

Verlust ökologischer und ökonomischer Waldfunktionen

Standortsdegradation im Kalkalpin

Matthias Wilnhammer, Roland Baier und Axel Göttlein

Über die Hälfte des bayerischen Gebirgswaldes ist Schutzwald im Sinne des Bayerischen Waldgesetzes [13]. Der Erhalt des Leistungspotenzials dieser Wälder ist nach dem Bergwaldbeschluss des Bayerischen Landtags und des Bergwaldprotokolls zur Alpenkonvention von hoher Bedeutung und vorrangig gegenüber anderen Nutzungsansprüchen. Der Zustand der Schutzwälder ist jedoch oftmals unzureichend und die langfristige Sicherung der Wald- und Bodenfunktionen gefährdet. In unserem Forschungsprojekt wollten wir deshalb das Ausmaß menschlich bedingter Standortsveränderungen und ihre langfristigen Auswirkungen auf Bodenzustand und Baumernährung aufdecken. Dazu verglichen wir stark geschädigte Fichtenbestände auf ehemaligen Kahlschlagsflächen mit naturnahen Bergmischwäldern im Hauptdolomitgebiet der Bayerischen Kalkalpen in standorts-, boden- und ernährungkundlicher Hinsicht.

Humus ist wichtiges Nährstoffkapital im Gebirgswald

Geologisch befindet sich ein Großteil der bayerischen Schutzwälder auf Hauptdolomit, einem Karbonatgestein, aus dem sich geringmächtige und skelettreiche Rendzinen mit meist nur geringer Wasserspeicherkapazität bilden. Solche Standorte

gelten gemeinhin als ungünstig für das Baumwachstum. So beschreiben verschiedene Studien für kalkalpine Fichtenbestände eine weit verbreitete Mangelversorgung mit den Nährelementen Stickstoff, Phosphor, Kalium, Eisen und Mangan [2, 7, 9, 11, 15]. Der Humus ist auf solchen Böden besonders wichtig für die Baumernährung. Im Auflagehumus, besonders in dem

M. Wilnhammer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und wie Dr. R. Baier ehemaliger Projektmitarbeiter am Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt, Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TU München, welches von Prof. Dr. Dr. A. Göttlein geleitet wird.



Matthias Wilnhammer
matthias.wilnhammer@hswt.de

auf Fels-Humus-Böden weit verbreiteten Tangelhumus und in mächtigen Moderauflagen, ist die Nährstoff- und Wasser-
verfügbarkeit im Vergleich zum karbonatischen Mineralboden deutlich besser [4]. Eine wesentliche Aufgabe der forstlichen Praxis im Bergwald ist somit der Erhalt des Humuskapitals.

In der Vergangenheit kam es auf Hauptdolomit jedoch häufig zu anthropogen bedingtem Humusschwund: Kahlschlag, zu starker Holzeinschlag, Wiederaufforstung mit reiner Fichte, Waldweide

Erhebungsmethodik

Für die Untersuchung wurden je vier typische naturnahe sowie degradierte Schutzwaldbestände im Landkreis Miesbach ausgewählt. Die Flächen grenzten meist unmittelbar aneinander, sodass von ursprünglich vergleichbaren Standortsverhältnissen auszugehen war. Die untersuchten Flächen liegen im Wuchsbezirk „Mittlere Bayerische Kalkalpen“ und sind von hochmontaner Klimatönung geprägt. In Abhängigkeit von Exposition, Hangneigung, Steingehalt und Bestockung variiert die Humusform kleinräumig von geringmächtigem F-Mull über Moder- bis zu mächtigen Tangelhumusauflagen [4, 14]. Tangelhumus entsteht, wenn sich die Vegetations- und Bodenentwicklung ungestört vollzieht. Dabei handelt es sich um mächtige, im oberen Bereich saure, schwarzbraune bis rötliche Humusakkumulationen mit hoher Basensättigung und sehr guter Wasserspeicherkapazität [11] (vgl. Abb. 2).

Aufgrund des Standortmosaiks der Karbonat-Bergmischwälder wurden die Flächen kleinräumig beprobt. Die Probenahme um-

fasste Auflagehumus, Mineralboden und Baumnadeln.

Auf 30 x 30 m großen Aufnahmeflächen wurden die Humus- und Mineralbodenmächtigkeiten in einem 3-m-Raster mittels Bohrstock bis in 20 cm Tiefe, beziehungsweise bis zum Beginn des Ausgangsgesteins kartiert (Stichprobengröße N = 800). Die Humusformen wurden vereinfacht nach der Mächtigkeit definiert: Mull < 3 cm, Moder ≤ 15 cm, Tangelhumus > 15 cm. Zusätzlich wurde der Totholzvorrat ermittelt, indem innerhalb eines Metallrings (Fläche a = 0,5 m²) sämtliches Totholz (Durchmesser d > 1 cm) mit einem Meterstab vermessen wurde (N = 1 520, Messabstand 1,5 m). Dem kartierten Totholz wurden sechs Zersetzungstufen zugeordnet (von „frisch tot“ bis „pulverig, wie organische Auflage Oh“) und der darin gespeicherte Nährstoffvorrat anhand von Durchschnittswerten nach ETI [6] berechnet. Außerdem wurde an jedem Probepunkt der Totholzkartierung der Bedeckungsgrad durch die Bodenvegetation innerhalb des Metallrings geschätzt (N = 1 520).

Weiterhin wurden volumenbezogene Proben von Auflagehumus und Mineralboden der Bodentypen Mull-, Moderrendzina und O/C-Boden sowie Nadelproben zur Bestimmung der Nährstoffversorgung der Bäume gewonnen. Die Bodenproben wurden im Labor getrocknet, gesiebt und gemahlen. Anschließend wurden bodenchemische, -physikalische und ernährungskundliche Kenngrößen analysiert: pH-Wert, N, C_{gesamt}, C_{anorganisch}, extrahierbare Kationen (Ca, Mg, K, Fe, Mn), zitronensäurelöslicher P sowie Gesamtelementgehalte an P, Ca, Mg, K, Mn, Al, Na in der Humusaufgabe. In den gemahlenden Nadel- und Blattproben wurden nach HNO₃-Druckaufschluss die Haupt- und Spurenelemente mit optischer Emissionsspektrometrie (ICP-OES) bestimmt. Aus den Ergebnissen von Kartierung und Bodenprobenahme wurden schließlich der pedogene Nährstoffvorrat in t/ha sowie Nadel- und Blattspiegelwerte als Maß für die Baumversorgung berechnet.

und überhöhte Wildbestände führten in vielen Bergmischwaldstandorten zu einer Abnahme der Humusvorräte und zu einer erheblichen Änderung der Bodeneigenschaften [1, 5, 8, 16].

Aufgrund der steigenden Holznachfrage wird auch im Gebirgswald wieder verstärkt Holz genutzt. Zudem sind Windwurfauflarbeitung und Borkenkäferbekämpfung meist mit einer Räumung von Flächen verbunden. Auf den sensiblen Hauptdolomitstandorten stellt sich deshalb die Frage, in welchem Umfang Holzeinschlag und Flächenräumung nach Katastrophen stattfinden kann, ohne das Ökosystem zu schädigen, d.h. ohne die Grenzen der ökologischen Nachhaltigkeit zu überschreiten.

Welchen Einfluss hat forstliche Nutzung auf Hauptdolomitstandorten?

Ziel unserer Studie war es, die Bedeutung von Humus für das Wachstum der Fichte, der führenden Baumart in den Schutzwäldern Bayerns, auf Hauptdolomit zu quantifizieren. Ebenso wollten wir das Ausmaß menschlich bedingter Standortveränderungen und ihre langfristigen Auswirkungen auf Bodenzustand und Baumernährung untersuchen. Hierzu verglichen wir schlecht wüchsige Fichtenreinbestände auf ehemaligen Kahlschlagsflächen mit vitalen Bergmischwäldern hinsichtlich standorts-, boden- und ernährungskundlicher Aspekte. Die degradierten Fichtenbestände stehen auch stellvertretend für Schutzwälder in unbefriedigendem Zustand, die Bergmischwälder dienen als naturnahe Vergleichsflächen und repräsentieren den Zielzustand des Bergwaldes im Kalkalpin (vgl. Abb. 1).

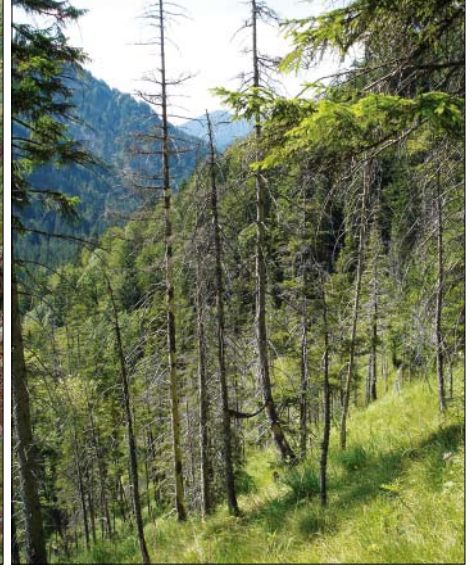
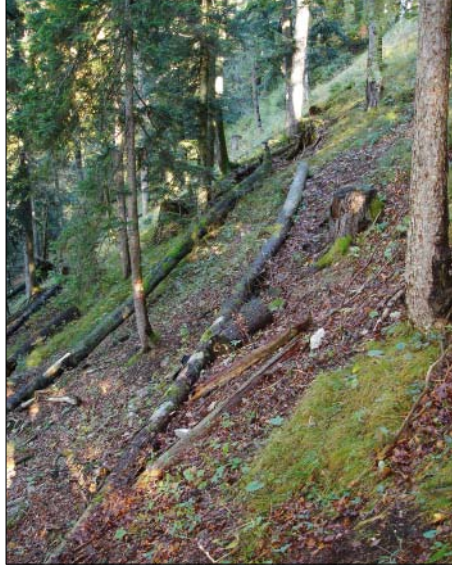


Abb. 1: Naturnaher Bergmischwald und degradiertes Fichtenreinbestand

Fotos: R. Baier

Langfristige Veränderung des Ökosystems erkennbar

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass es auf den heute degradierten Flächen infolge von Intensivnutzung und Wiederaufforstung mit reiner Fichte zu einer deutlichen, sich selbst verstärkenden Standortsdegradation kam.

• **Starker Holzeinschlag bzw. Auflichtung** führten in den Fichtenreinbeständen zu massivem Humusschwund (Verlust von 107 t/ha bzw. von 89 %, vgl. Abb. 3), was mit einer erheblichen Zunahme des Bodentyps Mullrendzina und einer deutlich verringerten Wasserspeicherkapazität verbunden ist. Im Auflagehumus des Fichtenreinbestands sind bei pF 1,8 lediglich 18 l Wasser pro m² enthalten. Das entspricht nur noch 16 % der Wassermenge, die bei gleicher Feldkapazität im Auflagehumus des Bergmischwalds (113 l/m²) gespeichert wird (Abb. 4). Zudem wird im Zuge der Humuszersetzung in erheblichem Umfang CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt. Ein Mangel an vertikalen Bestandesstruktu-

ren, beispielsweise durch ungenügende Verjüngung des Waldes, kann den Humusschwund weiter verstärken.

• **Der Totholzvorrat** ist im Fichtenreinbestand gegenüber dem Bergmischwald um 5 t/ha bzw. 45 % geringer. Frisches Totholz wird aufgrund des lichtereren sowie trockeneren Bestandesklimas langsamer zersetzt und kann aufgrund der Beteiligung an-

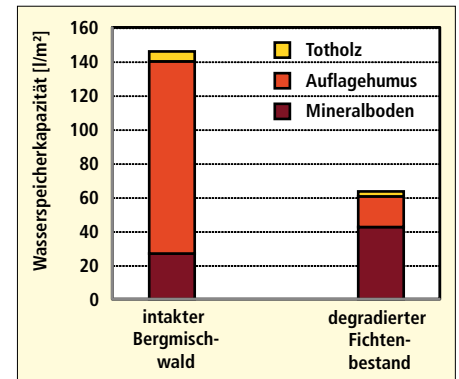


Abb. 4: Wasserspeicherkapazität bei pF 1,8 von Bergmischwald und degradiertem Fichtenbestand im Kalkalpin

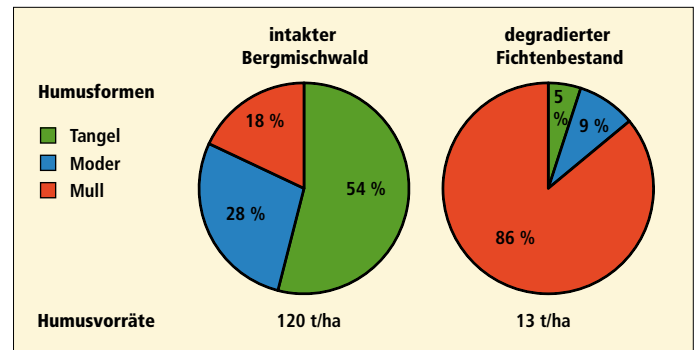


Abb. 3: Humusformenverteilung (%) und Humusvorräte; Mittelwert der je vier Untersuchungsflächen im Bergmischwald und in der Fichtenaufforstung

◀ Abb. 2: Mächtiges, intensiv durchwurzeltes Tangelhumuspaket im Kalkalpin

Foto: A. Göttlein

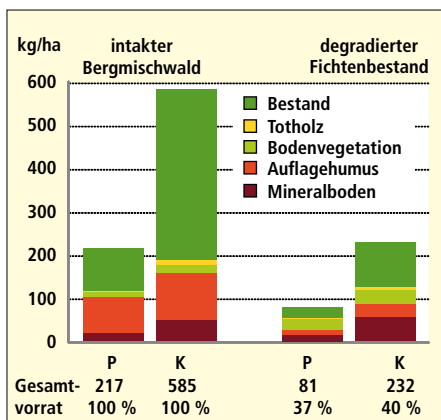


Abb. 5: Ökosystemare Speicherung von P und K in Bergmischwald und degradiertem Fichtenbestand; Gesamtgehalte in Bestand, Totholz, Bodenvegetation und Auflagehumus, extrahierbarer Anteil im Mineralboden (Vorratsdaten zu stehendem Bestand nach [10])

derer Pilze keine „schwammartige“ Konsistenz erreichen. Im Fichtenreinbestand trägt Totholz deswegen gegenüber dem Bergmischwald um 47 % weniger zur Wasserversorgung der Bäume bei (vgl. Abb. 4). Ein Großteil des Totholzes im Fichtenreinbestand stammt von mächtigen, stark zersetzten Wurzelstöcken aus dem Vorbestand (3,2 t/ha). Dieses Totholz kann unter den gegenwärtigen Bedingungen nicht mehr gebildet werden und stellt „geerbtes Kapital“ dar.

• **Totholz und Auflagehumus** haben im Bergmischwald einen erheblichen Anteil an der Nährstoffspeicherung im Ökosystem. Insgesamt stellen die Böden (Mineralboden + Humus + Totholz) im Fichtenreinbestand im Vergleich zum Bergmischwald deshalb nur 27 % an Kalium und 55 % an Phosphor bereit (Abb. 5). Auf beiden Standorten ist ein Großteil des Gesamtnährstoffvorrates im aufstockenden Bestand gespeichert, wobei für Phosphor der Anteil bei 30 bis 45 % und bei Kalium bei beachtlichen 45 bis 70 % liegt. Der degradierte Fichtenbestand besitzt

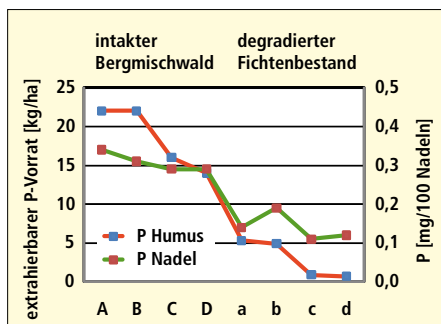


Abb. 6: Zusammenhang zwischen zitronensäurelöslichem P-Vorrat im Humus und der P-Ernährung der Fichte; A bis D: Bergmischwaldbestände, a bis d: degradierte Fichtenbestände; Bestände angeordnet nach sinkendem P-Vorrat

aufgrund des Humusschwunds nur noch gut ein Drittel des Nährstoffvorrates des Bergmischwaldes. In überschaubaren Zeiträumen ist es daher kaum mehr möglich, den Fichtenbestand in einen vitalen Bergwald zu überführen, da die hierfür notwendigen Nährstoffreserven nicht mehr vorhanden sind.

• **Der pH-Wert** der Mineralböden liegt zwischen 6,5 und 7,3, die Humusaufgaben sind deutlich saurer (pH 3,7 bis pH 5,2). Durch den Humusschwund sind die Fichten im Reinbestand gezwungen, im bodenchemisch ungünstigen Mineralboden zu wurzeln. Dort ist durch den hohen pH-Wert und Ionenantagonismen die Nährstoffaufnahme erschwert. Die Verfügbarkeit von Kalium, Phosphor, Eisen und Mangan ist im Auflagehumus deutlich höher als im Mineralboden. Der überwiegende Anteil der Gesamtaustauscherplätze ist jedoch durch die Kationen Kalzium und Magnesium belegt.

• **Die schlechte Nährstoffverfügbarkeit** in den Fichtenreinbeständen wird durch die Nährstoffgehalte der Fichtennadeln dokumentiert. Die Nadeln enthalten 56 % weniger Phosphor, 52 % weniger Stickstoff, 42 % weniger Kalium, 58 % weniger Eisen sowie 61 % weniger Mangan als die Nadeln der vitalen Bergmischwaldfichten. Die Nadeln der mangelhaft ernährten Fichten sind außerdem signifikant (um 54 %) leichter. Abb. 6 belegt den engen Zusammenhang zwischen den pflanzenverfügbaren Phosphorvorräten im Humus und der Ernährung der Fichte mit diesem Element. So führen hohe Phosphor-Vorräte im Humus zu hohen Nährstoffmengen in den Nadeln (Bergmischwaldbestände A-D), geringe Phosphor-Vorräte dagegen zu einer schlechten P-Versorgung der Fichten (Bestände a-d).

• **Insgesamt** wird die reduzierte Versorgung mit Nährstoffen und Wasser auch anhand der **Bestandesbiomasse** erkennbar. Im Fichtenbestand werden mit 76 t/ha nur 34 % des Bergmischwaldes (221 t/ha) erreicht. Zudem reagierten die Fichten auf den degradierten Standorten deutlicher und nachhaltiger auf Trockenphasen [10]. Demnach ist zu befürchten, dass sich der Klimawandel auf Humusschwundstandorten stärker abzeichnen wird.

• **Bei einer Vollbaumholznutzung** würden den Beständen erhebliche Mengen an Nährstoffen entzogen (vgl. Abb. 5). Selbst eine Derbholznutzung mit Rinde entzieht bereits beträchtliche Nährstoffmengen (10 bis 16 % bei Phosphor; 18 bis 27 % bei Kalium). Vor diesem Hintergrund sollte eine forstliche Nutzung auf Hauptdolomit mit großem Bedacht erfolgen.

Folgerungen

Letztlich belegen die Ergebnisse die geringe nachschaffende Kraft kalkalpiner Böden sowie die enorme Bedeutung eines naturnahen, hohen Humusvorrates. Starke Bewirtschaftungseingriffe können zu einer Beeinträchtigung des Wasser- und Stoffhaushalts führen und eine negative Dynamik hin zur Standortsdegradation auslösen. So zeigen auch die Daten von SCHMIDT [12], dass selbst eine konventionelle, fe-melartige Waldnutzung zu deutlichen Humusverlusten führen kann. Eine intensive Holznutzung kann somit zu dauerhaftem Verlust der Nutz- und Schutzfunktion dieser Bergwälder führen. Deshalb legen die Ergebnisse für vitale Bergmischwälder auf Hauptdolomit eine sehr zurückhaltende und standortsorientierte Bewirtschaftung nahe. Besondere Vorsicht ist bei der Entnahme nährstoffreicher Baumteile wie Kronenmaterial und Rinde geboten, beispielsweise bei holzenergetischer Nutzung oder nach Borkenkäferbefall. Auf bereits stark degradierten Hauptdolomitstandorten sollte aktiv Humus aufgebaut werden und jeglicher Entzug von Biomasse unterbleiben. Weitere Studien sind nötig, um Grenzwerte für die nachhaltige Holzentnahme auf diesen Standorten festzulegen.

Literaturhinweise:

- [1] AMMER, C. (1996): Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps. *Forest Ecology and Management* 88, S. 43-53. [2] BAIER, R. (2004): Ernährungszustand und mögliche Anpassungsmechanismen der Fichte (*Picea abies*) auf Dolomitstandorten der Bayerischen Kalkalpen – Ergebnisse eines Düngerversuchs an jungen Schutzwaldsanierungspflanzen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 155 (9), S. 378-391. [3] BAIER, R.; GOETTLEIN, A. (2004): Böden der Kalkalpen - Entstehung, Eigenschaften und Bedeutung für die forstliche Praxis. *AFZ-DerWald* 9, S. 481-483. [4] BAIER, R.; EITL, R.; HAHN, C.; GOETTLEIN, A. (2006): Early development and nutrition of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings on different seedbeds in the Bavarian limestone Alps – a bioassay. *Ann. For. Sci.* 63, 339-348. [5] BOCHTER, R.; NEUERBURG, W.; ZECH, W. (1981): Humus und Humusschwund im Gebirge. *Nationalpark Berchtesgaden. Forschungsberichte* 2, 110 S. [6] EITL, R. (2005): Wachstum und Ernährung von Fichtenkeimlingen (*Picea abies*) auf unterschiedlichen Keimsubstraten kalkalpiner Herkunft unter kontrollierten Bedingungen. Diplomarbeit an der Studienfakultät für Forstwissenschaften und Ressourcenmanagement der Technischen Universität München, 72 S.; unveröffentlicht. [7] EWALD, J. (2005): Ecological background of crown condition, growth and nutritional status of *Picea abies* in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research* 124: S. 55-66. [8] KOHLPAINTNER, M.; GOETTLEIN, A. (2009): Mit dem Wald verschwindet auch der Humus. *LWF-Aktuell* Nr. 71/2009. S. 22-24. [9] MARSCHNER, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. London: Academic. Press. 889 S. [10] MOROVITZ, D. (2006): Growth characteristics of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and biomass nutrient stocks in a semi-natural mixed mountain forest compared to declining spruce stands on dolomitic sites in the Bavarian Limestone Alps. Master Thesis, TU München, 85 S. [11] REHFUESS, K. (1990): Waldböden. Hamburg und Berlin: Paul Parey, 294 S. [12] SCHMIDT, B. (2010): Humusaussparungen von Gebirgswäldern der bayerischen Kalkalpen mit unterschiedlicher Nutzungsgeschichte. Diplomarbeit. Fachhochschule Weihenstephan. 61 S. [13] SCHNELL, A.; BAUER, A. (2005): Die zweite Bundeswaldinventur 2002: Ergebnisse für Bayern. *LWF-Wissen* Nr. 49/2005. 102 S. [14] WALENTOWSKI, H.; EWALD, J.; FISCHER, A.; KÖLLING, C.; TÜRK, W. (2004): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. Verlag Geobotanica. 441 S. [15] ZECH, W. (1970): Besonderheiten im Ernährungszustand chlorotischer Fichten auf kalkreichen Böden. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 89, S. 1-9. [16] ZIERHUT, M. (2003): Die Geschichte der Traunsteiner Salinenwälder. *Forstl. Forschungsberichte München* Nr. 194, 661 S.