



Executive Stakeholder Summary

Projektnummer	406840_143025
Titel	Kohlenstoffvorräte in Schweizer Waldböden
Projektleiter:	Frank Hagedorn, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Weitere Projektverantwortliche	Urs Gimmi, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL Esther Thürig, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL Lorenz Walthert, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Beitrag zur thematische(n) Synthese(n):

<input type="checkbox"/> Boden und Nahrungsmittelproduktion	<input checked="" type="checkbox"/> Boden und Umwelt	<input type="checkbox"/> Raumentwicklung	<input type="checkbox"/> Bodendaten, Methoden und Instrumente	<input type="checkbox"/> Bodenpolitik
---	--	--	---	---------------------------------------

Ort, Datum: Birmensdorf, 18. März 2017

Hintergrund

Die organische Bodensubstanz (OBS) umfasst die Gesamtheit aller kohlenstoffhaltigen Verbindungen im Boden mit biogenem Ursprung. Sie ist der grösste Kohlenstoffspeicher terrestrischer Ökosysteme. Global enthalten Böden etwa dreimal so viel organischen Kohlenstoff (C) wie die Biomasse und wie die Atmosphäre in Form von CO₂. Zudem spielt die OBS eine Schlüsselrolle für die meisten Eigenschaften und Funktionen von Böden. Sie steuert unter anderem die Nährstoffverfügbarkeit, die Wasserspeicherung, die Pufferung und Filterung von Schadstoffen, die Bodenstabilität sowie die mikrobielle Diversität. Mit einem verbesserten Verständnis der OBS lassen sich deswegen auch die vielfältigen Funktionen von Böden in der Umwelt besser abschätzen.

Die OBS reagiert empfindlich auf Umweltveränderungen, da sie dem Kohlenstoff über den Eintrag von Streue erhält und über den Abbau von Humus wieder verliert. Landnutzung und Klimawandel, die die pflanzliche Produktion und kleinklimatischen Verhältnisse beeinflussen, wirken sich daher auf die OBS und die damit verbundenen Bodenfunktionen aus. Einzelne Prozesse der Kohlenstoffdynamik im Boden sind experimentell gut untersucht. Grosse Wissenslücken bestehen aber bei der Quantifizierung und Modellierung der Auswirkungen des Klimas, der Landnutzung sowie der chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften auf die Speicherung von OBS. Dies erschwert die Übertragung von Erkenntnissen auf grössere Skalen und Vorhersagen für künftige Entwicklungen.

Ziel

Hauptziel des Projektes «Waldböden» war es, die ermitteln, welche Faktoren die Speicherung OBS in Schweizer Waldböden steuern. Dabei sollte geklärt werden:

1. Wieviel und in welcher Form speichern die Schweizer Waldböden Kohlenstoff?
2. Welches sind die wichtigsten steuernden Faktoren (Klima, Waldtyp, physikochemischen Eigenschaften der Böden)?
3. Wie wirkt sich die historische Landnutzung und Waldbedeckung auf die aktuellen Kohlenstoffvorräte in Schweizer Wäldern aus?
4. Wie gut lässt sich der Kohlenstoffvorrat mit Model vorhersagen, das für das Schweizer Treibhausgasinventar verwendet wird? Welches sind die Hauptfaktoren für die Abweichungen zu gemessenen Vorräten?

Der zentrale Ansatz des Projektes bestand in einer statistischen Evaluation der breiten Bodendatenbank der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Diese Datenbank enthält Daten über die Kohlenstoffkonzentrationen und -vorräte sowie Informationen zu den klimatischen Verhältnissen, der Topographie, der Vegetation und der physisch-chemischen Eigenschaften von über 1000 Bodenprofilen in Schweizer Wäldern.

Resultate

Kohlenstoffspeicherung und deren treibenden Faktoren

Schweizer Waldböden speichern im Schnitt 143 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar, etwa 20% mehr als in der lebenden Biomasse enthalten ist. Die Schweizer Waldböden verfügen damit über leicht höhere Kohlenstoffvorräte als diejenigen benachbarter zentraleuropäischer Länder. Am höchsten sind die Kohlenstoffvorräte in den Böden der Alpensüdseite. Nadelwälder speichern in der

organischen Auflage deutlich mehr Kohlenstoff als Laubwälder (38.0 ± 2.4 t C/ha gegenüber 10.1 ± 0.7 t C/ha). Im Mineralboden sind die Vorräte der beiden Waldtypen vergleichbar. Gesamtschweizerisch speichern Böden etwa sieben Mal so viel Kohlenstoff wie die Atmosphäre in Form von CO_2 .

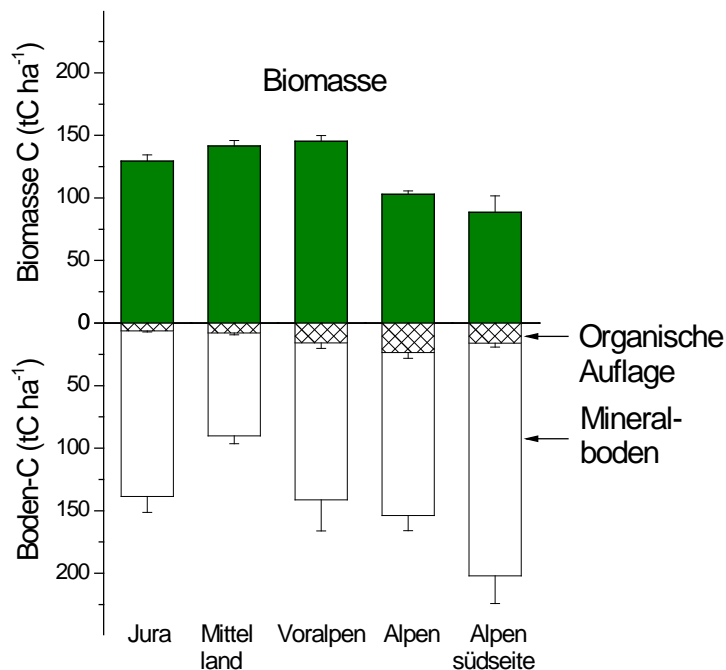


Abbildung 1. Biomasse und Vorräte des Bodenkohlenstoffs in der organischen Auflage sowie im Mineralboden in der Schweiz.

Die statistische Auswertung der 1000 Bodenprofile mittels Parameterselektion und anschließender Varianzanalyse ergab, dass die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften einen dominierenden Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung in Schweizer Waldböden haben. Mit zunehmenden Gehalten an austauschbarem Eisen und Ton nehmen die gesamten Vorräte zu. Als zweitwichtigste Steuergrösse wirken die Niederschlagsmengen: Mit steigenden Niederschlägen nehmen die Vorräte zu. Die mittleren Jahrestemperaturen beeinflussen die OBS dagegen nur wenig, möglicherweise werden sie vom Niederschlagssignal überlagert. Auch die Waldbiomasse und deren Zuwachsraten weisen keinen direkten Einfluss auf die Kohlenstoffvorräte in den Böden auf. Die höchsten Kohlenstoffvorräte im Boden finden sich nicht in den produktivsten Regionen mit hohen Biomassen wie dem Mittelland, sondern in den Alpen und auf der Alpensüdseite, den Regionen mit den niedrigsten Biomassen (Abbildung 1). Dies legt den Schluss nahe, dass diejenigen Faktoren, die das Wald-Wachstum begünstigen – wie ein wärmeres Klima – auch den Kohlenstoffabbau im Boden fördern. Gewisse Bodeneigenschaften wie humusstabilisierende Eisenoxide oder Tongehalte sind zudem für die Kohlenstoffspeicherung wichtiger als die Menge an eingetragener Streu, die mit der Biomasse und deren Zuwachs korreliert ist.

Historische Waldbedeckung hat nur geringe Auswirkungen

Die Waldfläche in der Schweiz hat in den letzten 100 Jahren um etwa 22% zugenommen. Mit Hilfe digitalisierter historischer Karten rekonstruierten wir für 850 Standorte die historische Waldbedeckung der letzten 150 Jahre. Die Analyse ergab nur einen schwachen negativen Zusammenhang des Waldalters mit der Kohlenstoffspeicherung in den Böden. Andere Faktoren, vor allem Bodenchemie und Klima (Abbildung 2), beeinflussen die Kohlenstoffspeicherung stärker.

Mögliche Ursache des unerwartet geringen Einflusses des Waldalters auf die Kohlenstoffvorräte, ist die vormalige Nutzung der meisten Standorte als Grünland. Bei diesem ist der Kohlenstoffeintrag in den Boden durch Wurzeln höher als im Wald und die natürliche Lagerung des Bodens wird zudem nicht – wie beim Ackerbau – durch Bearbeitung gestört.

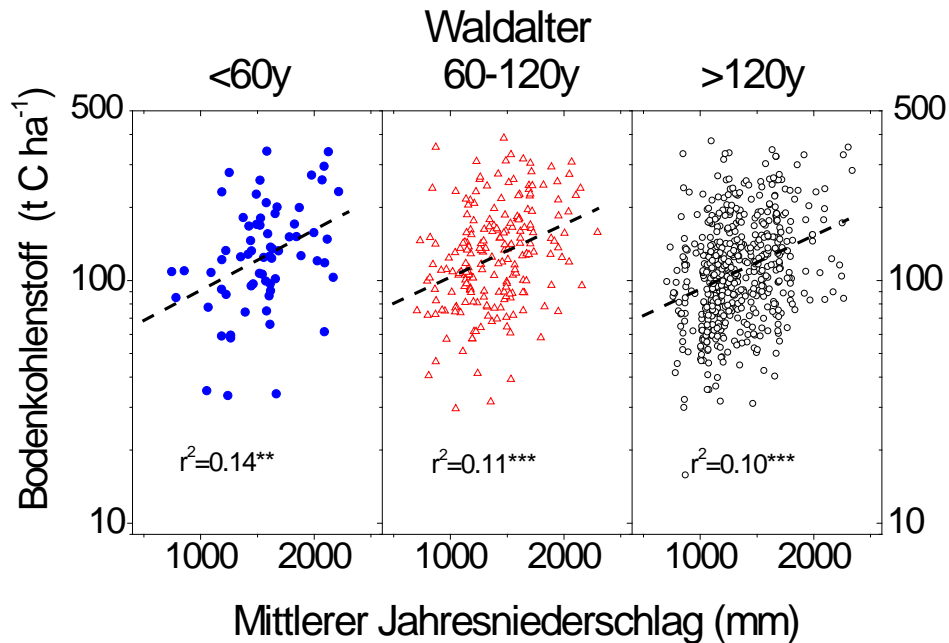


Abbildung 2: Mit zunehmenden Jahresniederschlägen steigt die Kohlenstoffspeicherung in Schweizer Waldböden. Sie ist unabhängig vom der Dauer der Bewaldung.

Modellierung unterschätzt Kohlenstoffvorräte

Da sich Änderungen in der Speicherung von Bodenkohlenstoff wegen der grossen Vorräte, kleinen Änderungsraten und grosser räumlicher Heterogenität nur schwer nachweisen lassen, werden diese häufig modelliert. So wird auch für das Schweizer Treibhausgasinventar das Kohlenstoffmodell YASSO verwendet, das den Humus als Funktion des Streueintrags und des Klimas modelliert und sich einfach an Waldwachstumsmodelle koppeln lässt.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass YASSO die Kohlenstoffvorräte in den Regionen Mittelland, Voralpen und in den Alpen gut wiedergibt, jedoch die Kohlenstoffspeicherung im Jura und in den Südalpen unterschätzt. Die statistische Analyse der Abweichungen zwischen modellierten und gemessenen Vorräten weist auf eine Unterschätzung bei hohen Gehalten an austauschbaren Eisen (Südalpen) und hohen Calciumgehalten (Jura) hin. Beide Metallionen vermögen Humus zu stabilisieren, ein Prozess der im Modell nicht berücksichtigt ist. Im Weiteren unterschätzt das Modell die Kohlenstoffvorräte auch bei hohen Niederschlagsmengen und in stauwasserbeeinflussten Böden.

Diese Analyse der Abweichungen liefert einen weiteren Hinweis dafür, dass Stabilisierungsprozesse einen wichtigen Beitrag für die Speicherung organischer Bodensubstanz auf der nationalen Ebene leisten. Auch diesbezüglich hat der Wasserhaushalt von Böden eine grössere Bedeutung als die Temperatur. Die positive Beziehung zwischen Niederschlag und Kohlenstoffvorräten lässt darauf schliessen, dass zunehmende Trockenheit zu Kohlenstoffverlusten aus Böden führen wird.

Bedeutung für die Forschung

Faktoren der Kohlenstoffspeicherung und Modellierung

Unsere Ergebnisse belegen, dass die Stabilisierung durch Bodenminerale (Eisenoxide) und Tongehalte die wichtigsten steuernden Grössen für die Vorräte organischer Substanz in Schweizer Waldböden sind. Die Bedeutung war bisher von einzelnen Bodenprofilen und aus Laborexperimenten bekannt. Mit dem Projekt «Waldböden» konnten wir dies für einen grossen Datensatz entlang eines ausgeprägten Umweltgradienten auf der nationalen Ebene für die Schweiz zeigen. Die humusstabilisierenden Parameter erklären auch einen grossen Teil der Abweichung zwischen gemessenen und mit dem Kohlenstoffmodell YASSO modellierten Kohlenstoffvorräten. Da dieses Modell nur auf dem Streueintrag und das Klima basiert, bedeutet dies, dass stabilisierende Prozesse in das Modell implementiert werden sollten. Allerdings müssen zu diesem Zweck Grössen berücksichtigt werden, die sich für grosse Datensätze messen lassen. Auch eine Kopplung an ein Wasserhaushaltsmodell würde eine mögliche Hemmung des Kohlenstoffabbaus bei hohen Wassergehalten besser wiedergeben, so dass sich die Auswirkungen zu erwartender häufigerer Trockenheit vorhersagen lassen.

Auswirkung historischer Waldbedeckung

Der Befund geringer Auswirkungen des Waldalters auf die Kohlenstoffvorräte auf nationaler und regionaler Ebene ist eine neue Erkenntnis. Fallstudien von Aufforstungen auf Grünland fanden vergleichbare, geringfügige Veränderungen, während in vormaligen Ackerböden die Kohlenstoffvorräte bei Bewaldung zunehmen. Im Alpenraum nimmt die Waldfläche jedoch vor allem auf Weideflächen zu. Die gemessenen Vorräte der Waldböden liegt deutlich über bisher veröffentlichten Daten von Grünland, obwohl Böden junger Wälder etwas höhere Kohlenstoffvorräte aufwiesen als diejenigen alter Wälder. Unklar ist, ob die geringen Vorräte von Grünlandböden nicht eine Folge einer vormaligen ackerbaulichen Nutzung vieler heutiger Grünlandböden sind, oder methodisch bedingt sind, da landwirtschaftliche Böden bisher nur unvollständig und nicht profillumfassend beprobt wurden.

Bedeutung für die Praxis

Die Erkenntnisse zu den Kohlenstoffvorräten, den steuernden Faktoren, den Abweichungen zum Kohlenstoffmodell YASSO und dessen mögliche Verbesserung tragen zur Verbesserung des Treibhausgasinventars der Schweiz, aber auch jener anderen europäischen Länder bei.

Die Ergebnisse können zudem als Basislinie des Kohlenstoffvorrats in Schweizer Waldböden dienen. Auf regionaler Ebene lassen sich mit Hilfe von Vergleichen Auswirkungen von Störungen (Baumassnahmen, Windwurf) besser abschätzen.

Empfehlungen

Der Fokus des Projekts «Waldböden» lag bei den Grundlagenwissenschaften. Entsprechend können nur indirekte Empfehlungen formuliert werden.

1. (Wald-)Böden sind ein wichtiger Kohlenstoffspeicher, der sich über Jahrtausende aufbaute. Die geeignetste Massnahme, um diese Kohlenstoffspeicher zu sichern, ist die Erhaltung wenig gestörter, «natürlicher» Böden, da Störungen durch Umnutzung, intensivierete forstliche Nutzung, Windwurf oder Baumassnahmen den Humusabbau anregen und zu hohen Kohlenstoffverlusten führen. Bei der zunehmenden Trockenheit, die sich als Folge des Klimawandels zumindest für gewisse Regionen wie dem Wallis abzeichnet, ist mit einer Abnahme der Kohlenstoffvorräte zu rechnen. Dies gilt insbesondere für derzeitige staunasse Böden (in etwa 20% aller Böden), die 33% mehr Kohlenstoff speichern als Böden trockener Standorte. Eine Drainage dieser Böden würde Kohlenstoffverluste mit sich ziehen. Da Schweizer Waldböden europaweit die höchsten Kohlenstoffvorräte enthalten, können sie potenziell auch zu grossen CO₂-Quellen werden.
2. Hinsichtlich der Inventarisierung von Kohlenstoffvorräten und deren Veränderungen im Rahmen des Treibgasinventars legen unsere Ergebnisse Folgendes nahe: (i) Es bedarf profillumfassender Beprobung landwirtschaftlichen Flächen für einen schweizweiten Vergleich unterschiedlicher Landnutzungstypen. (ii) Um die Folgen der starken (Wieder-)Bewaldung besser abschätzen zu können, sollten gezielt Chronosequenzen mit unterschiedlichen Waldaltern analysiert werden, (iii) Veränderungen der Kohlenstoffspeicherung lassen sich nur durch wiederholende, systematische Beprobung beweisen. (iv) Das Reportingmodel YASSO sollte durch eine Kopplung an ein Wasserhaushaltsmodell, durch die Implementierung von Stabilisierungsprozessen und die Validierung mit messbaren Grössen des Kohlenstoffumsatzes (14C) verbessert werden.