

## Merklicher Humusschwund im kalkalpinen Bergwald festgestellt

# Wurzeln fliegen nicht!

Regina Gangkofner und Axel Göttlein

Auf kalkalpinen Standorten hat der Auflagehumus eine herausragende Bedeutung als Wasser- und Nährstoffspeicher. Dies gilt besonders für die weit verbreiteten Humus-Carbonat-Böden, wo der Humus auch der nahezu alleinige Wurzelraum der Waldbäume ist. Auf durch Windwurf oder Borkenkäferkalamitäten entstandenen Kahlfächen wird in vielen Fällen ein bedeutender Humusschwund festgestellt, welcher die Sicherung der Bodenfunktion für den Folgebestand gefährdet [1]. Es gibt jedoch auch Anzeichen dafür, dass in intakt erscheinenden Bergwäldern ein merklicher Humusschwund vorkommen kann.



Abb. 1: Beispiele für „Luftwurzeln“ und freigelegte, runde Felsformen im „intakten“ Bergwald

Indizien hierfür sind in erster Linie „Luftwurzeln“ und Felsen mit runden Oberflächenformen, die an vielen Stellen in den Kalkalpen zu beobachten sind (Abb. 1). Als „Luftwurzeln“ werden in diesem Zusammenhang lebende Wurzeln bezeichnet,

die teilweise ohne Bodenkontakt verlaufen und dann wieder im Erdrreich verschwinden. Da zum Zeitpunkt des Wurzelwachstums Mineralboden- oder Humussubstrat vorhanden gewesen sein muss, sind freigelegte Wurzeln ein sicheres Zeichen für Bodenerosion oder durch Mineralisation bedingten Humusschwund. Freigelegte Kalkfelsen mit runden Oberflächenformen (Rundkarren) weisen ebenfalls auf eine ehemalige Humusbedeckung hin [5]. Da am untersuchten Standort Fels-Humus-Böden dominieren, sind dort freigelegte Wurzeln ein sicheres Zeichen für mineralisations- oder erosionsbedingten Humusschwund.

Akuter Humusschwund in intakten Bergwäldern wurde in wissenschaftlichen Publikationen bisher nicht behandelt.

Ausmaß, Ursachen und Konsequenzen dieses Phänomens sind derzeit völlig unbekannt. Erste Ergebnisse dazu wurden in der Masterarbeit „Humusschwund im Kalkalpin“<sup>1)</sup> erarbeitet.

### „Luftwurzeln“ und daraus abgeleiteter Mindest-Humusverlust

Innerhalb von drei Transekten wurden 1 106 „Luftwurzeln“ an insgesamt 140 Bäumen gemessen. Nach Baumarten unterteilt, waren hiervon

- Fichtenwurzeln 73,0 %
- Buchenwurzeln 21,5 %
- Tannenwurzeln 3,7 %
- Bergahorn- und Vogelbeerwurzeln 0,9 %
- sowie Lärchenwurzeln 0,8 %

Verglichen mit den Anteilen der Hauptbaumarten (Fichte 42,9 %, Buche 42,9 %, Tanne 8,8 %), haben vor allem Fichten viel häufiger „Luftwurzeln“. Schwächere Bäume (Bhd ≤ 30 cm) haben mit ca. 60 % deutlich weniger „Luftwurzeln“ als starke Bäume (Bhd > 45 cm) mit ca. 85 %.

Die „Luftwurzeln“-Aufnahme erfolgte in zwei konzentrischen Radien. Im engeren Radius waren fast doppelt so viele zu finden wie im weiter entfernten. Bezogen auf die Hanglage der „Luftwurzeln“ um die Bäume herum, waren diese über dreimal so häufig hangabwärts (talseitig) als hangaufwärts oder seitlich zu finden.

Der pro Wurzel errechnete Mindest-Humusverlust liegt in einer Größenordnung von 0,1 bis 20,7 cm, im Mittel bei 2,1 cm (Abb. 2). Mindest-Humusverlust deshalb, weil nicht bekannt ist, in welcher Tiefe die Wurzel ursprünglich im Humus gewachsen ist.

Für eine statistische Bewertung mit der multiplen Klassifikationsanalyse (MCA) wurden als erklärende Variablen ausgewählt: Wurzeldurchmesser, Hanglage, Aufnahme-radius (Baumentfernung), Baumart und Bhd des Baumes. Das statistische Modell kann jedoch nur ca. 7 % des beobach-

<sup>1)</sup> Die Finanzierung erfolgte durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten über das Projekt ST284, unterstützt wurden die Arbeiten vom Forstbetrieb Bad Tölz der Bayerischen Staatsforsten.

Die Untersuchung wurde im Rahmen der Masterarbeit von R. Gangkofner am Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt der TU München durchgeführt, welches von Prof. Dr. Dr. A. Göttlein geleitet wird.



Regina Gangkofner  
regina.gangkofner@gmx.de

teten Mindest-Humusverlustes erklären – was bedeutet, dass die erhobenen Bestandesparameter hierfür nur eine untergeordnete Bedeutung haben.

### Auswertung der Humushohlräume

Bei den Bodenuntersuchungen wurden überraschend häufig Hohlräume im Humus gefunden. Diese Hohlräume entstehen nach eigenen Beobachtungen meist dadurch, dass beim Schwinden des Humus die Humusaufgabe durch stärkere Wurzeln am Zusammensacken gehindert wird. Die größte festgestellte Hohlraumhöhe in der Humusaufgabe war 32 cm, im Mittel hatten die Beprobungspunkte mit Hohlraum eine Hohlraumhöhe von 9 cm (Abb. 3). Bezogen auf die jeweilige Humusmächtigkeit betrug der maximale Hohlraumanteil 88,9 %, im Mittel aller Punkte (mit und ohne Hohlraum) lag der Hohlraumanteil bei 8,9 %. Die MCA für die absolute Humushohlraumhöhe ergab vier signifikante Faktoren ( $r^2 = 0,155$ ): Baumnähe, Verjüngung, Hangneigung und Bodenhorizontierung. Für die relative Humushohlraumhöhe waren zwei Parameter signifikant ( $r^2 = 0,083$ ): Baumnähe und Verjüngung. Daher wird im Folgenden nur auf diese beiden Einflussgrößen näher eingegangen.

An allen baumnah gelegenen Beprobungspunkten ( $N = 99$ ) lag die Hohlraumhöhe im Mittel bei 2,34 cm (Median 1,25 cm). Bezogen auf die Humusmächtigkeit entspricht dies 12,1 % (Median 9,7 %) der gesamten Humusaufgabe. Die Hohlraumhöhe der baumfernen Beprobungspunkte ( $N = 103$ ) war mit im Mittel 0,88 cm und einem Median von 0 cm deutlich geringer. Bezogen auf die Humusmächtigkeit lag hier der Hohlraumanteil im Mittel bei 5,8 % (Median 0 %). Gliedert man die baumnahen Punkte nach Baumarten auf,

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Nähe des Walchensees am Nordhang des Fahrenbergkopfes und am Südhang des gegenüberliegenden Rauchkopfes auf einer Höhe zwischen 1 310 m und 1 415 m. Die Geologie ist geprägt von den Kalken und Dolomiten der Plattenkalk-Serie [10]. Die sich daraus bildenden Böden sind flachgründige Rendzinen sowie Braunerde-Terra Fuscen. Dominierend sind jedoch Fels-Humus-Böden, zum Teil mit Tangelhumus-Auflagen. Tangelhumus ist eine Sonder-Humusform, welche Mächtigkeiten von über einem halben Meter erreichen kann und sich im Kalkalpin durch eine hohe Basensättigung auszeichnet. Als Waldgesellschaft wäre hier ein mäßig trockener (Südhang) bis mäßig frischer (Nordhang) Carbonat-Bergmischwald zu erwarten [17].

Gemäß Revierbuch ist der Untersuchungsbestand ein 38,4 ha großer plenterartiger, ca. 175 Jahre alter Bergmischwald, bestehend aus Fichte, Buche und Tanne. Nebenbaumarten sind Bergahorn, Vogelbeere und Kiefer. Der Bestand ist als Schutzwald klassifiziert. Der Bestandesteil am Nordhang ist sehr dunkel, was die Verjüngung der Hauptbaumart Fichte behindert, am Südhang ist der Bestand eher licht und vergrast. Vorrangiges Ziel der Waldbewirtschaftung ist die Sicherung der Schutz- und Erholungsfunktion. Abgesehen von Maßnahmen zum Waldschutz wurden im Bestand aufgrund der schlechten Zugänglichkeit schon seit geraumer Zeit keine Maßnahmen durchgeführt. In den letzten Jahren zeigt der Bestand in Teilen eine Tendenz zur Auflösung, mit mangelnder Vorausverjüngung in den daraus entstehenden Bestandeslücken.

Zur Durchführung der Erhebungen wurden in Falllinie im 50 m Abstand drei je 400 m lange Transekte mit einer Breite von vier Metern am Nordhang des Fahrenbergkopfes bis zum Fahrweg am Gegenhang (Südhang Rauchkopf) angelegt. Die Transekte wurden an je drei Stellen (Startpunkt, Bachlauf und

Endpunkt) mit GPS für die kartografische Darstellung eingemessen und im Gelände mit Maßband und Kompass festgelegt. Alle lebenden Bäume innerhalb der Transekte wurden eingemessen und an deren Standort folgende Parameter erhoben: Baumart, Bhd, Höhe, Beschirmungsgrad, Grad der Vergrasung, Verjüngung nach Anzahl und Baumart. Da die Aufnahme aller „Luftwurzeln“ viel zu aufwändig gewesen wäre, erfolgte sie in zwei konzentrischen Kreisen mit dem Radius des 3fachen bzw. 6fachen Bhd. Für jede „Luftwurzel“ wurde die Lage zum Hang, der Durchmesser sowie die Höhe zwischen Bodenoberfläche und Oberkante der Wurzel gemessen. Nicht als „Luftwurzeln“ klassifiziert wurden Wurzeln, die wegen alter Stöcke oder Totholz oberhalb der Bodenoberfläche wachsen, oder die durch das Wachstum anderer Wurzeln über diese gespannt wurden bzw. die infolge von Rannenverjüngung ihre Wurzelansätze an der Oberfläche haben. Da sich die Wurzel bei ihrem Streckungswachstum im ungünstigsten Fall an der Bodenoberfläche befand, wurde aus der Höhe der Wurzeloberkante über Grund – abzüglich des halben Wurzeldurchmessers – ein Wert für den Mindest-Humusverlust berechnet.

Für die Bestimmung der Bodeneigenschaften wurde auf den Transekten im Abstand von 10 m am jeweils nächstgelegenen Baum mittels Bohrstock die Mächtigkeit von Streu, Humusaufgabe und Mineralboden bestimmt. Ferner wurden mit Stechzylindern volumenbezogene Bodenproben zur weiteren Analyse im Labor gewonnen. An diesen Bäumen wurde auch jeweils ein Stück aus der höchsten „Luftwurzel“ herausgeschnitten und dessen Mindestalter bestimmt. Da auch bei Wurzeln Jahrringe partiell ausbleiben können, wurde die Altersbestimmung pro Wurzelabschnitt an mehreren Radien durchgeführt.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit SPSS 19 für Windows (IBM).

so ergibt sich für die Nadelhölzer eine etwa doppelt so hohe Hohlraumhöhe im Vergleich zu den Laubhölzern. Die Fichte hat eine mittlere Humushohlraumhöhe von 3,7 cm (Median 2,0 cm), die Tanne (mit

einer Lärche) von 2,2 cm (Median 2,2 cm), die Buche von 1,3 cm (Median 0 cm), der Bergahorn von 0,4 cm (Median 0 cm).

Humusaufgaben mit Verjüngung ( $N = 100$ ) hatten im Mittel eine Hohlraumhöhe

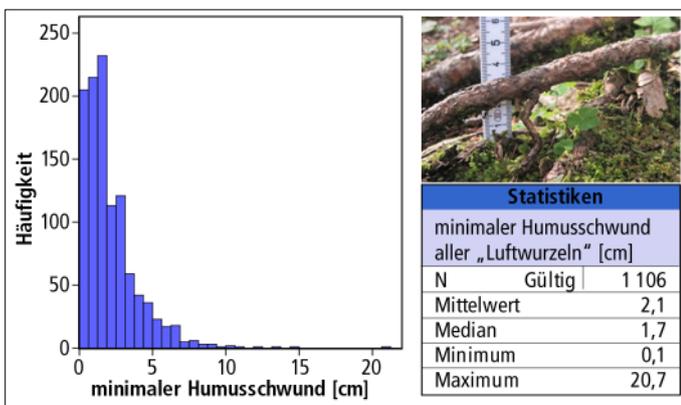


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung mit Statistik des Mindest-Humusverlustes aller „Luftwurzeln“

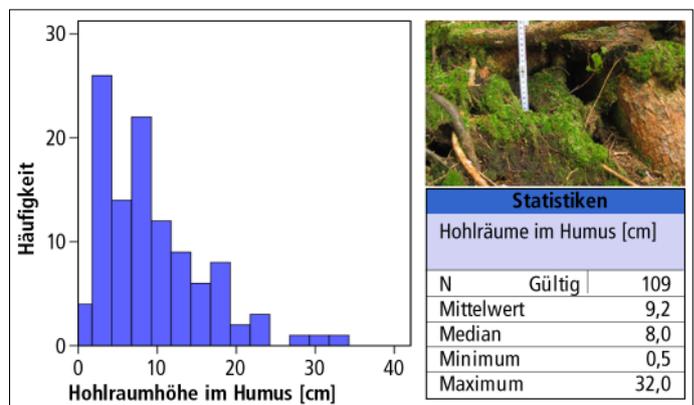


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung mit Statistik der Höhe der gefundenen Humushohlräume

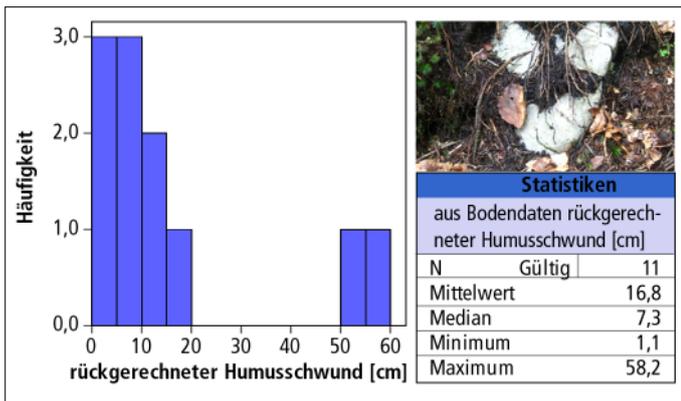


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung mit Statistik des aus Bodendaten rückgerechneten Humusschwundes

von 1,1 cm. Solche ohne Verjüngung (N = 102) eine Hohlräumhöhe in der Humusauflage von 2,1 cm. Der Median lag aber in beiden Fällen bei 0 cm.

## Rückrechnung des Humusverlustes aus Bodendaten

Bei den Bodenuntersuchungen fanden sich Bodenhorizonte, welche morphologisch eher einem stark humosen Mineralboden (A<sub>h</sub>-Horizont) entsprachen, in ihrer Trockenraumdichte und bezüglich des C-Gehaltes aber eigentlich den Humushorizonten zuzuordnen wären. Sofern der Humusverlust nicht über Erosion, sondern durch Mineralisation erfolgt, reichert sich der mineralische Anteil im verbleibenden organischen Rest an. Legt man diesen Prozess für die Entstehung der beobachteten außergewöhnlichen Bodenhorizonte zugrunde und geht man als Ausgangspunkt des Humusverlustes von einem ortstypischen Tangelhumus aus, so lässt sich aus den gemessenen Parametern Trockenraumdichte und Mineralanteil sowie der aktuellen Horizontmächtigkeit die ursprüngliche Humusmächtigkeit zurückrechnen. Diese Rückrechnung wurde für alle Fels-Humus-Böden mit der Horizontfolge O/„A<sub>h</sub>“/C oder „A<sub>h</sub>“/C durchgeführt, da hier die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, dass der Humus-Ausgangszustand eine Tangelhumus-Auflage war. Die errechneten Gesamtverluste von Humus liegen durchschnittlich bei 16,8 cm (1,1 bis 58,2 cm; Abb. 4). Umgerechnet in Mengenangaben bewegen sich die Humusverluste in einer Größenordnung von 1,0 bis 73,6 kg/m<sup>2</sup>, mit einem Mittelwert von 17,5 kg/m<sup>2</sup>.

## Versuch einer zeitlichen Einordnung

Die Altersbestimmung der Wurzeln gestaltete sich sehr schwierig. Von den 63 entnommenen Wurzeln konnten 33 aufgrund ihrer

unklaren Jahrringstruktur nicht zufriedenstellend oder gar nicht vermessen werden. Insgesamt konnte das Alter von 24 Fichtenwurzeln, drei Tannenwurzeln, zwei Bergahornwurzeln und einer Lärchenwurzel bestimmt werden. Von den 19 abgeschnittenen Buchenwurzeln konnte von keiner das Alter ermittelt werden. Die Abweichung des gemessenen Alters an verschiedenen Radien einer Wurzel betrug im Mittel  $\pm 2,8$  Jahre; im Maximum  $\pm 9,5$  Jahre. Die Hälfte der abgeschnittenen Luftwurzeln lagen auf der talzugewandten Seite des Baumes, 10 % befanden sich bergseitig und die restlichen 40 % seitlich des Baumes.

Das Alter der höchsten Luftwurzel der Bäume schwankt von neun bis 83 Jahren. Im Mittel sind die Wurzelstücke 38 Jahre alt. Vergleicht man den errechneten Mindest-Humusverlust und das Wurzelalter, so besteht kein Zusammenhang (Abb. 5 links). D. h. der Humusverlust ist kein gleichmäßig verlaufender Prozess, aus dem man einen positiven Zusammenhang zwischen Humusverlust und Wurzelalter erwarten würde. Berechnet man für jede altersdatierte Wurzel den mittleren jährlichen Humusschwund, zeigt sich eine exponentielle Abnahme mit zunehmendem Alter (Abb. 5 rechts). Dies deutet darauf hin, dass im hier datierbaren Zeitraum der größte Humusschwund vor allem in den letzten 30 Jahren stattgefunden hat.

## Mögliche Gründe für Humusschwund

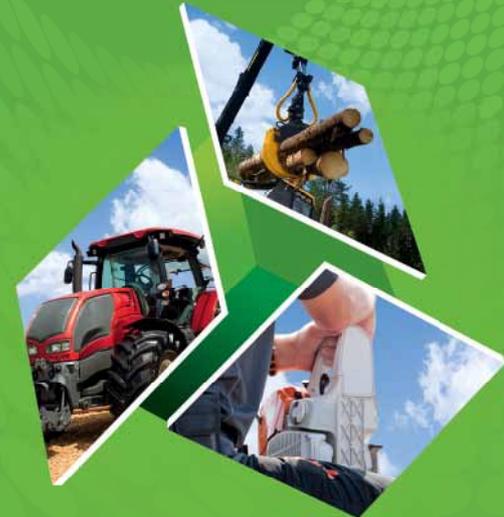
Natürlich stellt sich die Frage, warum die „fliegenden Wurzeln“ bisher eigentlich nicht aufgefallen sind und welche Prozesse den beobachteten Humusschwund in einem nahezu intakten Waldbestand erklären könnten.

### Humus-Erosion,

welche auf Katastrophenflächen einen bedeutenden Humusabtrag bedingen kann [9], ist im vorliegenden Fall weitgehend auszuschließen, da sich der erodierte Humus in Senken bzw. flacheren Hangabschnitten akkumulieren würde. Entsprechende Humusakkumulationen wurden jedoch trotz gezielter Suche nicht gefunden. Ferner wird die erosive Energie von Starkregenfällen auf der Untersuchungsfläche durch das vorhandene Kronendach stark vermindert.

### Klimatische Veränderungen

könnten im Zuge des Klimawandels ein wesentlicher Grund für einen beschleunigten Humusabbau sein. In den Nördlichen Kalkalpen zeigen die Klimadaten für die letzten Jahrzehnte eine deutliche Temperaturerhöhung, jedoch keinen klaren Trend in Bezug auf den Niederschlag. Eine Auswertung des HISTALP-Datensatzes für den Bereich Werdenfelser Land [7] erbrachte für die Vegetationszeit (Mai-September) einen Temperaturanstieg von 1990 bis heute in der Größenordnung von 1,0 °C im Vergleich zur Referenzperiode 1941 bis 1970. Da biochemische Pro-



Ticket online kaufen  
bis zu **35 %** sparen  
[www.interforst.com/tickets](http://www.interforst.com/tickets)

 **INTERFORST**

**16. – 20. Juli 2014**  
**Messe München**

12. Internationale Leitmesse  
für Forstwirtschaft und  
Forsttechnik mit wissen-  
schaftlichen Veranstaltungen  
und Sonderschauen

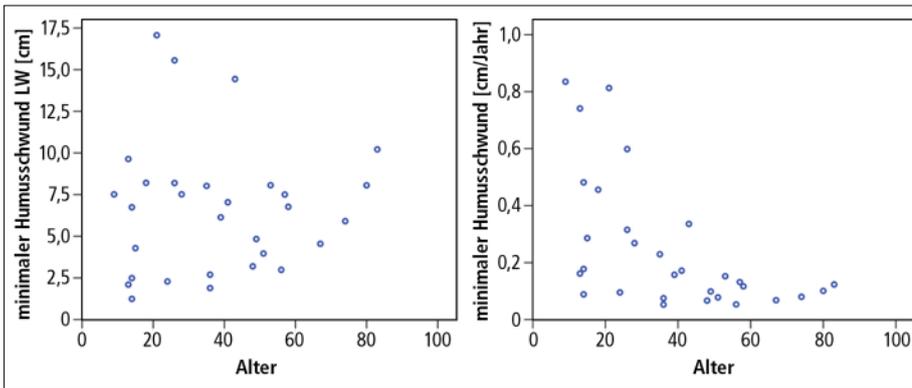


Abb. 5: Streudiagramm des Mindest-Humusverlustes der „Luftwurzeln“ in Abhängigkeit vom Alter (links) und jährlicher Mindest-Humusschwund abhängig vom Wurzelalter (rechts)

zesse sich nach der Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C etwa um den Faktor 2 beschleunigen [1], hat die beobachtete Temperaturerhöhung sicher einen verstärkenden Einfluss auf den Humusumsatz, zumal im bayerischen Alpenraum aufgrund der hohen Niederschläge nicht die Wasserverfügbarkeit, sondern die Wärme als limitierende klimatische Randbedingung für die Mineralisierung gesehen werden muss.

### Stickstoffeinträge

Der Tatsache, dass nahezu alle naturnahen Wälder ursprünglich stickstofflimitiert waren, stehen in Mitteleuropa, besonders auch am bayerischen Alpenrand, die anhaltend hohen Stickstoffeinträge der letzten Jahrzehnte gegenüber [16]. Die Folge ist eine Verengung des C/N-Verhältnisses in der Humusaufgabe, was wiederum zu einer verbesserten Abbaubarkeit des organischen Kohlenstoffs führt [8].

### Weniger Feinwurzeln

Nach eigenen Beobachtungen scheint es eine wechselseitige Beziehung zwischen Feinwurzeldichte der Bäume und Humusstabilität zu geben. Dies bedeutet, dass zum einen ein gut durchwurzeltes Humuspaket robuster gegenüber Veränderungen ist, zum anderen Feinwurzeln ohne schützende Humusbedeckung absterben (vgl. Abb. 6). Fehlende Verjüngung führt zu einer Reduzierung der Feinwurzeldichte und könnte somit auch indirekt zum Humusabbau beitragen.

### Verschiebung der Pilzzönose

Die veränderten Stoffeinträge (immissionsbedingte Stickstoffdüngung) in Verbindung mit einer reduzierten Feinwurzelschließung könnte auch zu einer Verschiebung der Pilzzönose im Boden führen. Die mit den Feinwurzeln verknüpften Ektomykorrhizapilze sind durch ihre Symbiose

mit dem kohlenhydratliefernden Baum nicht auf den Humus als Kohlenstoffquelle angewiesen. Da sie dem Humus aber Nährstoffe entziehen, erhöhen sie das C/N-Verhältnis der Humusaufgabe und verringern deren Gehalte an N, P und K [2]. Sie entziehen den Humuszersetzer (Mikroorganismen und saprotrophe Pilze) die Nährstoffgrundlage und führen so zu einer verlangsamten Mineralisation, was die Bildung von Auflagehumus fördert. Dies wurde im Umkehrschluss von GADGIL und GADGIL [6] belegt, die bei Experimenten mit *Pinus radiata* herausfanden, dass durch das Entfernen der ektomykorrhizierten Wurzeln der Streuabbau rapide zunahm. Bei dieser Konkurrenzbeziehung scheint die Stickstoffverfügbarkeit ein Schlüsselfaktor zu sein [14]. Durch den erhöhten Stickstoffeintrag aus der Luft und die zurückgehende Feinwurzelschließung des Humuskörpers verschiebt sich so das humusinterne Konkurrenzgefüge zugunsten der humusabbauenden Organismen.

### Belastung durch Wild und Weidevieh

kann ebenfalls zu Humusdegradation führen. Zum einen ist dies die Trittbelastung, besonders durch Weidevieh, welche den Humus mechanisch schädigt, zum anderen die Verbissbelastung, welche die Naturverjüngung beeinträchtigt bzw. im Extremfall sogar unmöglich macht und damit die Feinwurzeldichte beeinträchtigt. Eindeutlich zeigen dies Paarvergleiche mit gezäunten Flächen [15], wo innerhalb des Zaunes zum Teil deutlich höhere Humusvorräte gefunden werden. Auf der in der vorliegenden Studie untersuchten Fläche spielt Weidevieh in der jüngeren Vergangenheit keine Rolle. Frühere Beweidung kann aufgrund der Nähe zur Schlehdorfer Alm jedoch nicht ausgeschlossen werden, da der Abstand zwischen Untersuchungsgebiet und den Weideflächen der Alm in ihrer aktuellen Ausdehnung nur 400 m



**Abb. 6:**  
Zurückgestorbene  
Feinwurzeln auf  
einem ehemals  
humusbedeckten Fels

Luftlinie beträgt. Dass Verjüngung nahezu völlig fehlt, zeigt allerdings einen hohen Wildverbiss an, zumindest in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten.

#### Nutzungsbedingte Kohlenstoffexporte

können grundsätzlich einen weiteren Grund für Humusschwund darstellen, da durch die Holznutzung erhebliche Mengen an Biomasse der Humusbildung entzogen werden. Ein Vergleich von Naturwaldparzellen mit nahe gelegenen Wirtschaftswäldern im bayerischen Kalkalpin [4] belegt dieses Phänomen. Seit vielen Jahren ist der Untersuchungsbestand wegen seiner Schutzwaldfunktion und der schlechten Bringungssituation außer regelmäßiger Bewirtschaftung. Länger zurückliegende Nutzungen können jedoch nicht ausgeschlossen werden.

#### Bewertung der Befunde

Über der Bodenoberfläche verlaufende Wurzeln („Luftwurzeln“), freigelegte und abgestorbene Feinwurzeln, freigelegte runde Felsformen und Hohlräume in der Humusaufgabe sind in ihrem kombinierten Auftreten untrügliche Zeichen für einen akut stattfindenden Humusabbau. Sowohl Median als auch Maximum von Hohlraumhöhe und Humusrückrechnung liegen mit 8,0 cm und 7,3 cm bzw. 32,0 cm und 58,2 cm in vergleichbarer Größenordnung. Da aus der Vermessung der Luftwurzeln nur ein Mindest-Humusverlust abzuleiten ist, liegen die hier erhaltenen Werte für Median (1,7 cm) und Maximalwert (20,7 cm) erwartungsgemäß niedriger.

Besonders kritisch ist der beobachtete Humusschwund im Bereich der Fels-Humus-Böden, da es hier keinen Mineralboden gibt und nur der Humus als Substrat sowie als Nährstoff- und Wasserspeicher

fungieren kann. Auf diesen Standorten bedeutet ein Schwinden der Humusaufgabe, dass sie ihre Eigenschaft als Waldstandort verlieren, da sie sowohl keinen Altbestand mehr tragen können als auch keine Verjüngung mehr zulassen.

Man kann davon ausgehen, dass mächtige Humusaufgaben in den einstigen Urwäldern der Bayerischen Alpen eher der Regelfall als die Ausnahme waren. So werden in den ersten Operaten des Tegernseer Raumes mächtige Dammerde-schichten (= Tangelhumus) beschrieben [13]. Humusschwund durch unpflegliche Waldbewirtschaftung (Kahlschläge) ist ein lange bekanntes Phänomen [3] und führt im Extremfall, zum Teil in Verbindung mit intensiver Weidewirtschaft, zur Verkarstung größerer Flächen. So waren weite Bereiche des heute als Karsthochfläche bekannten Steinernen Meeres bei Berchtesgaden ehemals von Vegetation und Wald bedeckt [12].

Besonders bedenklich ist, dass der Humusschwund in einem sonst als intakt erscheinenden Waldbestand und nicht auf einer Katastrophenfläche stattfindet. Es stellen sich daher zwei entscheidende Fragen:

- Wie verbreitet ist dieses Phänomen im Bayerischen Alpenraum?
- Kann die Forstwirtschaft diesem Phänomen entgegensteuern?

Frage 1 kann derzeit nicht beantwortet werden, da flächendeckende systematische Erhebungen fehlen. Zu Frage 2 lässt sich feststellen, dass die Forstwirtschaft nur bedingt Einfluss nehmen kann. Klimaänderung und Stickstoffeinträge sind externe Steuergrößen, auf welche man nur reagieren kann. Entsprechend den bereits dargestellten Gründen für den Humusschwund ergeben sich jedoch auch Möglichkeiten, mit denen die Forstwirtschaft

aktiv zu Humusbildung und -erhalt beitragen kann. Hierzu zählen alle Maßnahmen, die die Feinwurzelintensität am Standort fördern und den Kohlenstoffexport mindern. Dies bedeutet, dass in Bereichen, die von Humus-Carbonat-Böden dominiert werden, durch entsprechende Bestandesführung, Wildbestandsregulierung und eventuell auch Pflanzung (voraus-)verjüngungsreiche Bestände aufgebaut werden sollten. Kronenmaterial und auch möglichst viel (Tot-)Holz sollten am Standort als Kohlenstoff- und Nährstoffquelle verbleiben, soweit dies aus Waldschutzgründen vertretbar ist.

Das Tückische am Humusschwund ist, dass dieser über lange Zeit schleichend und unbemerkt stattfindet. Erst wenn das Humuskapital weitgehend verschwunden ist, machen freiliegende Wurzeln sowie absterbende Bestandesteile darauf aufmerksam. Für forstliche Maßnahmen zur Unterstützung des Humusaufbaus ist es aufgrund deren Langfristigkeit dann aber eigentlich schon zu spät. Umso wichtiger ist es deshalb, vorausschauend durch langfristige Verjüngungsverfahren die Grundlagen für eine strukturierte und gemischte Dauerbestockung zu schaffen.

#### Literaturhinweise:

- [1] BECK, T. (1968): Mikrobiologie des Bodens. BLV Verlag, München.  
 [2] BENDING, G. D.; READ, D. J. (1995): The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. V. Foraging behaviour and translocation of nutrients from exploited litter. *New Phytologist* (130), S. 401-409. [3] BOCHTER, R.; NEUERBURG, W.; ZECH, W. (1983): Humus und Humusschwund im Gebirge. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 2, 2. Aufl. [4] CHRISTOPHEL, D.; SPENGLER, S.; SCHMIDT, B.; EWALD, J.; PRIETZEL, J. (2013): Customary selective harvesting has considerably decreased organic carbon and nitrogen stocks in forest soils of the Bavarian Limestone Alps. *Forest Ecology and Management* 305, S. 167-176. [5] FISCHER, K. (2005): Geomorphologie der Berchtesgadener Alpen. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht 50. [6] GADGIL, R. L.; GADGIL, P. D. (1975): Suppression of litter decomposition by mycorrhizal roots of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forest Science* (5), S. 33-41. [7] HARTL-MEIER, C.; RÖTHE, A. (2013): Zuwachsreaktion kalkalpiner Bergwälder auf Klimaänderungen. Abschlussbericht zum Interreg-Projekt SicALP (BY/ÖJ00183), Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. [8] HILDEBRAND, E. E. (1994): Der Waldboden – ein konstanter Produktionsfaktor? *AFZ*, 49. Jg., Nr. 2, S. 99-104. [9] HOLLAUS, A. (2011): Methodische Ansätze zur Abschätzung der Erosion von Humuskarbonatböden. Jahrestagung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. [10] LIU, Bayerische Landesamt für Umwelt und Gesundheit (2012): Geofachdatenatlas des Bodeninformationssystems Bayern. Online verfügbar unter [www.bis.bayern.de](http://www.bis.bayern.de). [11] KOHL-PAINTNER, M.; GÖTTLEIN, A. (2009): Mit dem Wald schwindet auch der Humus – Großflächige Störungen in Hochgebirgswäldern führen zu Nährstoffverlusten und beeinträchtigen langfristig die Waldentwicklung. *LWFaktuell* Nr. 71, S. 22-24. [12] MAYER, H. (1965): Zur Waldgeschichte des Steinernen Meeres (Naturschutzgebiet Königsee). *Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen u. -Tiere*, Jg. 30, S. 100-120. [13] MEISTER, G. (1969): Ziele und Ergebnisse forstlicher Planung im oberbayerischen Hochgebirge. *Forstw. Centralblatt*, 88, S. 97-130. [14] PARK, D. (1976): Carbon and nitrogen levels as factors influencing fungal decomposers. In: J. M. Anderson and A. Macfayden (Hg.): The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes. the 17th Symposium of the British Ecological Society, 15 - 18 April 1975. Blackwell, Oxford, S. 41-46. [15] PRIETZEL, J.; AMMER, C. (2008): Montane Bergmischwälder der Bayerischen Kalkalpen: Reduktion der Schalenwildichte steigert nicht nur den Verjüngungserfolg, sondern auch die Bodenfruchtbarkeit. *Allgemeine Forst- u. Jagdzeitung* 179, S. 104-112. [16] RENNENBERG, H.; KREUTZER, K.; PAPAN, H.; WEBER, P. (1998): Consequences of high loads of nitrogen for spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forests. *New Phytol.* 139, S. 71-86. [17] WINALP, Waldinformationssystem Nordalpen (2011): <http://www.winalp.info>.