

# Totholz als Kohlenstoffsенke

Ein Vergleich in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern

Inken Krüger, Christoph Schulz und Werner Borcken

**Die Rolle von Totholz als Kohlenstoffspeicher wird in Hinsicht auf die Klimaerwärmung viel diskutiert. Konkrete Daten insbesondere zum Einfluss von Totholz auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden liegen aber bislang kaum vor. In einer laufenden Studie werden die Kohlenstoffvorräte in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Waldflächen mit unterschiedlichen Totholzvorräten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass mehrere Jahrzehnte Flächenstilllegung einerseits und Bewirtschaftung andererseits sich nicht signifikant auf den organischen Kohlenstoffvorrat im Boden auswirken.**

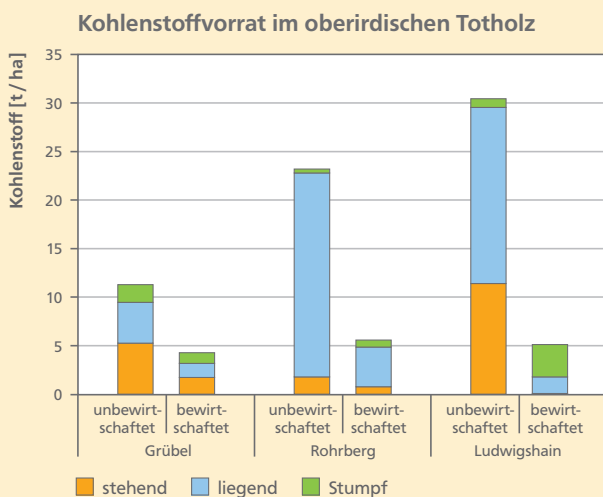


Abbildung 1: Kohlenstoffvorräte in unterschiedlichen oberirdischen Totholzkompartimenten

Europäische Wälder akkumulieren jedes Jahr 3.630 Millionen Tonnen Kohlenstoff (t C) und stellen damit eine effektive Senke für atmosphärisches Kohlendioxid dar (Janssens et al. 2003). Der Kohlenstoffvorrat kann in drei große Kompartimente untergliedert werden:

- Lebende Biomasse
- Boden, differenziert nach Humusaufgabe und Mineralboden
- Totholz, differenziert in ober- und unterirdisches Totholz

In Abhängigkeit von Bewirtschaftung, Klima und anderer standörtlicher Faktoren variieren sowohl die gesamten Kohlenstoffvorräte als auch die Verteilung des Kohlenstoffs in den einzelnen Kompartimenten der Wälder sehr stark. Neben den aktuellen Vorräten sind der jährliche Eintrag und die Umsatzzeit des Kohlenstoffs im Boden und im Totholz für die zukünftige Entwicklung der Kohlenstoffvorräte von Bedeutung (Trumbore et al. 1997; Mund 2004). Für Totholz liegen allerdings bislang nur sehr wenige Daten vor. Viele Fragen sind noch of-

fen: Wie viel ober- und unterirdisches Totholz befindet sich im Wald? Wie schnell wird Totholz abgebaut? Inwieweit trägt Totholz zur Kohlenstoffspeicherung im Boden bei?

## Kohlenstoffstudie an der Uni Bayreuth

In einer derzeit am Lehrstuhl für Bodenökologie der Universität Bayreuth laufenden Studie werden diese Fragen durch Untersuchungen der Kohlenstoffvorräte und Umsatzzeiten von den vier Fraktionen *oberirdisches Totholz*, *unterirdisches Totholz*, *Humusaufgabe* und *Mineralboden* in drei bayerischen Wäldern untersucht. Dabei steht der Vergleich von direkt benachbarten bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern im Vordergrund. Die unbewirtschafteten Wälder stehen seit 1913 (Ludwigshain bei Kelheim), 1928 (Rohrberg im Spessart) und 1978 (Grübel im Bayerischen Wald) unter Schutz. Holz wird dort in der Regel nicht mehr entnommen. Dem entgegen stehen Wälder, die konventionell bewirtschaftet werden. Bei der Auswahl der Versuchsflächen wurde auf ähnliche Standortsbedingungen wie pedologische Eigenschaften, mikrometeorologische Bedingungen und vergleichbare Artenzusammensetzung bei bewirtschaftetem und unbewirtschaftetem Wald geachtet. Neben der Bewirtschaftung sollen auch Unterschiede zwischen den Baumarten untersucht werden: Ludwigshain und Rohrberg sind Buchen-Eichen-Wälder, während es sich bei Grübel um einen Fichtenbestand handelt.

## Oberirdisches Totholz

Totholz mit einem Durchmesser größer sieben Zentimeter wurde im Gelände gemessen und anhand äußerer Merkmale nach dem Zersetzungsgrad differenziert. Zur Bestimmung der Dichte und des Kohlenstoffgehalts wurden Holzproben aller Zersetzungsgrade entnommen. Das Absterbejahr einiger Totholzstämmen wurde mittels dendrochronologischer Kreuzdatierung bzw. Radiokarbonanalysen datiert. In den unbewirtschafteten Wäldern befinden sich zwischen zwölf und 32 Tonnen Kohlenstoff im oberirdischen Totholz (Abbildung 1). Demgegenüber sind die Unterschiede in den bewirtschafteten Wäldern mit 4,2

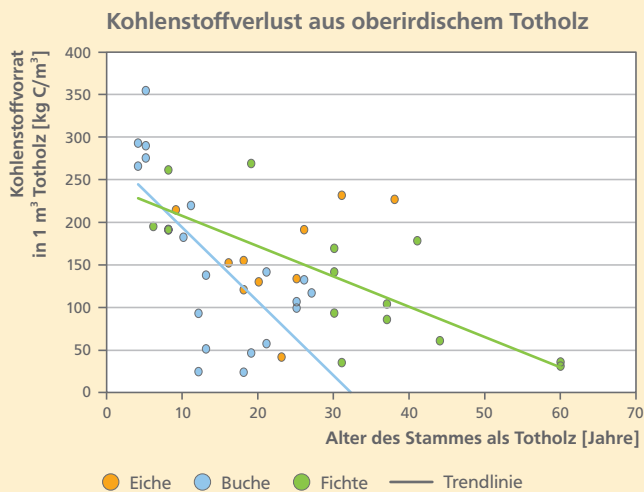


Abbildung 2: Kohlenstoffverluste aus oberirdischem Totholz von Buche, Eiche und Fichte

bis 5,6 Tonnen Kohlenstoff nur sehr gering. Daraus ergeben sich in den unbewirtschafteten Wäldern bis zu siebenmal höhere Vorräte als in den bewirtschafteten Vergleichswäldern. Der jährliche oberirdische Totholzeintrag ist sehr unregelmäßig und hängt oft mit einzelnen Ereignissen wie Stürmen zusammen. Aus den aktuellen Totholzvorräten und den Absterbejahren konnte für die letzten zwanzig Jahre in den untersuchten unbewirtschafteten Wäldern ein mittlerer Totholzeintrag von einer Tonne Kohlenstoff pro Hektar und Jahr ermittelt werden. Dieser Eintrag stimmt weitgehend mit den in der Literatur beschriebenen Werten von  $<0,1$  bis  $19 \text{ m}^3$  Totholz pro Hektar und Jahr in aus der Nutzung genommenen Buchen- und Eichenwäldern überein (Vandekerkhove et al. 2009).

Der Abbau von Totholz ist abhängig von abiotischen und biotischen Faktoren wie Temperatur, Exposition und Pilzbefall (Harmon et al. 1986). Die gemessenen Kohlenstoffgehalte und Holzdichten zeigen am selben Stamm sowie bei verschiedenen Stämmen desselben Alters eine große Varianz. Während ein Kubikmeter Buchentotholz nach 15 Jahren die Hälfte des Kohlenstoffs von einem Kubikmeter frischem Buchenholz enthält, ist dies bei Fichtentotholz erst nach 35 Jahren der Fall (Abbildung 2). Unter Annahme gleichbleibender Totholzvorräte kann daraus berechnet werden, dass in den unbewirtschafteten Buchen-Eichenwäldern jährlich circa 0,3 Tonnen Kohlenstoff freigesetzt werden, im untersuchten Fichtenbestand lediglich 0,01 Tonnen Kohlenstoff. Für Eichtotholz konnte kein Zusammenhang zwischen Kohlenstoffverlust und der Zeit seit Absterben gefunden werden. Die Artunterschiede machen deutlich, dass Totholzvorräte alleine keine Aussagen über das Kohlenstoffspeicherungspotential erlauben. Hierfür ist die Bestimmung der mittleren Abbauezeit für jede Baumart erforderlich.

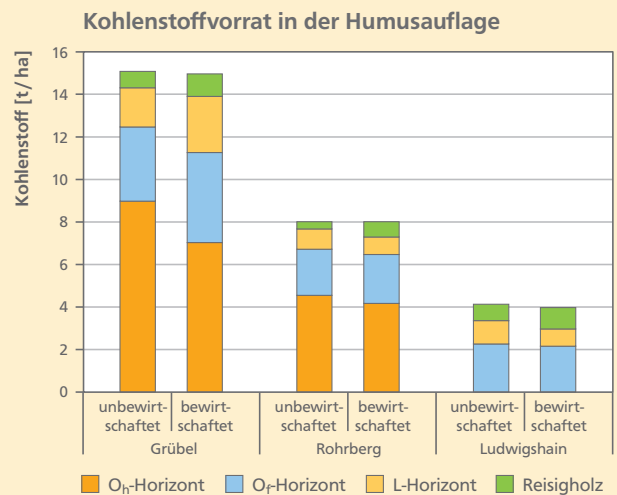


Abbildung 3: Kohlenstoffvorräte in verschiedenen Horizonten der Humusauflage

### Unterirdisches Totholz

Eine bisher nicht genau untersuchte Größe für den Kohlenstoffvorrat stellt unterirdisches Totholz dar. Da die Entnahme ganzer Wurzelstöcke eine massive Störung darstellt, war die Erhebung der unterirdischen Totholzvorräte ( $>7 \text{ cm}$  im Durchmesser) nur in bewirtschafteten Wäldern möglich. Für Buchen und Eichen wurden die Vorräte nahe des Ludwigshains erhoben. Anhand der Erfassung von stehendem Totholz und Stümpfen kann der unterirdische Totholzvorrat in den unbewirtschafteten Wäldern näherungsweise abgeschätzt werden.

Im bewirtschafteten Wald (Ludwigshain) befinden sich etwa 170 Stümpfe pro Hektar. Diese können mehrere Jahrzehnte alt sein. Ein Zusammenhang zwischen Stumpfdurchmesser und unterirdischer Totholzmasse konnte nur für die jüngste Durchforstungsmaßnahme gefunden werden. Bei stärker zersetztem Totholz ist es sinnvoll, die Anzahl der Stümpfe pro Fläche mit der durchschnittlichen Masse für den entsprechenden Zersetzungsgrad zu multiplizieren (Olajuyigbe et al. 2011). Für den Ludwigshain ergeben sich unterirdische Totholzvorräte von 0,3 bis 1,4 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar im bewirtschafteten Wald und 0,1 bis 0,4 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar im unbewirtschafteten Wald. Im bewirtschafteten Wald macht das unterirdische Totholz somit 16 Prozent des Gesamtotholzes aus, im unbewirtschafteten Wald ein Prozent.

### Humusauflage

Zur Bestimmung der Kohlenstoffvorräte in der Humusauflage wurden auf jeder Fläche an 30 Rasterpunkten Proben mit einem Stechrahmen entnommen. Soweit vorhanden wurden die Proben in L-, Of- und Oh-Horizont getrennt und das Reisigholz (Durchmesser  $0,2 - 7,0 \text{ cm}$ ) als zusätzliche Größe erfasst. Wie in Abbildung 3 dargestellt, liegen die Kohlenstoff-

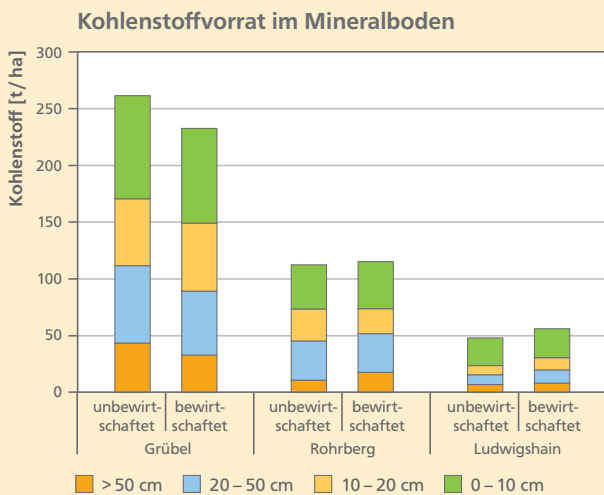


Abbildung 4: Kohlenstoffvorräte in unterschiedlichen Tiefen des Mineralbodens

vorräte der Humusaufgabe zwischen 4 und 14 Tonnen pro Hektar. Die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen sind nicht signifikant. Die Anteile von Humusaufgabe und Totholz an den oberirdischen Kohlenstoffvorräten unterscheidet sich stark zwischen den Wäldern und den vorkommenden Baumarten. Am Standort Grübel (Fichte) ist im unbewirtschafteten Wald 50 Prozent mehr Kohlenstoff in der Humusaufgabe gespeichert als im oberirdischen Totholz. In den beiden untersuchten Buchen-Eichen-Wäldern sind die Vorräte im Totholz drei- bis achtmal so groß.

**Mineralboden**

Die Beprobung des Mineralbodens erfolgte bis in eine Tiefe von 100 Zentimetern. Die Probe wurde nach Tiefenstufen in vier Teilproben unterteilt und Kohlenstoffgehalte ermittelt. Pro Waldfläche wurde von einer Probe mittels Radiokarbonanalyse das Alter des Kohlenstoffs der Gesamtproben und von drei Dichtefraktionen bestimmt. Daraus wird die Abbauezeit von Bodenkohlenstoff berechnet. Die Ergebnisse lagen zu Redaktionsschluss jedoch noch nicht vor. Wie in Abbildung 4 dargestellt, liegt der Kohlenstoffvorrat in den untersuchten Wäldern zwischen 50 und 250 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar. Somit weist der Mineralboden von allen untersuchten Kompartimenten den größten Kohlenstoffvorrat auf und speichert bis zu neunmal mehr Kohlenstoff als das oberirdische Totholz. Die bewirtschafteten Wälder beim Rohrberg und Ludwigshain weisen geringfügig höhere Kohlenstoffvorräte auf als die unbewirtschafteten. Die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen sind jedoch nicht signifikant. Dieses Ergebnis zeigt, dass Totholz kurz- bis mittelfristig nicht zum Kohlenstoffvorrat im Mineralboden beisteuert.

Die Resultate deuten eher darauf hin, dass der Großteil des Kohlenstoffs aus Totholz zu Kohlendioxid mineralisiert wird. Inwieweit Totholz zum Kohlenstoffvorrat im Mineralboden beiträgt, konnte noch nicht abschließend geklärt werden. So ist der Zeitraum, seitdem die Wälder nicht mehr genutzt werden, relativ kurz. Die Wahrscheinlichkeit, dass Totholz bei einem mittleren Eintrag von einer Tonne Kohlenstoff pro Jahr und einer langsamen Abbaureate nicht nur punktuell, sondern zu einer flächendeckenden Erhöhung des Kohlenstoffvorrats im Mineralboden beigetragen hat, ist äußerst gering. Um dieser Frage gezielt nachzugehen, werden zusätzlich Bodenproben unterhalb von stark zersetzten Baumstämmen entnommen. Die Ergebnisse werden Hinweise liefern, inwieweit Totholz den Bodenkohlenstoffgehalt möglicherweise beeinflussen kann.

Abschließend möchten wir darauf hinweisen, dass diese Fallstudie keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen zum Einfluss der Waldbewirtschaftung auf die Kohlenstoffvorräte in Waldböden zulässt. Hierzu sind weitere systematische Untersuchungen auf bewirtschafteten und langfristig unbewirtschafteten Standorten mit anderen Bodentypen erforderlich.

**Literatur**

Harmon, M.E.; Franklin, J.F.; Swanson, F.J., Sollins, P. et al. (1986): *Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems*. Advances in Ecology Research 34: S. 133–302

Janssens, I.A.; Freibauer, A.; Ciais P. et al. (2003): *Europe’s terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of the European anthropogenic CO2 emissions*. Science, 300, S. 1538–1542

Mund, M. (2004): *Carbon pools of European beech forests (Fagus sylvatica) under different silvicultural management*. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe A, Band 189, 256 S.

Olajuyigbe, S.; Tobin, B.; Gardiner, P.; Nieuwenhuis, M. (2011): *Stocks and decay dynamics of above- and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland*. Forest Ecology and Management, 262 (6), S. 1109–1118

Trumbore, S.E.; Harden, J.W. (1997): *Accumulation and turnover of carbon in organic and mineral soils of the BOREAS northern study area*. Journal of Geophysical Research, 102 (D24), S. 28817–28830

Vandekerckhove, K.; De Keersmaeker, L.; Menke N.; Meyer, P.; Verschelde, P. (2009): *When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-western and Central Europe*. Forest Ecology and Management, 258 (4), S. 425–435

---

Inken Krüger bearbeitet das Thema »Potential von ober- und unterirdischem Totholz als Kohlenstoffsенke in Natur- und Wirtschaftswäldern« in ihrer Doktorarbeit am Lehrstuhl für Bodenökologie der Universität Bayreuth. [inken.krueger@uni-bayreuth.de](mailto:inken.krueger@uni-bayreuth.de)  
 Christoph Schulz ist Mitarbeiter der Abteilung »Waldbesitz, Beratung, Forstpolitik« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. [Christoph.Schulz@lwf.bayern.de](mailto:Christoph.Schulz@lwf.bayern.de)  
 Dr. Werner Borken ist Privatdozent am Lehrstuhl für Bodenökologie der Universität Bayreuth und arbeitet über biogeochemische Stoffkreisläufe in Wäldern und Mooren. [werner.borken@uni-bayreuth.de](mailto:werner.borken@uni-bayreuth.de)