

Thünen à la carte

# *Kohlenstoffspeicherung in Deutschlands Waldböden*

Erik Grüneberg,  
Juliane Höhle,  
Daniel Ziche,  
Nicole Wellbrock  
September 2015



# Kohlenstoffspeicherung in Deutschlands Waldböden

Erik Grüneberg, Juliane Höhle, Daniel Ziche, Nicole Wellbrock

Waldökosysteme werden als potenzielle Senke für Kohlenstoff betrachtet. Viele Studien in den vergangenen Jahren beschäftigten sich mit der Erfassung von Bodenkohlenstoff in Wäldern. Aussagen über die Dynamik von Kohlenstoffvorräten bleiben jedoch vage, obwohl dieses Wissen für die Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto-Protokoll benötigt wird. Mit den Daten der Bodenzustandserhebung im Wald war es nun erstmals möglich, einen regionalen Überblick über zeitliche Änderungen von Kohlenstoffvorräten in Waldböden für Deutschland zu erstellen.

## Boden- und Substratgruppen

1	Braunerden, Podsole, Lockersyroseme, Regosole aus trockenen, basenarmen Sanden
2	Auenböden, Gleye aus sandigen bis lehmigen fluviatilen Sedimenten der breiten Flusstäler, einschließlich Terrassenflächen und Niederungen
3	Auenböden, Gleye aus lehmigen bis tonigen, teilweise kalkhaltigen Sedimenten von Terrassenablagerungen der breiten Flusstäler, einschließlich Terrassenflächen und Niederungen
4	Braunerden, Lessivés, Pararendzinen, Pseudogleye aus Geschiebelehm und Geschiebemergel
5	Braunerden, Pseudogleye, Parabraunerden, Regosole aus sandigen Deckschichten über Geschiebelehm
6	Braunerden, Parabraunerden aus eutrophen sandigen Deckschichten
7	Braunerden, Lessivés, Pararendzinen, Pseudogleye aus sandvermishtem Löss-Lösslehm über verschiedenen Gesteinen
8	Braunerden, Rendzinen aus Hangschutt über Kalk-, Mergel- und Dolomitgestein
9	Braunerden, Terra fusca aus Umlagerungsprodukten der Kalk-, Mergel- und Dolomitverwitterung
10	Braunerden, Pseudogleye aus Mergel- und Tongesteinen sowie kalkhaltigen Schottern
11	Braunerden aus basischen und intermediären magmatischen Gesteinen
12	Braunerden, Pseudogleye aus magmatischen und metamorphen Gesteinen
13	Braunerden aus harten Ton- und Schluffschiefern, Grauwacken, Quarziten und Sandsteinen
14	Braunerden, Podsole, Pseudogleye aus Lösslehm über verschiedenen Gesteinen
15	Braunerden, Pseudogleye aus lössvermischten Deckschichten im engräumigen Wechsel mit Tonschiefer, Grauwacken, Sand- und Schluffsteinen
16	Hochgebirgsböden aus Kalk- und Dolomitgestein sowie aus kalkfreiem Silikatgestein

Tabelle 1: Übersicht über die Zusammensetzung verschiedener Boden- und Substratgruppen basierend auf den 72 Leitbodeneinheiten der Bodenübersichtskarte

## DATENGRUNDLAGE

Um in Waldböden zeitliche Änderungen von Kohlenstoffvorräten in der organischen Auflage und in den oberen 30 cm des Mineralbodens feststellen zu können, wurden die Daten von zwei Inventurzeiträumen der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE-Wald) ausgewertet. Die Differenzierung in Auflage und Mineralboden erfolgte in Hinblick auf die separate Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto-Protokoll für beide Kompartimente. Deutschlands erste BZE-Wald umfasste circa 1.800 Standorte auf einem systematischen Raster von 8x8 km und dauerte von 1987 bis 1993. Während der Inventur wurde die organische Auflage mittels eines Stechrahmens volumenbezogen beprobt. Eine Beprobung des Mineralbodens erfolgte an acht Satellitenpunkten, wurde jedoch auch am Bodenprofil volumenbezogen durchgeführt. Eine solche Beprobung ermöglicht die Berechnung von Kohlenstoffvorräten, die sich anhand der Dichte, des Steingehalts und der organischen Kohlenstoffkonzentration des Bodens bestimmen lassen. Die Wiederholung der BZE-Wald in den Jahren von 2006 bis 2008 erlaubte die Abschätzung der jährlichen Kohlenstoffänderungsrate (Grüneberg *et al.* 2014).

Während die Bundesländer die Daten erheben, ist das Thünen-Institut für ihre bundesweite Auswertung zuständig. Um für ganz Deutschland regionale jährliche Änderungsraten von Kohlenstoffvorräten für die organische Auflage und den Mineralboden ableiten zu können, haben wir standortsspezifische bodenchemische und -physikalische Daten der BZE-Wald mit der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000 (BGR 1998) verschnitten. Darüber hinaus wurden für die organische Auflage Daten der BZE-Wald zum Baumbestand mit den CORINE-Bodenbedeckungsdaten von 1990 und 2006 (EEA 2010) verknüpft und mit der zuvor erfolgten Verschneidung von Bodendaten mit der Bodenübersichtskarte kombiniert. Während mit CORINE flächendeckend Daten zum Baum-

bestand (Laub-, Nadel- und Mischwald) vorliegen, kann aus der Bodenübersichtskarte die flächendeckende Verteilung von Boden- und Substratgruppen abgeleitet werden. Um die Kohlenstoffänderungsraten der organischen Auflage und des Mineralbodens flächenspezifisch auswerten zu können, wurden unterschiedliche Gruppierungen angewandt. Grundlage für den Mineralboden waren 16 abgeleitete Boden- und Substratgruppen (Tabelle 1). Für die organische Auflage wurden diese weiter auf vier Gruppen reduziert (Abbildung 1), allerdings hinsichtlich des Baumbestands differenziert betrachtet. Die Anzahl der Stichproben je Gruppe variierte stark und lag für die organische Auflage zwischen 5 (Mischwald, basenarmes Lockergestein) und 342 (Nadelwald, basenarmes Festgestein) sowie für den Mineralboden zwischen 20 (Boden- und Substratgruppe 3) und 245 (Boden- und Substratgruppe 14). Moorstandorte und terrestrisch anthropogene Böden blieben bei dieser Auswertung unberücksichtigt, da sie nicht repräsentativ erfasst wurden. An die Hochrechnung der Änderungsraten koppelten wir eine umfangreiche integrierende Analyse von Unsicherheiten, bei der die unterschiedlichen Quellen individueller Fehler und deren Interaktionen berücksichtigt wurden.

### KOHLENSTOFFÄNDERUNGSRATEN IN DER ORGANISCHEN AUFLAGE UND IM MINERALBODEN

In der organischen Auflage sind die mittleren Kohlenstoffvorräte zwischen beiden Inventuren von 19,0 ( $\pm 0,3$ ) auf 18,8 ( $\pm 0,3$ ) Tonnen pro Hektar ( $\text{t ha}^{-1}$ ) nur leicht zurückgegangen. Die statistisch nicht signifikante jährliche Änderungsrate betrug 0,02 ( $\pm 0,02$ )  $\text{t ha}^{-1}$ . Während die Kohlenstoffvorräte in der organischen Auflage in dieser

Studie nahezu stabil blieben, ergaben verschiedene regionale und nationale Untersuchungen eine Kohlenstoffzunahme (Letstens *et al.* 2005; Prietzel *et al.* 2006). Unter Berücksichtigung der Substratgruppen wiesen in unserer Studie vor allem Festgesteinsstandorte einen Abbau der Kohlenstoffvorräte und somit ein Schwinden der organischen Auflage auf (Abbildung 1). Insbesondere in Laub- und Mischwäldern auf Lockergestein waren zwischen den Inventurzeiträumen größere Verluste zu verzeichnen, während in Nadelwäldern große Mengen an Kohlenstoff gespeichert wurden. Flächenspezifische bedeutsame Vorratsabnahmen ergaben sich auf basenarmen Berglandstandorten, die stark von Nadelwäldern geprägt sind (Karte 1). Auf Standorten des Tieflands nahm der Kohlenstoffvorrat hingegen zu, während die Hügelländer in geringem Maße Vorratsverluste aufwiesen.

Im Unterschied zur organischen Auflage stiegen die Kohlenstoffvorräte im Mineralboden im Mittel signifikant von 55,6 ( $\pm 3,4$ )  $\text{t ha}^{-1}$  auf 61,8 ( $\pm 3,7$ )  $\text{t ha}^{-1}$  an, was eine jährliche Änderungsrate von 0,41 ( $\pm 0,03$ )  $\text{t ha}^{-1}$  bedeutet. Die Ergebnisse für den Mineralboden sind konsistent mit Befunden aus regionalen und nationalen europäischen Studien. Diese zeigten jedoch eine große Spannweite in den jährlichen Änderungsraten: Sie reichten von 0,2  $\text{t ha}^{-1}$  (Luyssaert *et al.* 2010) bis 0,73  $\text{t ha}^{-1}$  (Letstens *et al.* 2005). In unserer Studie ließen sich die Bodeneigenschaften, die auf Boden- und Substratgruppen basieren, trotz der geringen Bodentiefe von 30 cm gut für die Regionalisierung verwenden (Abbildung 2). Hierbei verzeichneten die basenarmen und die basenreichen sandigen Böden Norddeutschlands die höchsten Zunahmen (Karte 2). Die lehmig-tonigen Böden des Tieflands und der Hügelländer verzeichneten dagegen eine

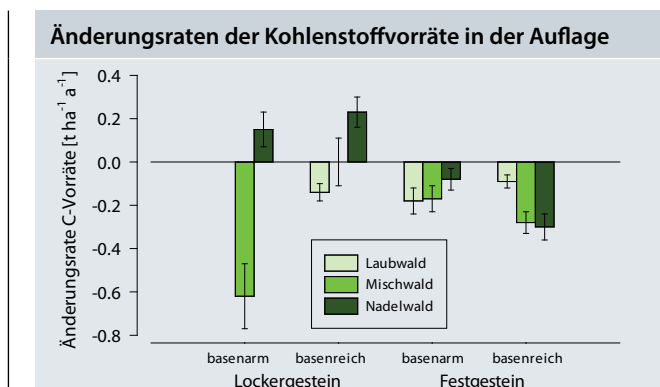


Abbildung 1: Die Zuordnung der dargestellten Änderungsraten basiert auf Tabelle 1 (1, 2, 5 = basenarmes Lockergestein; 3, 4, 6, 7 = basenreiches Lockergestein; 12, 13, 14, 15 = basenarmes Festgestein; 8, 9, 10, 11, 16 = basenreiches Festgestein).

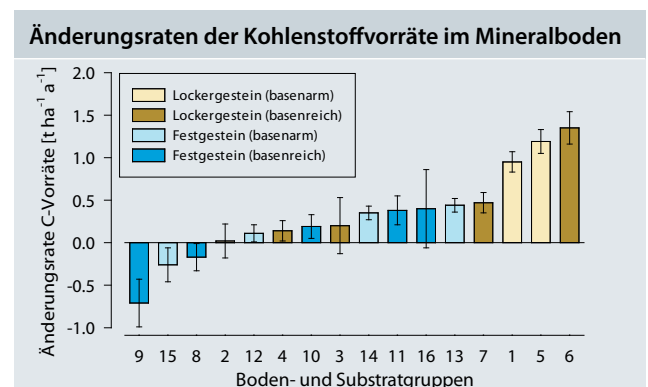
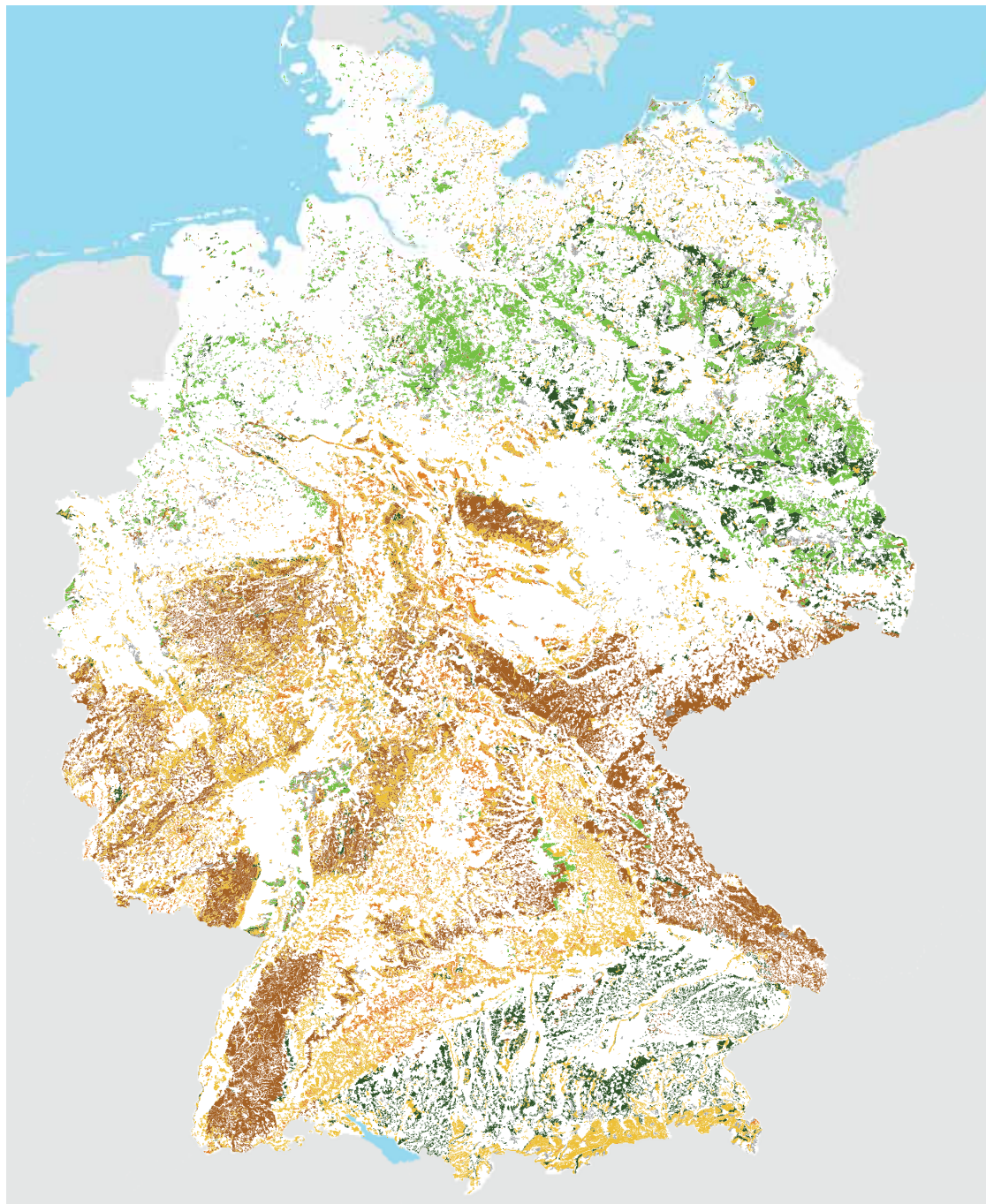


Abbildung 2: Die Zuordnungen der Boden- und Substratgruppen basieren auf der Nummerierung in Tabelle 1.





**Karte 1:**  
Regionale Verteilung der jährlichen Änderungsraten der organischen Kohlenstoffvorräte (t ha<sup>-1</sup>) in der organischen Auflage zwischen 1990 und 2006 unter Wald in Deutschland

- ≤ -0,26
- > -0,26 bis -0,18
- > -0,18 bis 0
- > 0 bis 0,18
- > 0,18
- nicht berücksichtigte Waldfläche
- keine Waldfläche

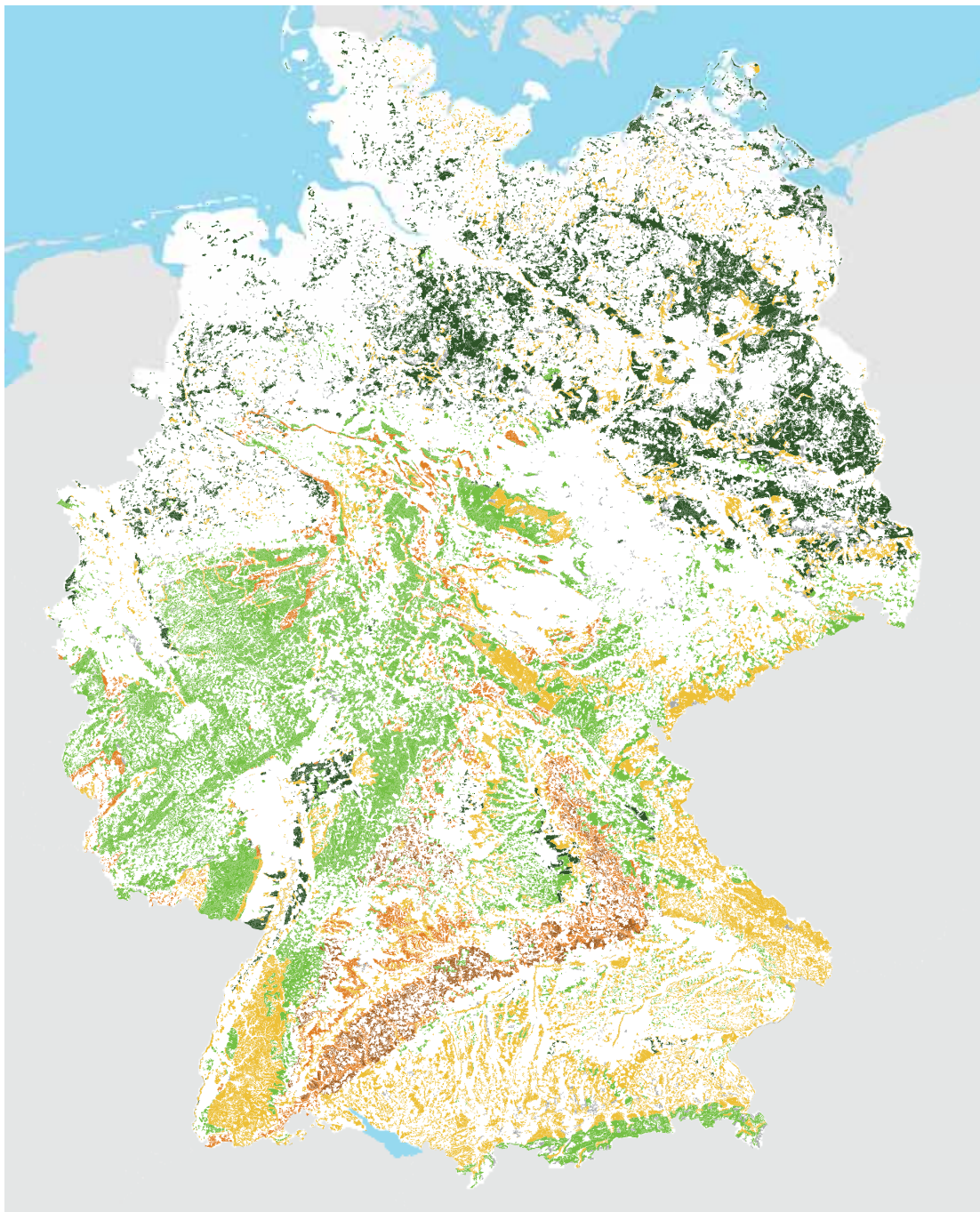
geringe Kohlenstoffanreicherung. Weiterhin zeigten die Böden kristalliner Bergländer und der Hochgebirge beträchtliche positive Änderungsraten, während im Bergland die Böden auf Kalk-, Mergel- und Dolomitgestein Kohlenstoffverluste aufwiesen.

#### UNSICHERHEITEN DER REGIONALISIERUNG

Die Modellierung von Kohlenstoffvorräten auf nationaler Ebene ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Um Hochrechnungen zu verbessern, sind wiederholte Bodeninventuren dringend erforderlich. Die umfangreiche Analyse über Quellen und Umfang von Unsicherheiten zeigte, dass die verschiedenen

Variablen mit ihren unterschiedlichen Fehlerquellen größer als die berechneten Änderungen der Kohlenstoffvorräte von organischer Auflage (Abbildung 1) und Mineralböden (Abbildung 2) sein können. Wurden die Messunsicherheit und die Variabilität der Stichprobe simultan berücksichtigt, konnten die Änderungsraten besser abgeschätzt werden. Weiterhin zeigte sich, dass die Anwendung modellierter Parameter wie z.B. die Abschätzung von Kohlenstoffvorräten auf Basis der Dichte des Bodens mit hohen Unsicherheiten behaftet ist. Je genauer wir die einzelnen Fehlerquellen am Gesamtfehler kennen, desto gezieltere Maßnahmen können wir bei künftigen Erhebungen ergreifen, um Unsicherheiten zu reduzieren.





**Karte 2:**  
Regionale Verteilung der jährlichen Änderungs-raten der organischen Kohlstoffvorräte ( $t\ ha^{-1}$ ) im Mineralboden (in 0 bis 30 cm Bodentiefe) zwischen 1990 und 2006 unter Wald in Deutschland

- $\leq -0,3$
- $> -0,3$  bis  $0,0$
- $> 0,0$  bis  $0,3$
- $> 0,3$  bis  $0,6$
- $> 0,6$
- nicht berücksichtigte Waldfläche
- keine Waldfläche

### WEITERFÜHRENDE LITERATUR

BGR (1998) Bodenübersichtskarte von Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000 N). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover.

EEA (2010) Raster data on land cover for the CLC 1990 inventory. European Environment Agency, Kopenhagen.

Grüneberg E, Ziche D, Wellbrock N (2014) Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology* 20(8): 2644-2662.

Letens S, van Orshoven J, van Wesemael B, Muys B, Perrin D (2005) Soil organic carbon changes in landscape units of Belgium between 1960 and 2000 with reference to 1990. *Global Change Biology* 11(12): 2128-2140.

Luyssaert S, Ciais P, Piao SL, *et al.* (2010) The European carbon balance. Part 3: forests. *Global Change Biology* 16(5): 1429-1450.

Prietzl J, Stetter U, Klemmt HJ, Rehfuess KE (2006) Recent carbon and nitrogen accumulation and acidification in soils of two Scots pine ecosystems in Southern Germany. *Plant and Soil* 289(1-2): 153-170.

Zitationsvorschlag – *Suggested citation*:  
**Grüneberg E, Höhle J, Ziche D, Wellbrock N** (2015) Kohlenstoffspeicherung in Deutschlands Waldböden. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 6 p, Thünen à la carte 2, DOI:10.3220/CA1439878372000



THÜNEN

## **Thünen à la carte 2**

September 2015

### **Herausgeber/Redaktionsanschrift**

Thünen-Institut  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
Germany

[thuenealacarte@ti.bund.de](mailto:thuenealacarte@ti.bund.de)  
[www.ti.bund.de](http://www.ti.bund.de)

ISSN 2363-8052  
DOI:10.3220/CA1439878372000

Fotos: Thünen-Institut