

Kohlenstoffvorräte im Waldboden

Kohlenstoffvorräte im Waldboden von Schleswig-Holstein – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)

Jan Evers und Cihan T. Aydin*

*Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

Die langfristige Speicherung von Kohlenstoff und die damit verbundene Verminderung von CO₂ in der Atmosphäre sind in der Klimapolitik hochaktuell. Die Böden stellen den größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher dar und sind damit von besonderer Bedeutung. Dies trifft auch auf die Waldböden zu. Im Wald wird das klimarelevante CO₂ über die Photosynthese der Bäume und Bodenvegetation in organischer Substanz als Biomasse gebunden. Über die Veratmung der Biomasse gelangt CO₂ wieder zurück in die Atmosphäre. Aufbau und Abbau von Biomasse halten sich in natürlichen Waldökosystemen langfristig in etwa die Waage. Über die Blattstreu, das Wurzelwachstum und die Tätigkeit der Bodenlebewesen gelangt jedoch organische Substanz in den Mineralboden, die je nach Milieu häufig verzögert veratmet und zersetzt wird und sich in organischen Verbindungen im Boden anreichert. Diese organischen Verbindungen sind teilweise sehr stabil und erhöhen langfristig den Kohlenstoffvorrat im Boden. Da diese Prozesse über mehrere 1000 Jahre ablaufen, können die Kohlenstoffvorräte in Waldböden sehr hoch sein. Die Auf- und Abbauraten von organischen Verbindungen im Mineralboden

unterliegen starken Schwankungen und sind abhängig von der Vegetation, der geografischen Lage, dem Gelände, den Umweltbedingungen, Art und Intensität der Nutzung, dem chemischem und physikalischem Milieu im Boden und dem Ausgangssubstrat. Die größten Kohlenstoffspeicher stellen Moore dar, hier ist Wasser der entscheidende Faktor; geringe Kohlenstoffvorräte finden sich in jungen Böden, wie z. B. Dünen, hier sind die fehlende Vegetation, das Ausgangssubstrat und die Lage entscheidend.

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, wie viel Kohlenstoff in den Waldböden Schleswig-Holsteins gespeichert ist und ob es diesbezüglich regionale, baumartenbezogene und bodencharakteristische Unterschiede gibt. Dabei wird in der Auswertung zwischen dem Auflagehumus und dem Mineralboden unterschieden. Der Auflagehumus besteht überwiegend nur aus organischer Substanz, der Mineralboden dagegen aus mineralischen Bodenbestandteilen mit eingelagerter Biomasse oder organischen Verbindungen. Datengrundlage für diese Auswertung sind die Datensätze der BZE II in Schleswig-Holstein. Diese Auswertung ist Teil der „Kohlenstoffstudie Forst und Holz Schleswig-Holstein“ (Wördehoff et al. 2012, siehe www.NW-FVA.de Publikationen). In dieser Studie wurden die Mengen an Kohlenstoff hergeleitet, die heute und zukünftig in schleswig-holsteinischen Wäldern und in aus schleswig-holsteinischem Holz hergestellten Produkten gespeichert werden.

Die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) wurde in Schleswig-Holstein in den Jahren 2006/2007 an 41 BZE-Punkten durchgeführt, die in einem systematischen Raster über die Landesfläche angeordnet sind. Die Beprobung, Datenhaltung und -bearbeitung der BZE II erfolgte durch den Landesinventurleiter der BZE in Schleswig-Holstein in der Landesforstverwaltung und seit dem 01.01.2009 im Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Abt. Geologie und Boden, Dez. Boden (LLUR) in Flintbek. Die chemischen und physikalischen Analysen wurden im Landeslabor Schleswig-Holstein in Neumünster durchgeführt. An jedem Punkt der BZE II wurden Auflagehumus und Mineralboden beschrieben und beprobt. Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte ist zunächst die analytische Bestimmung der Kohlenstoffkonzentration im Mineralboden und im Auflagehumus erforderlich. Neben der Kohlenstoffkonzentration ist für die Bestimmung der Kohlenstoffvorräte die Kenntnis der Trockenrohddichte des Mineralbodens, der Steingehalt im Mineralboden und das volumengerecht beprobte Trockengewicht des Auflagehumus erforderlich. Der Kohlenstoffvorrat des Auflagehumus ergibt sich als Produkt der Kohlenstoffkonzentration und des Trockengewichtes; der Kohlenstoffvorrat des Mineralbodens wird berechnet als das Produkt der Konzentration, der Schichtmächtigkeit, der Trockenrohddichte und des Feinbodenanteils.

Die Kohlenstoffvorräte der Waldböden Schleswig-Holsteins sind das Ergebnis einer langfristigen Entwicklung. Das heutige Landschaftsbild in Schleswig-Holstein ist im Quartär geformt worden. Geologisch ältere Formationen fehlen bis auf wenige Ausnahmen. So prägten die Eisvorstöße im Pleistozän und holozäne Ablagerungsprozesse die Waldböden. Diese unterscheiden sich vorwiegend durch das Ausgangsmaterial ihrer Bo-



Foto: J. Evers

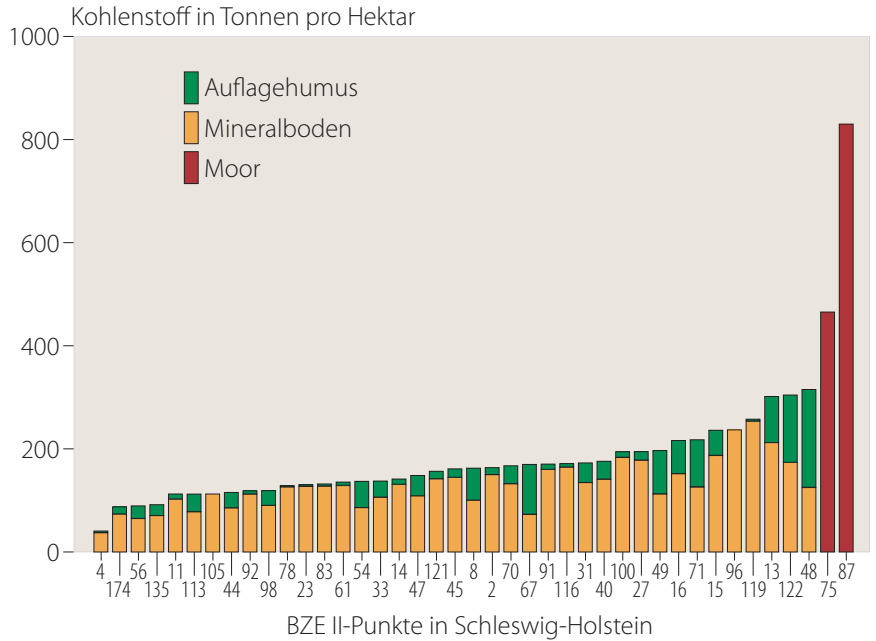
Kohlenstoffvorräte im Waldboden

denbildung, aber auch durch die klimatischen Verhältnisse, welche ebenfalls die Bodenentwicklung beeinflussen.

Großräumig ist Schleswig-Holstein in die drei Wuchsgebiete Schleswig-Holstein Nordwest, Schleswig-Holstein Ost / Nordwest-Mecklenburg und Schleswig-Holstein Südwest unterteilt. Betrachtet man die Abfolge der Naturräume von West nach Ost, so befinden sich im Westen an der Nordseeküste die weitgehend waldfreien Marschen, gefolgt von der welligen „Hohen Geest“ der Altmoräne, die in Richtung Osten in die Vorgeest der Sanderflächen übergeht. Im Osten liegt die welligkuppige Jungmoräne mit geologisch relativ jungen Böden. Als Ausgangsgesteine der Böden Schleswig-Holsteins sind die Lockergesteine prägend. Die Bodenarten der Ausgangsgesteine reichen von Schluff über Sand bis zu Lehmen und Tonen unterschiedlicher Verwitterungsgrade mit relativ geringen Steingehalten. Im Jungpleistozän sind die reicheren Geschiebemergel in geringen Bodentiefen anzutreffen.

Bis zum Beginn einer geregelten Forstwirtschaft diente der Wald der unregelmäßigen Bedarfsdeckung verschiedenster Ansprüche und wurde unterschiedlich stark genutzt, gestört und umgewandelt. Die natürliche Bewaldung hielt dem Besiedlungsdruck nicht lange stand, es kam gebietsweise zu Heideformationen, Bodenverwehungen ließen Binnendünen entstehen. Die vielen ursprünglichen Laubwälder wurden nach größeren Eingriffen, Übernutzungen und Reperationshieben vor bzw. nach dem zweiten Weltkrieg überwiegend in reine Nadelwälder aus Kiefern, Fichten, Sitkafichten, Lärchen und

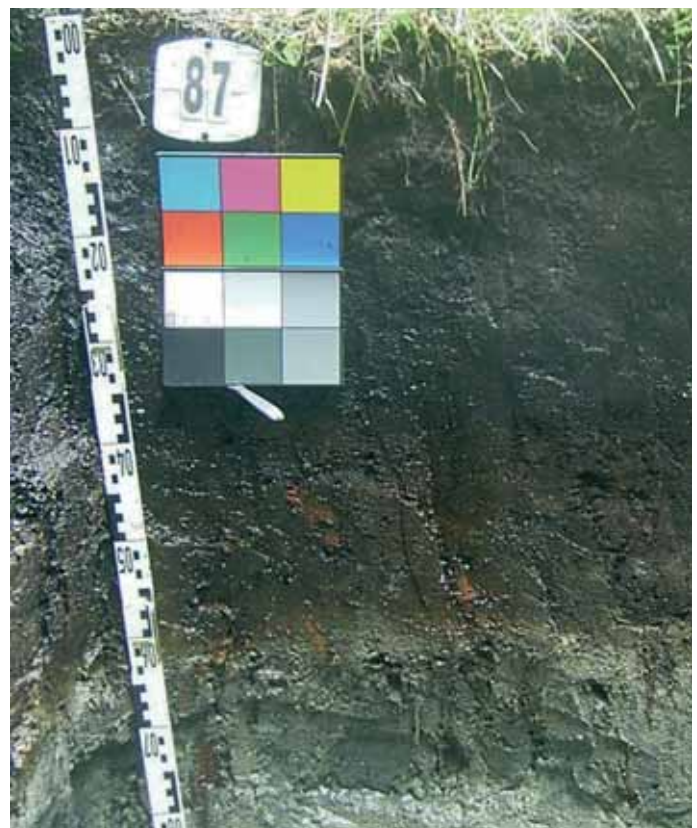
Douglasien umgewandelt. Neben den Nadelbaumarten wurde auch die Amerikanische Roteiche vielfach verwendet. Für die langfristige Bodenentwicklung hatte dies entsprechende Folgen. Inzwischen erfolgte vielerorts der Umbau dieser unterschiedlichsten Ersatzwaldgesellschaften in standortsangepasste Mischwälder. Der Wald bedeckt heute mit gut 160.000 ha 10,3 % der Landesfläche. Die Waldflächen in Schleswig-Holstein sind mit Ausnahme des Sachsenwaldes, des Segeberger Forstes und der Waldflächen im Naturpark Lauenburgische Seen



Kohlenstoffvorräte [t C pro Hektar] der BZE II-Stichprobenpunkte in Schleswig-Holstein getrennt nach Auflagehumus (grün), Mineralboden (ocker) und Moor (rotbraun)



Ein Kalkgley mit einem C-Vorrat von 40 t C pro Hektar bis 90 cm Tiefe
Foto: C. T. Aydin



Ein Niedermoor mit einem C-Vorrat von über 800 t C pro Hektar bis 90 cm Tiefe
Foto: C. T. Aydin

Kohlenstoffvorräte im Waldböden



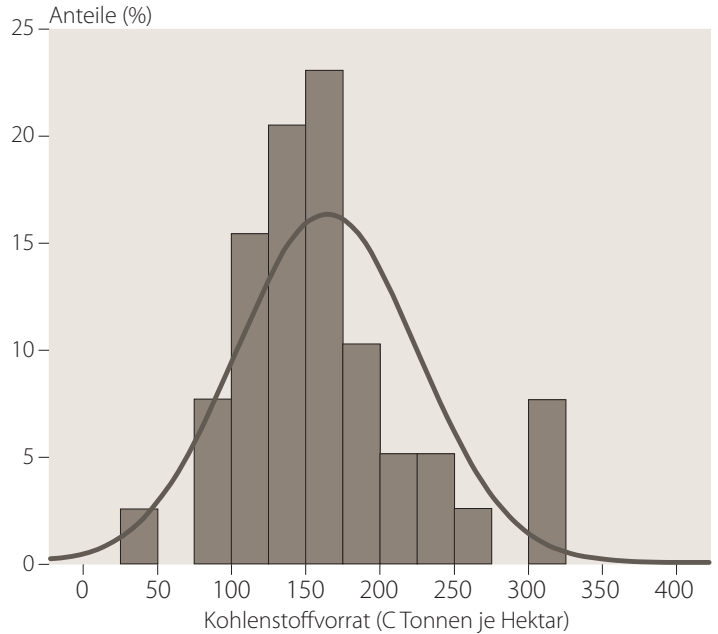
Foto: J. Evers

stark parzelliert und über die Landesfläche verteilt. Von den 41 BZE II-Profilen befinden sich 21 Profile im Wuchsgebiet Schleswig-Holstein Ost, 13 Profile im Wuchsgebiet Schleswig-Holstein Südwest und 7 Profile im Wuchsgebiet Schleswig-Holstein Nordwest. Die Standorte bilden ungefähr die Verteilung der Waldfläche dieser Naturräume ab. Insgesamt sind 21 Profile dem Laubwald, 18 Profile dem Nadelwald und 2 Profile Niedermoor-Sonderstandorten zuzuordnen. An dieser Stelle werden nur die Ergebnisse zum Zeitpunkt der BZE II 2007 beschrieben. Die Veränderungen zur BZE I sind zurzeit noch in Bearbeitung und nicht abschließend ausgewertet. In der Abbildung auf Seite 22 sind alle BZE II-Profile mit ihren Kohlenstoffvorräten nach Auflagehumus (grün) und Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe (ocker) sowie Moorstandorten (rotbraun) dargestellt.

Die Spanne der gespeicherten Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins spiegelt das Standortsspektrum der Waldstandorte wider. Sie reicht von einem Kalkgley bei Güster am Elbe-Lübeck-Kanal mit geringen Kohlenstoffvorräten (40 t C pro Hektar bis 90 cm Bodentiefe) bis zu einem mit Rotfichte bestockten Erdniedermoor am Rottensee bei

Mittlere C-Vorräte und C-Vorratsspannen im Boden (Minimal- u. Maximalwerte) [Tonnen pro Hektar] unter Laub- und Nadelwald sowie Mooren und insgesamt in Schleswig-Holstein

Waldart	mittlerer C-Vorrat Auflagehumus [Tonnen pro Hektar]	C-Vorratsspanne	mittlerer C-Vorrat Mineralboden [Tonnen pro Hektar]	C-Vorratsspanne	C-Vorrat gesamt [Tonnen pro Hektar]	Anzahl Bodenprofile
Laubwald	26,3	1-96	129,7	73-236	155	21
Nadelwald	45,4	3-190	129,2	37-253	175	18
Laub- und Nadelwald Gesamt	35,1	1-190	129,5	37-253	165	39
Moore			647,5	463-829	647,5	2
Gesamt	33,5	1-190	155	37-829	188	41



Verteilung der durchschnittlichen Kohlenstoffvorräte der BZE II Profile in Schleswig-Holstein (N=39, ohne Moorprofile)

Görnitz mit einem Vorrat von über 800 t C je Hektar bis 90 cm Bodentiefe (siehe Fotos S. 22).

Der Auflagehumus kann an bestimmten Standorten beträchtliche Mengen Kohlenstoff speichern, überwiegend ist jedoch der Mineralboden der wesentliche Speicher. Auffällig sind neben den beiden Moorstandorten zwei Profile mit einem Kohlenstoffvorrat in der Auflage von über 100 t pro Hektar; hierbei handelt es sich um Rohhumusaufgaben über Gley-Podsolen mit mächtigen Humuslagen von über 15 cm, die in dieser Ausprägung selten sind und auf verminderte Streuumsetzung hinweisen.

Im Mittel sind nach den Ergebnissen der BZE II in den Waldböden Schleswig-Holsteins 188 t C je Hektar bis in 90 cm Bodentiefe gespeichert. In diesen Wert sind die beiden Moorstandorte einbezogen, die im Mittel die vierfache Menge an Kohlenstoff speichern wie die übrigen Waldstandorte (siehe Tabelle). Bei den übrigen Waldstandorten sind im Auflagehumus ca. 35 t C je Hektar und im Mineralboden bis 90 cm ca. 130 t C je Hektar gespeichert. Damit sind rund 70 % des Kohlenstoffs im Mineralboden und 30 % im Auflagehumus gebunden. Die Spannen der gespeicherten Kohlenstoffvorräte sind enorm und Ausdruck der standörtlichen Vielfalt von Waldböden.

Trotz der enormen Spannen der Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins und der relativ geringen Stichprobenzahl zeigt die prozentuale Verteilung der BZE II-Punkte bezogen auf die Kohlenstoffvorräte doch einen relativ sicheren Mittelwert an. Mit 61 t je Hektar liegt die Standardabweichung in einer akzeptablen Größenordnung (ohne Moorstandorte). Es ist daher nicht davon auszugehen, dass sich bei einer höheren Stichprobenzahl der Mittelwert insgesamt deutlich ändert.

Kohlenstoffvorräte im Waldboden

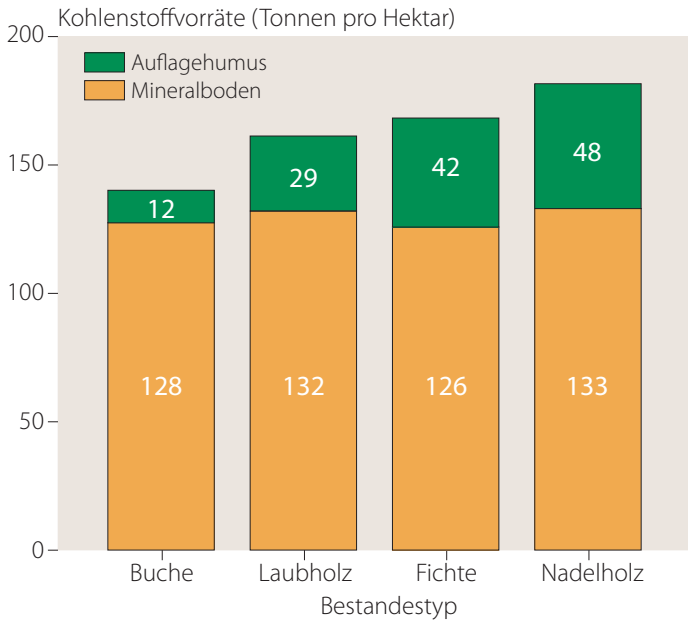
Die mittleren Kohlenstoffvorräte in den Mineralböden unterscheiden sich zwischen Laub- und Nadelwald in Schleswig-Holstein nicht. In beiden Kollektiven beträgt der durchschnittliche Vorrat bis in 90 cm Bodentiefe rund 130 t C je Hektar. Deutliche Unterschiede gibt es jedoch bei den Humusaufgaben, die in den Nadelwäldern wesentlich mächtiger sind und mit durchschnittlich rund 45 t C je Hektar höhere C-Vorräte aufweisen als die Laubwälder mit rund 26 t C je Hektar. Damit befindet sich in den Laubwäldern Schleswig-Holsteins ungefähr 80 % und in Nadelwäldern 65 % des Bodenkohlenstoffs im Mineralboden, 20 % und 35 % entsprechend im Auflagehumus.

Bei einer weiteren Unterteilung der Laub- und Nadelwälder in typische Bestandestypen zeigt sich, dass in Buchenbeständen (über 70 % Buche) nur knapp 10 %, in Laubholzbeständen 22 %, in Fichtenbeständen schon 33 % und in Nadelholzbeständen 36 % des Kohlenstoffs im Auflagehumus gespeichert sind. Bei dem Kohlenstoff im Mineralboden zeigen sich nur graduelle Unterschiede. Zu dieser Verteilung führt vor allem die schlechtere Zersetzung von Nadelstreu im Zusammenhang mit den ärmeren Standorten unter Nadelwald (siehe Abbildung).



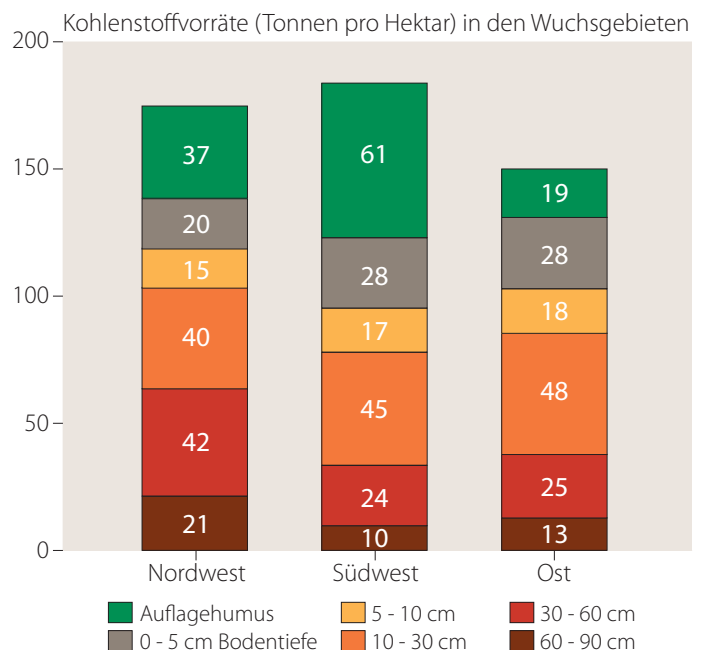
Foto: J. Evers

Kohlenstoffvorräte im Mineralboden in Höhe von 124 t C pro Hektar liegen im Wuchsgebiet Südwest vor. Die mittleren Kohlenstoffvorräte des Bodentiefebereichs von 30-90 cm sind im Wuchsgebiet Nordwest mit 63 t C pro Hektar wesentlich höher als in den Wuchsgebieten Südwest (34 t C pro Hektar) und Ost (38 t C pro Hektar).



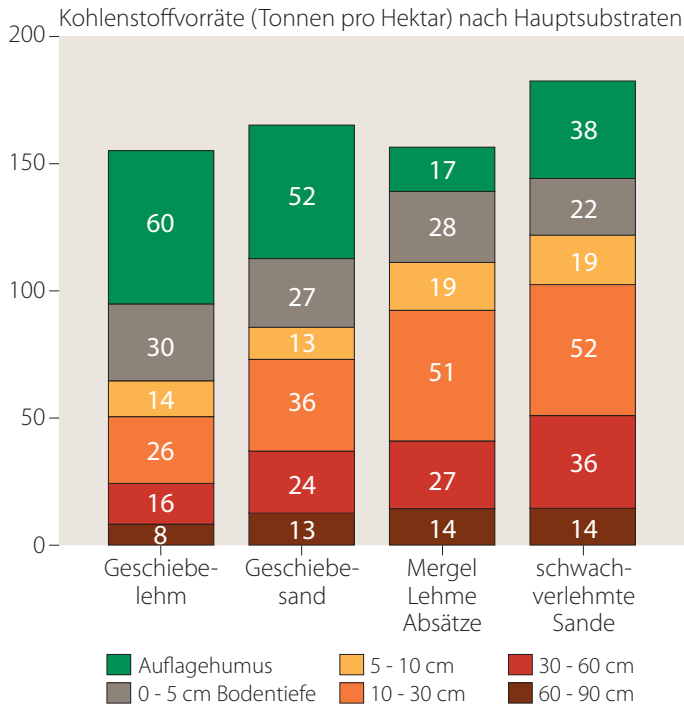
C-Vorräte [t C pro Hektar] ausgewählter Bestandestypen nach Auflagehumus (grün) und Mineralboden (ocker) (Buche: N = 9, Laubholz mit Nadelholzanteilen bis 30 %: N = 8, Fichte: N = 4, Nadelholz mit Laubholzanteilen bis 30 %: N = 12)

Die höchsten Kohlenstoffvorräte finden sich im Wuchsgebiet Südwest, gefolgt vom Wuchsgebiet Nordwest. Das Wuchsgebiet Ost weist die geringsten Kohlenstoffvorräte auf. Die Unterschiede liegen besonders in der gespeicherten Kohlenstoffmenge im Auflagehumus begründet. Hier werden die regionalen Unterschiede mit den überwiegend geringmächtigen Auflagen im Wuchsgebiet Ost mit den reicheren Laubholzstandorten gegenüber den mächtigeren Auflagen der schwächeren Nadelholzstandorte im Westen deutlich. Auffallend sind die hohen mittleren Kohlenstoffvorräte in den Auflagen der BZE-Standorte im Wuchsgebiet Südwest (siehe Abbildung rechts). Die Vorräte im Mineralboden sind in den Wuchsgebieten relativ ähnlich. Die höchsten Vorräte weist das Wuchsgebiet Nordwest mit 138 t C pro Hektar auf, es folgt das Wuchsgebiet Ost mit 132 t C pro Hektar. Die geringsten

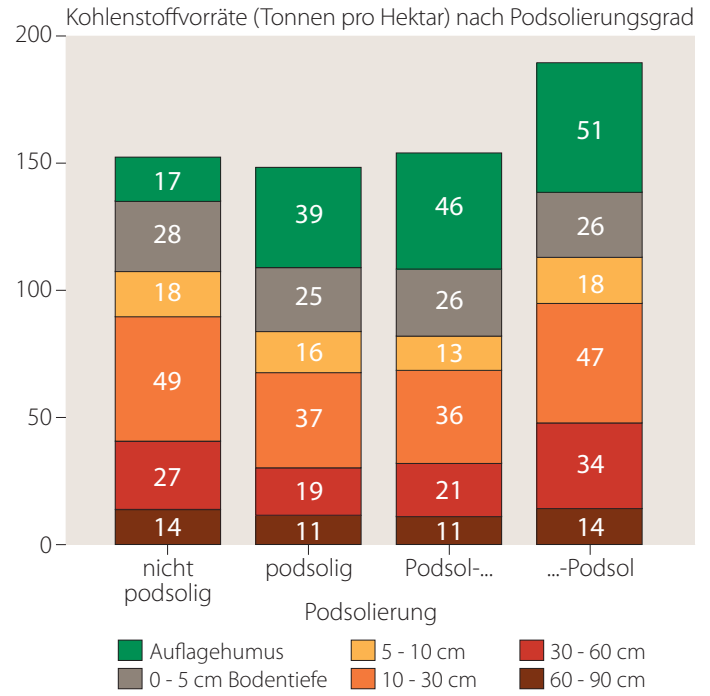


C-Vorräte [t C pro Hektar] in den Wuchsgebieten Schleswig-Holsteins differenziert nach Auflagehumus und Tiefenstufen des Mineralbodens bis 90 cm

Kohlenstoffvorräte im Waldboden



C-Vorräte [t C pro Hektar] nach Hauptsubstraten der Waldböden Schleswig-Holsteins differenziert nach Auflagehumus und Tiefenstufen des Mineralbodens bis 90 cm

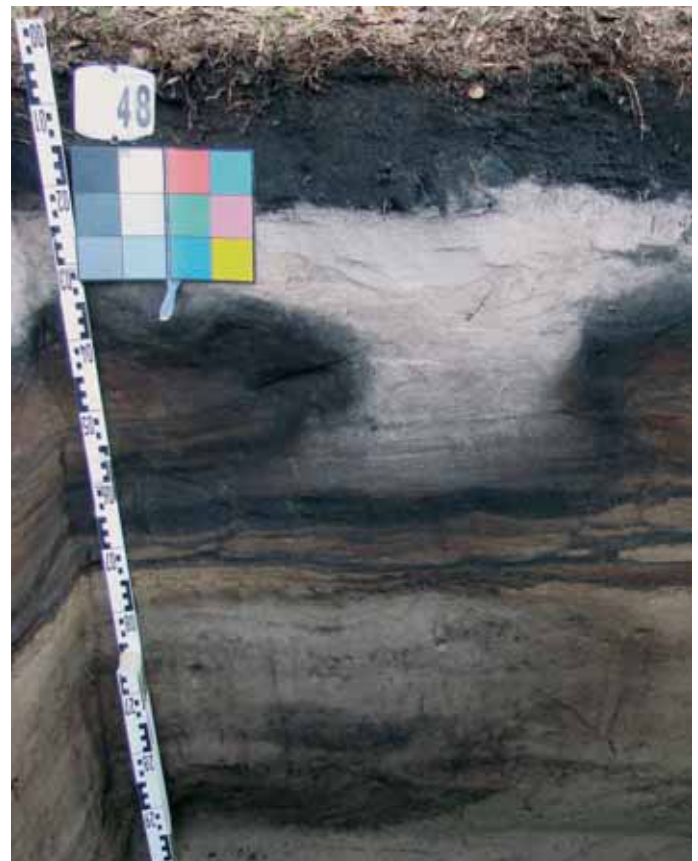


C-Vorräte [t C pro Hektar] nach Podsolierungsgrad der Waldböden Schleswig-Holsteins, differenziert nach Auflagehumus und Tiefenstufen des Mineralbodens bis 90 cm

Eine Differenzierung im Mineralboden ergibt sich hinsichtlich der Substrate: die geringsten Kohlenstoffvorräte finden sich in den Geschiebelehmen und Geschiebesanden mit rund 100 t C je Hektar bis 90 cm Mineralboden. Die besseren Mergel- und Lehmlandorte sowie Beckenabsätze und die schwach verlehmt Sande mit rund 140 t C je Hektar weisen deutlich höhere Kohlenstoffvorräte im Mineralboden auf (siehe Abbildung oben links).

Dies kann auf den besseren, vor allem auf den Mergel-Standorten mit höherer Bioturbation und besserer Streuzersetzung und auf den schwach verlehmt Sanden mit langfristigen Podsolierungsprozessen erklärt werden. Letztere sind typisch für die armen Sandstandorte des Altpleistozäns im Westen Schleswig-Holsteins. Werden die Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus und Mineralboden gegen den Podsolierungsgrad aufgetragen, so zeigen sich die höchsten Kohlenstoffvorräte in den Podsolen mit insgesamt 190 t C je Hektar (siehe Abbildung oben rechts). Die Kohlenstoffvorräte in den nicht podsolierten oder podsoligen Böden sowie den Übergangstypen zum Podsol sind dagegen mit rund 150 t C je Hektar sehr ähnlich und deutlich geringer. Wird jedoch nur der Mineralboden betrachtet, sind die Kohlenstoffvorräte in den nicht podsolierten Böden und den Podsolen mit rund 140 t C je Hektar fast identisch und die Kohlenstoffvorräte in den podsoligen Böden und Übergangsformen zum Podsol mit rund 110 t C je Hektar deutlich geringer und auch fast gleich. Der Podsolierungsprozess wird durch gehemmten mikrobiellen Abbau der Streu in saurem Milieu gefördert. Dabei werden gelöste organische Stoffe aus niedermolekularen Verbindungen, wenig zersetzte Pflanzenstreu aus der Humusaufgabe sowie Ausscheidungen von Wurzeln in Verbindung mit metallorganischen Komplexen verlagert und in tieferen Bodenschichten ausgefällt. Ein kühlfeuchtes Klima verstärkt die Podsolierung ebenso wie die schlechter zersetzbare Nadelstreu oder Streu unter Heidevegetation. Dies zeigt

sich an den Ergebnissen recht deutlich. Zum einen nehmen die Kohlenstoffvorräte in den Auflagen mit zunehmendem Podsolierungsgrad und zunehmendem Nadelholzanteil zu, zum anderen zeigen die Substrate mit abnehmendem Verlehmungsgrad zunehmende Kohlenstoffvorräte im Mineralboden. In den Podsolen sind deutlich höhere Kohlenstoffvorräte in tieferen Bodenschichten gespeichert.



Gley-Podsol aus Schmelzwassersanden bei Brokenlande Foto: C. T. Aydin

Kohlenstoffvorräte im Waldboden

In den Waldböden Schleswig-Holsteins bestehen große Unterschiede in den jeweils gespeicherten Kohlenstoffvorräten. Dies steht unmittelbar im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Ausgangssubstraten sowie den Zusammensetzungen und Mächtigkeiten der jeweiligen Bodenschichten. Weitere Faktoren sind das Klima, die Wasser- und Nährstoffversorgung, die Artenzusammensetzung der Bodenfauna, die Bodentextur und die Topographie. Entscheidende anthropogene Faktoren sind die aktuelle Bestockung, die waldbauliche Behandlung sowie die historische und aktuelle Landnutzung. Im Mittel werden in den Waldböden Schleswig-Holsteins 165 t C je Hektar im Gesamtboden (Auflage und Mineralboden bis 90 cm) gespeichert. Werden die beiden Niedermoorstandorte mit einbezogen, erhöht sich der mittlere Kohlenstoffvorrat für die Waldböden auf knapp 190 t C je Hektar. Damit sind die Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins sehr hoch. In Niedersachsen werden für das standörtlich vergleichbare Tiefland 103 t C je Hektar berechnet, für Sachsen-Anhalt ergeben sich für das Tiefland mit rund 110 t C je Hektar ähnliche Größenordnungen. Auch in Mecklenburg-Vorpommern liegt der Median des Gesamtbodens für die BZE II bei 103 t C je Hektar. Im Hinblick auf die hohen Kohlenstoffvorräte von Mooren und anmoorigen Böden ist deren Erhalt besonders wichtig und ein wesentlicher Bestandteil einer nachhaltigen, multifunktionalen Forstwirtschaft. Zudem leisten diese Standorte auch einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt.



Foto: T. Ullrich

Laub- und Nadelwald unterscheiden sich im Mittel nicht hinsichtlich der gespeicherten Kohlenstoffvorräte im Mineralboden. In beiden Kollektiven liegt der mittlere C-Vorrat bei rund 130 t C je Hektar. Die Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus sind jedoch mit 45 t C je Hektar unter Nadelwald fast doppelt so hoch wie unter Laubwald (26 t C je Hektar). Damit sind auch



Gley-Podsol aus Schmelzwassersanden mit Flugsandüberlagerung bei Lohe-Föhrden, Grundwasser abgesenkt

Foto: C. T. Aydin

Kohlenstoffvorräte im Waldboden

in den Humusaufgaben in Schleswig-Holsteins Wäldern höhere Kohlenstoffmengen gespeichert als in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern. Die im Auflagehumus gespeicherten Kohlenstoffmengen steigen kontinuierlich mit zunehmendem Nadelholzanteil an der Bestockung. Dies unterstreicht den Einfluss des Bestandes hinsichtlich der C-Speicherung. Die geringen Kohlenstoffvorräte in der Auflage von Laubholzbeständen sind mit den besseren Standorts- und Zersetzungsbedingungen sowie der leichteren Blattstreuersetzung zu erklären.

Doch auch die Böden selbst haben über ihre Zusammensetzung, Dynamik und Geologie Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung. Der überwiegende Teil der Waldstandorte stockt auf den geologisch jüngeren Standorten des Jungpleistozäns im Wuchsgebiet Ost. Die jungpleistozänen Ablagerungen der Grund- und Endmoräne bestehen häufig aus tonreichen Geschiebemergeln oder Geschiebesanden und sind in der Nährstoffausstattung relativ gut. Entsprechend überwiegen in dieser Region die Laubwälder, vor allem die Buche. Obwohl diese Standorte geologisch gesehen als jung gelten, sind sie mit rund 150 t C je Hektar im Mineralboden und Auflage insgesamt reich an Kohlenstoff. Dieses Ergebnis ist zunächst über-

raschend, kann jedoch mit hohen Raten der Bioturbation und damit Verlagerung von Kohlenstoff in tiefere Bodenschichten durch v. a. Regenwürmer, leicht abbaubarer (Laubholz-)Streu und hohem standörtlichem Wuchspotenzial in Verbindung stehen. Neben den Streufallraten erhöht sicherlich auch der Feinwurzelumsatz die Kohlenstoffmenge im Mineralboden. Zudem wird in diesen leistungsstarken Wäldern des Jungpleistozäns eine Streunutzung seltener durchgeführt worden sein als im Altpleistozän, wo die Auflagen mächtiger waren. Auffallend ist, dass die überwiegend guten Mergel- und Lehmstandorte sowie die tonigen Beckenabsätze des vorwiegend Jungpleistozäns ebenso hohe Kohlenstoffvorräte im Mineralboden aufweisen wie die geologisch viel älteren Standorte des Altpleistozäns im Westen Schleswig-Holsteins mit den schwach verlehmtten Sanden. Die Verteilung auf die Bodentiefen ist jedoch unterschiedlich: Bei den Standorten des Altpleistozäns sind deutlich höhere mittlere Kohlenstoffmengen in tieferen Bodenschichten (unter 30 cm) gespeichert als in den vergleichbaren Schichten der Standorte des Jungpleistozäns. Dafür sind im Jungpleistozän die gespeicherten Kohlenstoffmengen in den oberen 30 cm höher. Auch dies lässt auf den Einfluss der stärkeren Podsolierung im Altpleistozän und



Foto: T. Ullrich

Kohlenstoffvorräte im Waldboden

eine stärkere Kohlenstoffspeicherung durch Bioturbation im Jungpleistozän schließen. Die schwach verlehmtten Sande speichern aufgrund einer mehr oder weniger starken Podsolierung ebenfalls rund 150 t C je Hektar im Mineralboden und sind mit den reicheren Standorten vergleichbar, haben aber viel höhere Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus und speichern mit insgesamt 180 t C je Hektar den meisten Kohlenstoff für mineralische Böden der Hauptsubstrate. Bei den Waldstandorten im Westen Schleswig-Holsteins ist davon auszugehen, dass eine viel intensivere Streu- und Plaggennutzung sowie Holznutzung für den Betrieb von Glashütten erfolgte als im Osten des Landes, sodass die Kohlenstoffvorräte im Mineralboden ohne diese Nutzung dort wahrscheinlich noch höher wären. Auch kann gerade im Wuchsgebiet Nordwest eine stärkere Verhagerung durch den ständigen Windeinfluss zu geringeren Auflagenvorräten geführt haben. Die höheren Kohlenstoffvorräte in den Auflagen im Wuchsgebiet Südwest können mit insgesamt höheren Nadelholzanteilen und geringerer Verhagerung aufgrund windgeschützterer Lage erklärt werden.

Die Geschiebelehme speichern im Mineralboden mit durchschnittlich 94 t C je Hektar am wenigsten Kohlenstoff, die Geschiebesande mit 113 t C je Hektar schon deutlich mehr. Es folgen die reicheren Standorte der Mergel, Lehme und tonigen Beckenabsätze sowie die schwach verlehmtten Sande mit rund 140 t C je Hektar. Die geringeren C-Vorräte der Geschiebesande und -lehme können mit einem geringeren Podsolierungsgrad erklärt werden. Da aber die Geschiebelehme und -sande sehr mächtige Humuslagen aufweisen, liegen die C-Speicher der Geschiebesande, -lehme und reicheren Standorte insgesamt mit rund 150 t C je Hektar dicht beieinander.

Die Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins zeigen, dass neben der Bestockung (Laub- und Nadelholz), die sich insbesondere auf den Auflagehumus auswirkt, auch das Substrat, die Geologie und die ablaufenden Prozesse Podsolierung und Bioturbation sowie die Region Einfluss auf die gespeicherten C-Mengen haben können. Daneben ist immer auch die jeweilige Waldhistorie und Bestandesbehandlung bedeutend. Aus der BZE II ergibt sich damit ein weit gefächertes Bild der unterschiedlichsten Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins, welches mit zunehmender Fokussierung auf den Einzelstandort zu einer nicht vermeidbaren Unschärfe führt.

Als Fazit ist festzustellen, dass der Waldboden ein wichtiger Kohlenstoffspeicher ist, welcher mindestens ebenso viel, im Fall der im Rahmen der BZE II analysierten Böden sogar mehr Kohlenstoff speichert als die oberirdische lebende Baumbiomasse. Im Mittel werden über alle Waldbestände und -böden werden knapp 300 t C je Hektar gespeichert (vgl. Kohlenstoffstudie von Schleswig-Holstein), davon entfallen 55 % auf den Waldboden. Bezieht man die Moore mit ein, so erhöht sich die mittlere gespeicherte Kohlenstoffmenge auf 320 t C je Hektar und der auf den Waldboden entfallende Anteil auf knapp 60 %. Bei forstwirtschaftlichen Maßnahmen sollten daher nur bodenschonende Verfahren zum Einsatz kommen, die diesen wichtigen Kohlenstoffspeicher nicht gefährden. Die teilweise sehr hohen Kohlenstoffvorräte in der Auflage können einen möglicherweise labilen C-Pool darstellen, der bei wenig humuspflegerischer Waldbewirtschaftung mineralisiert und damit dem Waldökosystem verloren gehen kann. Der im Mineralboden gespeicherte Kohlenstoff ist dagegen langfristiger festgelegt.



Foto: J. Evers