

Humusschwund in Waldböden der Alpen

Die vermutliche Auswirkung des Klimawandels ist eine große Herausforderung für die nachhaltige Forstwirtschaft

Jörg Prietzel und Dominik Christophel

Der Humusvorrat der meist flachgründigen Böden in den Alpen ist von entscheidender Bedeutung für die Versorgung des Gebirgswaldes mit Wasser und Nährstoffen, die Hangstabilität und den Landschaftswasserhaushalt. Aufgrund des bereits eingetretenen und in Zukunft verstärkt zu erwartenden Klimawandels im Alpenraum steigt die ökologische und hydrologische Bedeutung des Bodenumus ständig. Angesichts dieser Entwicklung ist es ein immer wichtigeres Ziel einer nachhaltigen forstlichen Bewirtschaftung der Gebirgswälder, die Bodenumusvorräte gezielt zu steigern oder zumindest zu bewahren.

Um die aktuellen Humusvorräte von Waldböden der Bayerischen Alpen in Abhängigkeit von Standort, Nutzung und Bestandestyp zu erfassen, wurden in den Jahren 2010 bis 2012 insgesamt 241 Bodenprofile und 42 Transekt-Linien angelegt und beprobt. Ein Schwerpunkt der Aufnahmen lag auf den bereits vor 37 Jahren (1976) erstmals (Neuerburg 1977; Röhle 1977; Bochter et al. 1981) auf ihre Humusausstattung untersuchten Probeflächen im Berchtesgadener Land sowie auf den 1986 bis 1991 (i.d.R. 1987) erstmals auf ihre Humusausstattung untersuchten Bodendauerbeobachtungsflächen in den Bayerischen Alpen (Schubert 2002). Dies erlaubte neben einer aktuellen Erfassung der Bodenumusausstattung eine Quantifizierung der in den letzten drei Jahrzehnten erfolgten Veränderungen des Kohlenstoffvorrats im Boden.

Humusausstattung und Standort

Die Waldböden der Bayerischen Alpen enthalten im Durchschnitt 10,9 kg organischen Kohlenstoff (OC) pro Quadratmeter – dies entspricht rund 218 t Humus pro Hektar. 30 % des organischen Kohlenstoffs sind in den organischen Auflagen gespeichert. Die Humusausstattung verschiedener Bodentypen variiert jedoch stark (Abbildung 2): Besonders humusreich sind Tangelrendzinen, gefolgt von Felshumus- (O/C)-Böden. In diesen Böden sind 70 bis 100 % des Humusvorrats in der organischen Auflage gespeichert, bei den anderen Bodentypen hingegen nur maximal 20 %. Rendzinen und pseudovergleyte Braunerden weisen unterdurchschnittliche Humusvorräte auf. Auch das geologische Ausgangssubstrat (Kolb 2012) spielt eine wichtige Rolle für die Humusausstattung der Böden. Tendenziell haben höher gelegene Waldorte mit niedrigerer Lufttemperatur auch höhere Bodenumusvorräte.



Abbildung 1: Quer durchs Bild wächst über einen Wurzelauftrieb einer Fichte hinweg eine dünne »Luftwurzel«. Diese Wurzel entwickelte sich jedoch nicht an der Luft, sondern vor Jahren oder Jahrzehnten in oder unter dem Auflagehumus. Mit fortschreitendem Humusschwund wurde die Wurzel nach und nach freigelegt.

Vergleich der Humusausstattung von historisch genutzten und ungenutzten Wäldern

Von felsdominierten Hoch- und Steillagen abgesehen, sind die Alpen eine seit Jahrhunderten vom Menschen genutzte Kulturlandschaft. Dies gilt auch für die Wälder der Bayerischen Alpen. Die im vorigen Abschnitt berichteten Humusvorräte sind daher vor dem Hintergrund der Nutzungsgeschichte zu sehen. Vermutlich wurden vielerorts die Bodenumusvorräte der ursprünglich vorhandenen Urwälder im Laufe der Jahrhunderte durch zum Teil unpflegliche Eingriffe vermindert. An einigen wenigen schwer zugänglichen Stellen existieren auch heute noch kleine Waldflächen mit Urwaldcharakter: Ein Vergleich der Humusausstattung dieser Wälder mit jener nahe gelegener, seit mehreren Jahrhunderten genutzter Wälder auf gleichem Standort zeigt, dass historische forstliche Nut-

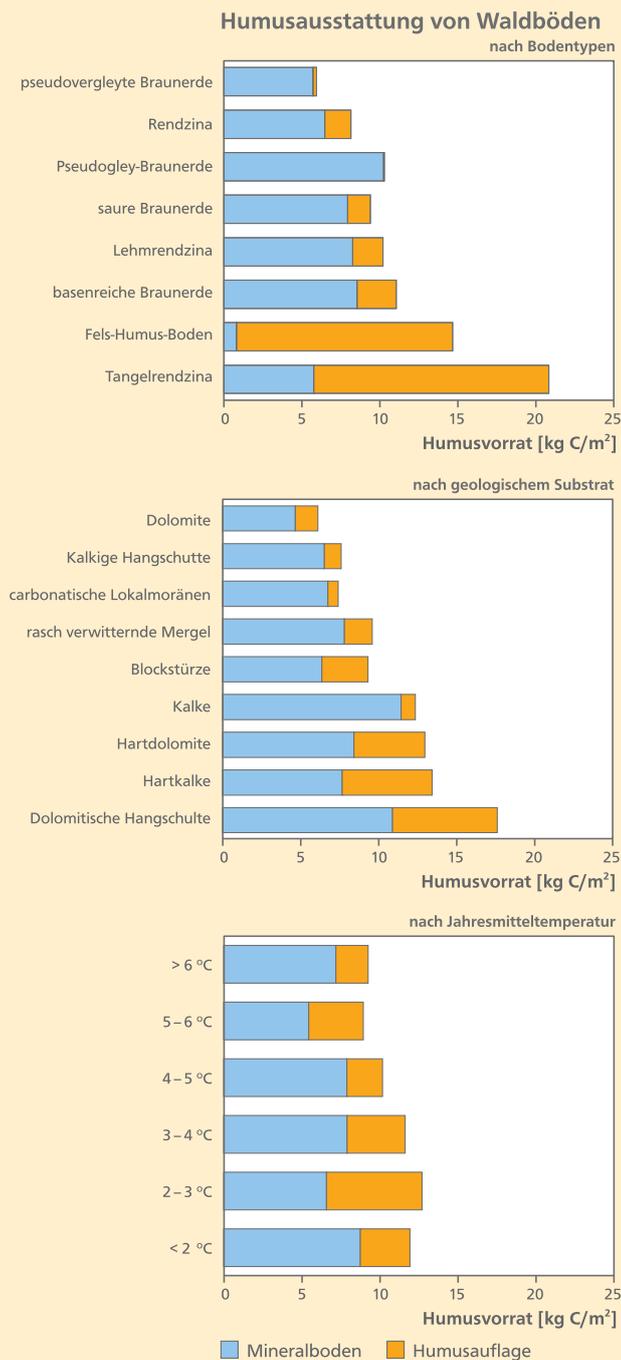


Abbildung 2: Humusausstattung von Waldböden der Bayerischen Alpen in Abhängigkeit von Bodentyp, geologischem Substrat und Lufttemperatur

zung auf Dolomit- und Hartkalkstandorten, wo die Bodenhumusvorräte besonders hoch und überwiegend in der organischen Auflage lokalisiert sind, zu beträchtlichem Humusschwund führte. Dieser erfolgte vermutlich überwiegend während der ersten, in der Regel im Vergleich zu heutigen Nutzungsverfahren weitaus weniger pfleglichen Eingriffe.

In den letzten drei Jahrzehnten ist der Humus unabhängig von der Nutzung erkennbar geschwunden

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Humusvorräte im Oberboden für die Bodendauerbeobachtungsflächen zwischen 1987 (1986–1991) und dem Jahr 2011 (links) bzw. der Untersuchungsflächen im Berchtesgadener Land von 1976 und 2011 (rechts). Die Symbole unterhalb der 45°-Linie indizieren Humusschwund, jene oberhalb der 45°-Linie Humusgewinne. Signifikante Veränderungen sind mit orangen (Irrtumswahrscheinlichkeit <10%) oder blauen Symbolen (Irrtumswahrscheinlichkeit <5%) gekennzeichnet.

Zwischen 1987 und 2011 nahmen die Humusvorräte im Oberboden (= organische Auflage + Mineralboden bis 30 cm Tiefe) auf den 13 untersuchten Bodendauerbeobachtungsflächen im Mittel um 14% ab. Auch in den Böden des Berchtesgadener Landes verringerten sich die Humusvorräte in den letzten Jahrzehnten meist deutlich (Abbildung 3, rechts). Der mittlere Humusschwund der Böden zwischen 1976 und 2011 war hier mit 17% etwas stärker ausgeprägt als bei den Bodendauerbeobachtungsflächen. Sowohl auf den Bodendauerbeobachtungsflächen als auch im Berchtesgadener Land war der Humusschwund in den humusreichsten Böden am stärksten; Böden mit ursprünglich bereits geringer Humusausstattung (<8 t OC/m²) zeigten hingegen nur sehr geringe Humusverluste oder eine leichte Zunahme der Bodenhumusvorräte. Auf den Bodendauerbeobachtungsflächen sowie der Mehrheit der untersuchten Waldorte im Berchtesgadener Land, die im Nationalpark Berchtesgaden liegen, fand während des Untersuchungszeitraums keine forstliche Nutzung statt. Die Humusverluste sind also nicht das Resultat forstlicher Nutzung, sondern vermutlich eine Folge des Klimawandels.

Es wurde wärmer in den Bayerischen Alpen – vor allem im Osten und im Sommerhalbjahr

Die Daten der drei in den Alpen gelegenen Waldklimastationen (WKS; ab 1988 an Ort und Stelle gemessen; vor 1988 aus nahegelegenen meteorologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes durch Regionalisierung abgeleitet; Tabelle 1) belegen einen deutlichen Ost-West-Gradienten hinsichtlich der in den letzten 37 Jahren erfolgten Veränderungen der mittleren Jahreslufttemperatur im bayerischen Alpenraum: Im Berchtesgadener Land war ein starker, statistisch signifikanter Temperaturanstieg zu verzeichnen. Dieser ist weiter westlich (Tegernseer Alpen; WKS Kreuth) geringer ausgeprägt und in den Allgäuer Alpen (WKS Sonthofen) nicht mehr statistisch signifikant. Der Temperaturanstieg schwächte sich in den letzten 25 Jahren deutlich ab und kehrte sich in Sonthofen sogar in einen (allerdings nicht signifikanten) Temperaturrückgang um. Der Trend ansteigender Lufttemperaturen ist im Sommerhalbjahr (April bis September) besonders stark ausgeprägt und fast ausnahmslos statistisch signifikant. Im Winterhalbjahr sank hingegen die Lufttemperatur vor allem in den Allgäuer Alpen in den letzten 25 Jahren ab. Die ansteigenden Lufttemperaturen in den letzten drei bis vier Jahrzehnten wurden von

– vor allem seit Ende der 1980er Jahre – beträchtlich sinkenden Niederschlagssummen begleitet. Die Abnahme der Niederschläge war allerdings aufgrund starker Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren nicht statistisch signifikant abzuschätzen.

Welche Umweltfaktoren fördern Humusschwund?

Eine zentrale Anliegen und Ziel des Forschungsprojektes war es, Antworten auf die Frage zu finden, welche Umweltfaktoren für den Humusschwund verantwortlich sind. Korrelationsanalysen sollten hierzu die wichtigsten Umweltbedingungen und Standortseigenschaften aufzeigen.

Bodendauerbeobachtungsflächen

Auf den Bodendauerbeobachtungsflächen war ein besonders ausgeprägter Humusschwund unter folgenden Bedingungen zu beobachten:

- carbonatreiches Substrat (Kalk, Dolomit)
- Standorte mit mächtigen organischen Auflagen und hohen C-Vorräten im Auflagehumus
- alte Waldbestände

Dagegen war ein geringer Humusschwund und vereinzelt auch ein Anstieg des Humusvorrats vorzugsweise auf Standorten mit frischen, sauren Böden in höherer Lage anzutreffen. Das Ausmaß der Veränderungen der Bodenhumusausrüstung wies keine signifikante Beziehung zur Höhe der gegenwärtigen mittleren jährlichen Lufttemperatur (Jahresmittel 2008–2012; Hera et al. 2012) oder zur gegenwärtigen mittleren Lufttemperatur im Winter- bzw. Sommerhalbjahr auf. Allerdings waren tiefer gelegene Bodendauerbeobachtungsflächen mit hoher Lufttemperatur (vor allem im Sommerhalbjahr) und/oder starkem rezenten Anstieg der Lufttemperatur (vor allem im Sommerhalbjahr) tendenziell stärker von Humusabbau betroffen.

Berchtesgadener Land

An den untersuchten Waldorten im Berchtesgadener Land war der Humusschwund besonders stark unter folgenden Bedingungen zu beobachten:

- tiefgründige bzw. lockere Substrate mit hoher Wasserspeicherkapazität (Moräne, Hangschutt, rasch verwitternde Mergelgesteine)
- Standorte mit mächtigen organischen Auflagen und hohen C-Vorräten im Auflagehumus (wie bei Bodendauerbeobachtungsflächen)
- alten Waldbestände (betrifft v.a. Auflagehumusverluste) (wie bei Bodendauerbeobachtungsflächen)

Nur ein geringer Humusschwund oder vereinzelt auch ein Anstieg des Boden-C-Vorrats war – im Gegensatz zu den Bodendauerbeobachtungsflächen – auf carbonatreichen Böden zu beobachten. Das Ausmaß der Veränderungen der Bodenhumusausrüstung wies – wie bei den Bodendauerbeobachtungsflächen – keine signifikante Beziehung zur mittleren jährlichen Lufttemperatur oder zur mittleren Lufttemperatur im Winter- bzw.

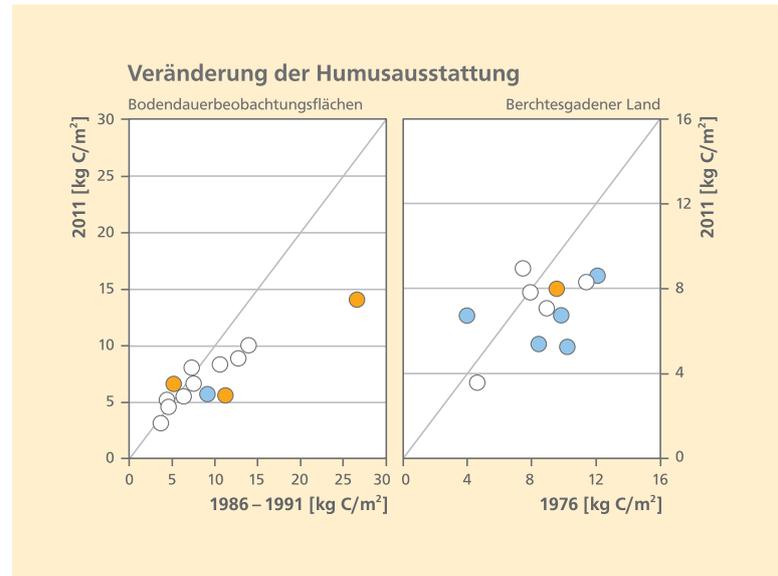


Abbildung 3: Veränderungen der Humusausrüstung von Waldböden der Bayerischen Alpen; links: Bodendauerbeobachtungsflächen 1986–91 und 2011, rechts: Untersuchungsflächen im Berchtesgadener Land 1976 und 2011

Sommerhalbjahr auf; allerdings waren Waldorte mit starkem rezenten Anstieg der Lufttemperatur (vor allem im Winterhalbjahr) tendenziell stärker von Humusabbau betroffen.

Konsequenzen für eine nachhaltige Forstwirtschaft in den Bayerischen Alpen

Zukünftig ist von einem weiteren Anstieg der sommerlichen Lufttemperatur und Häufung extremer Wetterlagen (unter anderem längere Trockenphasen, Starkregen), wachsenden Waldschuttrisiken und zunehmender Ablösung der bisherigen Wärmeimitierung des Baumwachstums durch Wasserlimitierung auf zahlreichen Standorten auszugehen. Eine wichtige Funktion des Bodenhumus ist die Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser. Daher wird zukünftig eine zentrale Aufgabe nachhaltiger Forstwirtschaft in den Alpen sein, dem in den letzten Jahrzehnten infolge des Klimawandels offenbar bereits eingetretenen Bodenhumusverlust aktiv entgegenzuwirken, das heißt die Bodenhumusvorräte trotz des Klimawandels nach Möglichkeit zu bewahren oder sogar zu steigern (»Humuspflge«). Humuspflge umfasst eine standorts- und bestandspezifische Kombination waldbaulicher, jagdlicher und ertetechnischer Maßnahmen:

- Stark aufgelichtete Wälder, die insbesondere in südexponierten Lagen zu Vergrasung und besonders starkem Humusschwund infolge mikrobiellem Humusabbau und Bodenerosion neigen, müssen rasch und dauerhaft unter ausreichend dichte standortsgemäße Bestockung gebracht werden.
- In Beständen, die aufgrund ihrer Baumartenzusammensetzung oder ihrer Altersstruktur instabil sind (zum Beispiel unzureichend gepflegte, dichte Fichtenreinbestände), sollte zur Minimierung des Risikos und Ausmaßes von Kalamitätä-

Tabelle 1: Lufttemperaturen und Niederschläge an den Waldklimastationen Berchtesgaden, Kreuth und Sonthofen in den letzten 100 Jahren sowie im Zeitraum zwischen Ersthumusinventur (Berchtesgaden 1976; BDF: 1988) und Zweithumusinventur (Daten: LWF)

Zeitraum	WKS Berchtesgaden			WKS Kreuth			WKS Sonthofen		
	Jahresmittel	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr	Jahresmittel	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr	Jahresmittel	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr
Änderung Lufttemperatur [°C/10 Jahre]									
1913 – 2012	+0,07*	+0,08*	+0,06*	+0,04	+0,06*	+0,01	+0,09*	+0,10*	+0,08
1976 – 2012	+0,42*	+0,63*	+0,22	+0,31*	+0,56*	+0,07	+0,13	+0,41*	-0,14
1988 – 2012	+0,26	+0,58*	-0,07	+0,13	+0,51*	-0,26	-0,22	+0,29	-0,72*
Änderung Niederschlagssumme [mm/10 Jahre]									
1913 – 2012	+38*	+13	+25*	+31*	+7	+24*	+2	-10	+12
1976 – 2012	-17	+6	-23	-25	-16	-9	-38	-11	-27
1988 – 2012	-111	-26	-85	-52	+27	-79	-119	-33	-86

+) Anstieg; -) Rückgang der Lufttemperatur bzw. Niederschlagssumme; *) Statistisch signifikant (Mann-Kendall-Tendenz-Test; Irrtumswahrscheinlichkeit 5%)

ten und der damit verbundenen oftmals erheblichen Humusverluste mittels langfristiger Verjüngungsverfahren eine hinsichtlich Alter und – wo standörtlich möglich – Baumartenzusammensetzung vielfältige Bestandesstruktur geschaffen und dauerhaft erhalten werden.

- Voraussetzung für einen Erfolg der genannten Maßnahmen ist ein an die vorgefundenen Randbedingungen (vielerorts ist z.B. die Verbissbelastung der Weißtanne immer noch zu hoch) angepasstes Wildmanagement.
- Auf degradierten oder degradierungsgefährdeten Standorten sollten Ernterückstände und – unter Berücksichtigung von Waldschutzaspekten – auch Totholz weitestgehend im Bestand belassen werden.

Das im Rahmen des WINALP-Projekts entwickelte Informationssystem (Ewald 2009) ermöglicht unter anderem die räumliche Identifikation von Waldbeständen auf Standorten mit besonders kritischer Bodenhumusausstattung. Das Waldinformationssystem Nordalpen ist ein hervorragendes Hilfsmittel zur regionalen Optimierung der Balance zwischen forstlicher Nutzung, Bodenschutz und Humuspflege.

Literatur

Bochter, R.; Neuerburg, W.; Zech, W. (1981): Humus und Humuschwund im Gebirge. Nationalpark Berchtesgaden Forschungsberichte 2. 110 S.

Ewald, J. (2009): Waldinformationssystem Nordalpen: WINALP sammelt Wissen zum Schutz der Bergwälder. LWF aktuell 71, S. 45–46

Hera, U.; Rötzer, T.; Zimmermann, L.; Schulz, C.; Maier, H.; Weber, H.; Kölling, C. (2012): Klima en détail. Neue hochaufgelöste Klimakarten bilden wichtige Basis zur klimatischen Regionalisierung Bayerns. LWF aktuell 86, S. 34–37

Kolb, E. (2012): Interaktive Karte der Gesteinseigenschaften in den Alpen. Eine neue Substratgliederung bringt schnelle Übersicht und viele Informationen über die Böden der Bayerischen Alpen. LWF aktuell 87, S. 15–17

Schubert, A. (2002): Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen – Bodenuntersuchungen. Forstliche Forschungsberichte München 187

Prof. Dr. Jörg Prietzel ist außerplanmäßiger Professor und Dipl.-Geograph Dominik Christophel Doktorand am Lehrstuhl für Bodenkunde der Technischen Universität München. prietzel@wzw.tum.de

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Kuratoriumsprojekt »Humusvorräte von Böden der Bayerischen Alpen in Abhängigkeit von Standort und Nutzung: Bestandsaufnahme und Prognose möglicher Auswirkungen des Klimawandels« (B 69) erarbeitet.

Wir danken Alfred Schubert, Dr. Lothar Zimmermann und Dr. Christian Kölling (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft) für die freundliche Überlassung von Daten der Bodendauerbeobachtungsflächen (Erstinventuren der Humusausstattung) sowie von Lufttemperatur- und Niederschlagsdaten der Waldklimastationen Berchtesgaden, Kreuth und Sonthofen.