkumulation der organischen Substanz.

LABO: Bund/Länder-AG zum Bodenschutz

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) ist ein Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz (UMK), in dem die für den Bodenschutz zuständigen obersten Behörden der Länder und des Bundes zusammenarbeiten, um Fragen ihres Aufgabenkreises zu erörtern, Lösungen auszuarbeiten und Empfehlungen auszusprechen. Die LABO begleitet die Entwicklung des Bodenschutzes und des Bodenschutzrechts und unterstützt den Erfahrungsaustausch zwischen dem Bund und den Ländern. Die Arbeitsgemeinschaft strebt insbesondere einen einheitlichen Vollzug des Bodenschutzrechts an und unterbreitet Vorschläge für eine einheitliche Weiterentwicklung. Zu ihrem Aufgabenbereich zählt die Beratung der UMK und der Konferenz der Amtschefs der Umweltministerien des Bundes und der Länder (ACK).

Den Vorsitz des LABO-Leitungsgremiums nimmt 2009 und 2010 das Land Nordrhein-Westfalen wahr. Anschließend geht der Vorsitz turnusmäßig auf das Land Rheinland-Pfalz über.

red

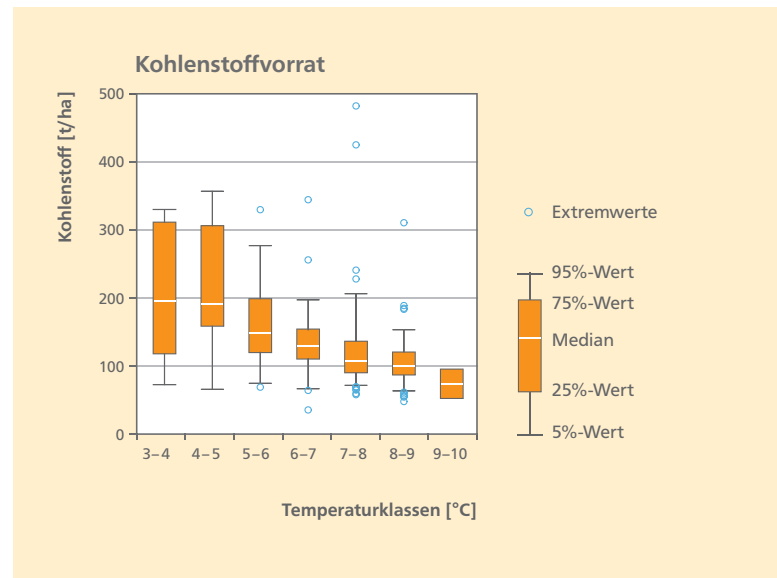


Abbildung 4: Kohlenstoffvorräte Bayerns nach Temperaturklassen

Insgesamt handelt es sich bei den Vorräten organischen Kohlenstoffs in bayerischen Waldböden um eine robuste Größe gegenüber kurzfristigen Veränderungen.

Gefahr für den organischen Kohlenstoff geht von einer Klimaerwärmung aus, auch wenn bisher klimawandelbedingte Bodenveränderungen noch nicht gemessen werden konnten. Der Klimawandel wirkt auf die Kohlenstoffvorräte ein, indem auf Grund höherer Temperaturen bei ausreichender Feuchtigkeit der Kohlenstoff beschleunigt abgebaut wird. Am stärksten von klimatischen Änderungen und Nutzungen betroffen wären die Vorräte in den humosen Auflagen und etwas abgeschwächt die der Oberböden bis 30 Zentimeter Tiefe. Kurz- bis mittelfristige Veränderungen werden sich hier wohl am schnellsten nachweisen lassen. Dagegen werden die Vorräte in den unteren Bodenhorizonten erst mittel- bis langfristig auf diese Veränderungen reagieren. Deshalb wird es spannend, die Frage zu klären, ob die Vorräte organisch gebundenen Kohlenstoffs in den Waldböden derzeit eine Senke oder künftig eine Quelle für atmosphärischen Kohlenstoff darstellen.

Literatur

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Global Forest Resources Assessment (2005): *Total carbon stock in forests: Figure of the total carbon stock in forest 2005 by region, split on the following carbon pools*. biomass, dead wood, litter and soil

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (Hrsg.) (1998): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 14. Auflage

Alfred Schubert bearbeitet im Sachgebiet »Standort und Bodenschutz« den Fachbereich »Bodendauerbeobachtung, Bodeninventur, Bodenzustandserhebung (BZE 2)«. Alfred.Schubert@lwf.bayern.de