



1 Der Tangelhumus ist eine typische Humusform in den Kalkalpen. Das Bild zeigt ein mächtiges Humuspaket unter Bergmischwald. Foto: R. Baier

## Ohne Humus geht's bergab

Alpenhumus ist ein bestimmender Faktor für die Vitalität der Bergwälder im Kalkalpin

**Roland Baier, Matthias Wilnhammer und Axel Göttlein**

In naturnahen Bergwäldern der Kalkalpen dominieren mächtige Moder- und Tangelhumusauflagen. Diese Formen von Auflagehumus tragen erheblich zur Wasserspeicherfähigkeit des Bergwaldes, zur Nährstoffverfügbarkeit und letztendlich zur Vitalität und Stabilität der Bergwaldökosysteme bei. Gerade mit Blick auf den Klimawandel gilt es, die ökologischen Eigenschaften der Humusaufgabe durch eine optimale »Humuswirtschaft« zu sichern und zu verbessern.

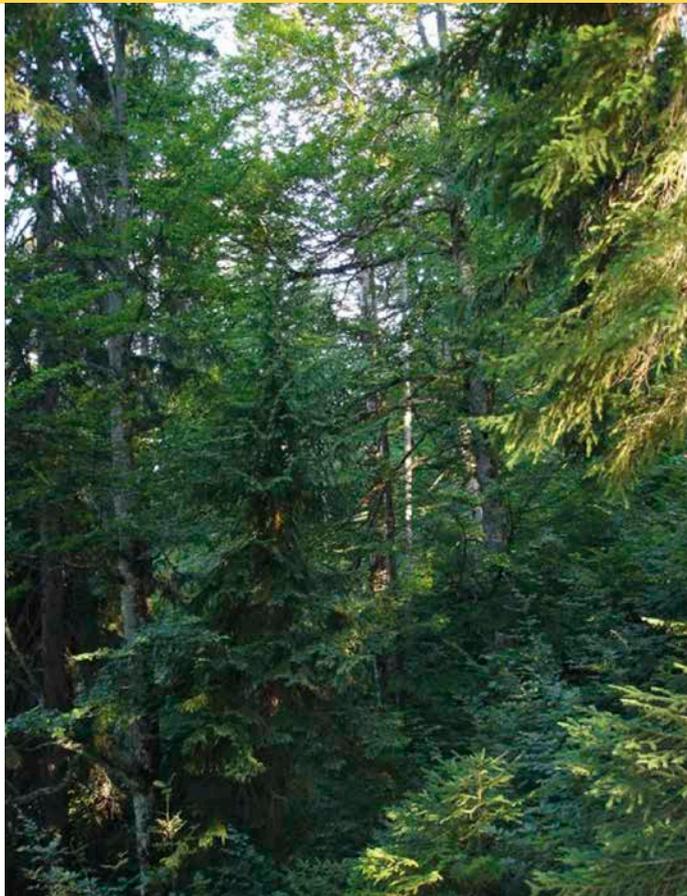
Im Kalkalpin kommen ausschließlich geologisch junge, häufig flachgründige und nährstoffarme Böden vor. Ältere Bodenbildungen der Interglazialzeiten sind durch den Gletscherschurf der letzten Eiszeit verloren gegangen. Mit dem Rückzug der Gletscher musste deshalb die Bodenbildung mit einer Mineralboden- und Humusanreicherung neu beginnen.

### Humusbildung

Nach Thiele (1978) kann man sich die Bildung der Humusaufgaben auf Fels oder jungen Schotterablagerungen folgendermaßen vorstellen: In einer Sukzessionsabfolge von Rasen- über Latschengebüschstadien kommt es zu einem Aufwachsen der organischen Substanz. Damit verbessern sich nach und nach die Nährstoffverfügbarkeit und die Wasserspeicherkapazität, so dass sich in einer weiteren Sukzessionsphase Klimaxbaumarten wie Fichte, Tanne, Buche und Bergahorn ansiedeln können.

Dieser Humusaufbau bis hin zum Wald kann durchaus 1.000 Jahre und mehr benötigen. Im intakten Bergmischwald mit ungestörter Verjüngungsdynamik bleibt der Auflagehumus schließlich auf Dauer geschützt und kann ein sehr hohes Alter erreichen. Mittels <sup>14</sup>C-Analysen bestimmte beispielsweise Weber (1999) für ein 74 cm umfassendes Humusprofil auf Raibler Dolomit unter Alpenrosen-Latschengebüsch (*Rhododendro-Pinetum mughi*) in 1.700 m ü. NN den beachtlichen Bildungszeitraum von 5.800 Jahren. In diesen mächtigen Humusaufgaben fehlen anaerobe Bedingungen (wie z. B. in Mooren), die den Humus vor Abbau schützen. Bis heute ist ungeklärt, welche anderen Prozesse zu dieser hohen Auflagehumusanreicherung und dem hohen Alter führen. Vermutlich spielen hier mikrobiologische Vorgänge (Einfluss von Mykorrhizapilzen), biochemische Mechanismen (Veränderungen in der Strukturchemie) und die besonderen klimatischen Bedingungen der Gebirgsstandorte eine Rolle.

**2 Vitaler Bergmischwald auf mächtigem Kalk-Alpenhumus (li.) und unmittelbar benachbarter, absterbender Fichtenbestand mit geringmächtiger Humusauflage (re.) in der Langenau bei Kreuth** Fotos: R. Baier



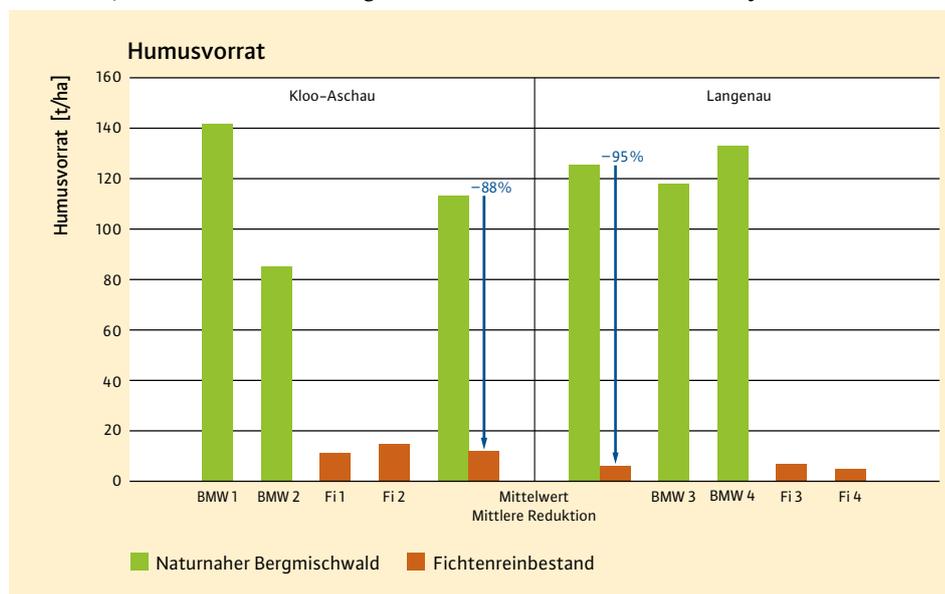
**Humusschwund**

Die Wälder der Bayerischen Alpen und deren Humusvorräte wurden bis zum beginnenden 16. Jahrhundert nur punktuell (Almen) vom Menschen überprägt. Die dann folgenden industriellen Holznutzungen, vor allem im Zusammenhang mit Salinen und Hüttenwerken, in Verbindung mit einer zu geringen Waldverjüngung wegen überhöhter Schalenwildbestände (beginnend in den Hofjagdgebieten), führten vielerorts zu einem Humusschwund. Um das Ausmaß eines solchen Humusschwundes zu quantifizieren, wurden vier naturnahe Bergmischwälder auf Hauptdolomit und vier angrenzende, 55 bis 110 Jahre alte, nachweislich aus Kahlschlag hervorgegangene und heute abgängige Fichtenreinbestände in der Langenau bei Kreuth und in der Kloo-Aschau bei Bayrischzell untersucht (Abbildung 2). Bei vergleichbaren Standortbedingungen (Hauptdolomit, Südexposition) ergab sich folgendes Bild (Abbildung 3): Die vier Bergmischwälder hatten hohe Auflagehumusvorräte von 85–142 t/ha. In den vier

verlichteten Fichtenbeständen nahmen die Auflagehumusvorräte dramatisch auf nur noch 5–14 t/ha ab, was in der Kloo-Aschau einem mittleren Rückgang um 88% und in der Langenau einem Rückgang um 95% entsprach. Im Gegensatz zum sehr langsamen Humusaufbau können innerhalb weniger Jahre der Humusfreilage (z. B. wegen einer fehlenden Waldverjüngung und/oder einer zu geringen Deckung mit einer schützenden Schlagflora nach Sturmwurf oder Borkenkäferkalamität) bis zu 75% des Auflagehumus

verloren gehen (Göttlein et al. 2014). Die zum Teil über Jahrtausende aufgebaute und im Wald erhaltene Humusschicht reagiert also besonders stark und langanhaltend auf Auflichtung oder gar Räumung des Waldbestands. So zeigen Ergebnisse von Prietzel und Christophel (2014), dass in den historisch intensiv als Salinen- und Hüttenwälder genutzten Bereichen im östlichen Oberbayern noch heute geringere Humusvorräte vorkommen, als in den weniger genutzten, ehemals klösterlichen Wäldern in Westoberbayern.

**3 Humusvorräte in den vier naturnahen Bergmischwäldern (BMW) im Vergleich zu den vier angrenzenden Fichtenbeständen (Fi)**



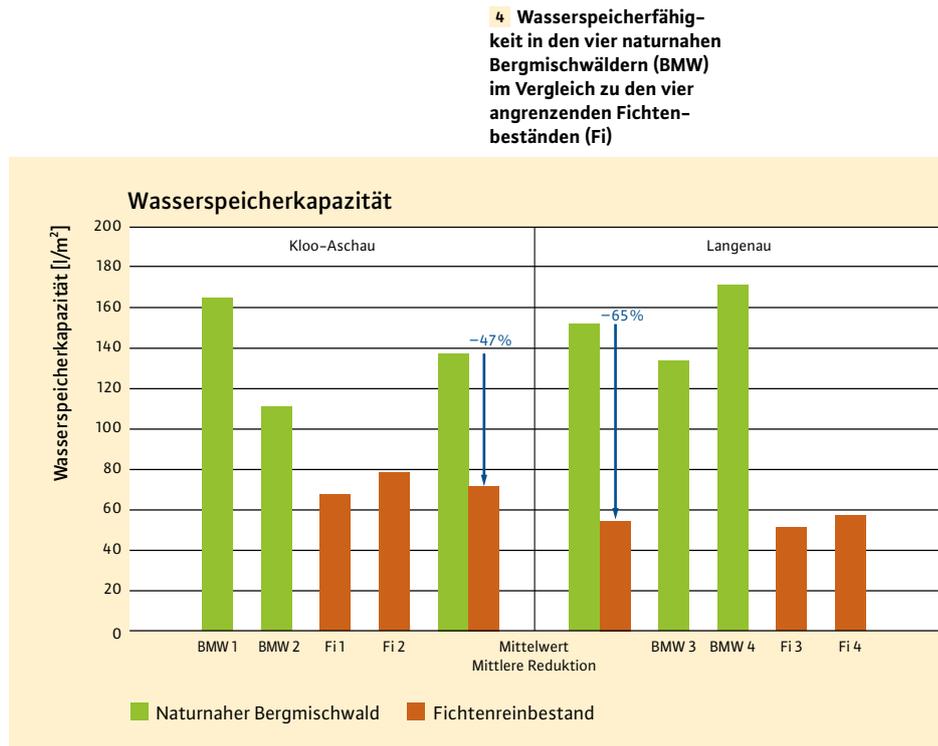
**Hochwasserschutz:**

**Alpenhumus als Wasserspeicher**

Die hohe Bedeutung der Humusauflage für die Wasserspeicherfähigkeit kann anschaulich anhand des bereits vorgestellten Vergleichs der vitalen Bergmischwälder mit den absterbenden Fichten auf Kahlschlagsflächen gezeigt werden (Wilnhammer et al. 2011): Im Bergmischwald errechnet sich auf Grundlage bodenkundlicher Kennwerte ein maximales Wasserspeichervermögen (Auflagehumus, Mineralboden und Totholz) von 172 l/m<sup>2</sup> (Abbildung 4). In den degradierten Fichtenreinbeständen ergab sich eine mittlere Reduktion des Speichervermögens um 47 % in der Kloo-Aschau und um 65 % in der Langenau, was einer Reduktion von mehr als 90 l/m<sup>2</sup> entspricht. Diese Reduktion der Wasserspeicherkapazität ist nahezu ausschließlich auf den geringeren Auflagehumus zurückzuführen. Mit dem Humusschwund wird nicht nur eine wichtige Schutzfunktion des Bergwaldes – nämlich der Schutz vor Hochwasser – deutlich verringert. Mit dem Verlust an Kalk-Alpenhumus nimmt auch die Wüchsigkeit der Wälder ab und steigt deren Anfälligkeit bei Trockenperioden.

**Kalk-Alpenhumus als Nährstoffdepot**

Bei den Baumarten Fichte, Buche und Tanne tritt in den Alpen häufig eine Unterversorgung mit Stickstoff (N) und Phosphor (P), zum Teil mit Kalium (K), Eisen (Fe) und Mangan (Mn) auf (Göttlein et al. 2014). In der sauren organischen Auflage sind diese Nährelemente zum einen gespeichert, zum anderen für die Bäume gut verfügbar (Baier et al. 2006). So stellte v. Leiningen bereits 1909 fest, dass »Alpenhumus auch auf meterdicken Schichten schöne Waldbestände aller Art zu tragen (vermag), welche häufig aus ihm alleine ihre Nährstoffe schöpfen«. Im Vergleich zu mächtigen Humusauflagen auf Silikaten, die als inaktiv und ungünstig beschrieben werden, ist der mächtige Kalk-Alpenhumus als günstig zu bewerten. Der Mineralboden spielt bei den Nährstoffvorräten, mit Ausnahme von Calcium (Ca) und Magnesium (Mg),

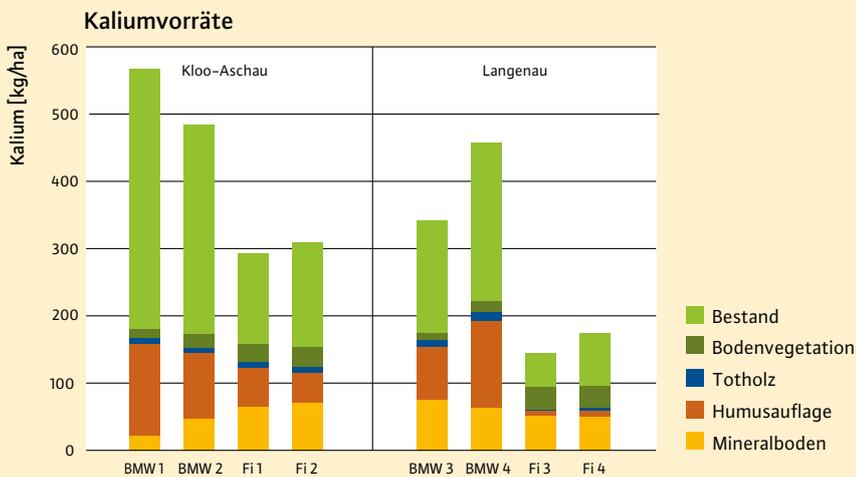


nur eine sehr untergeordnete Rolle. Abbildung 5 zeigt für das Nährelement Kalium dessen Verteilung in Bestand, Auflagehumus und Boden. Im intakten Bergmischwald befinden sich 49–68 % der gesamten Kaliumvorräte im Bestand, im degradierten Fichtenwald ist es mit 35–50 % ebenfalls ein erheblicher Anteil. Im Vergleich hierzu ist der Unterschied der Vorräte im Humus in der Langenau eklatant, wo in den Fichtenbeständen nur noch 6% der leicht verfügbaren Vorräte im Auflagehumus zu finden sind. Insgesamt weisen die absterbenden, aus Kahlschlag hervorgegangene Fichtenbestände nur noch 40–57% der ursprünglichen Kaliummengen auf. Diese sind mit dem Kahlschlag über den Biomassenexport und über den Humusschwund vor Jahrzehnten aus dem Waldökosystem verloren gegangen und bis heute nicht nachgeliefert worden. Humusschwund und erntebedingter Nährstoffexport führen daher zu einer echten Degradation der Standorte. Ehemals geschlossene Bergwälder haben sich so zu Schutzwaldsanierungsflächen entwickelt.

**Optimale »Humuswirtschaft«**

Die Folgen des Humusschwundes sind bereits seit über 150 Jahre bekannt (Sendter 1854). Wie sieht jedoch die optimale »Humuswirtschaft« im Kalkalpin heute aus? Vegetations- und bodenkundliche Arbeiten zeigen, dass der Humusschwund auf Bergmischwaldstandorten reversibel ist und die Waldverjüngung bzw. die neu einsetzenden Sukzessionsstadien über viele Jahrzehnte und Jahrhunderte den Humusaufbau und die Bodenverbesserung fördern (Hölzel 1996; Prietzel und Ammer 2008). Mit der sich etablierenden Waldverjüngung setzt eine ganze Kaskade positiver Effekte mit Rückkopplungen ein: Es baut sich Kalk-Alpenhumus auf, damit verbessern sich Wasserspeicherfähigkeit und Nährstoffverfügbarkeit. Dies wirkt positiv auf die Waldverjüngung zurück. Mit der dichter werdenden Verjüngung nimmt schließlich das Schneegleiten ab, was wiederum zusätzlich die Humusanreicherung begünstigt. Auf bereits degradierten, ehemaligen Bergmischwaldstandorten – das sind typische Verhältnisse vieler heutiger Schutzwaldsanierungsflächen – wirkt der Humusaufbau als Kohlenstoffsénke. Er verbessert den Hochwasserschutz und er senkt die Anfälligkeit der Wälder gegenüber Trockenperioden im Klimawandel. Zum Schutz des Kalk-Alpenhumus in noch weitgehend

5 Kaliumvorräte in den vier naturnahen Bergmischwäldern (BMW) im Vergleich zu den vier angrenzenden Fichtenbeständen (Fi)



6 Vom starken Humusschwund gezeichnete geringmächtige Humusauflage des Fichtenreinbestands in der Langenau; optimale »Humuswirtschaft« kann den Humusabbau stoppen und einen Humusaufbau einleiten. Foto: R. Baier

intakten Bergwäldern sollte möglichst einzelstammweise eingegriffen werden (Christophel et al. 2016) und nach Kalamitäten sollten (möglichst hohe) Biomasse- bzw. Totholzvorräte belassen werden. Bei ausbleibender Verjüngung sollte nach Kalamitäten in Wirtschaftswäldern möglichst schnell gepflanzt werden. Entscheidend ist auch eine ungestörte Entwicklung der Schlagflora. Waldverjüngung und Schlagflora können freiwerdende Nährstoffe nutzen, in der Biomasse zwischenspeichern und so in der Fläche sichern. Zusätzlich wirkt die Beschattung dem Humusschwund entgegen (Göttlein et al. 2014). Der Humusaufbau ist schließlich ein wichtiger Teilaspekt bei der Rückführung der Wälder zu mehr Naturnähe. Über die Verbesserung der Schutzwaldleistung »Hochwasserschutz« ist dieser von hoher Bedeutung für die Gesellschaft. Dies gilt umso mehr, da sich derzeit ein schleichender, vom Klimawandel angetriebener Humusschwund in kalkalpinen Bergwäldern abzeichnet (Prietz et al. 2016; Gangkofner und Göttlein 2014). Der Schlüssel für den Humusschutz liegt, wie soll es anders sein, in der Sicherung einer intakten Waldverjüngung und einer ungestörten Entwicklungsfähigkeit von Bodenvegetation und Schlagflora durch eine konsequente Anpassung der Schalenwildbestände.

## Zusammenfassung

Die Humusbeschaffenheit ist ein entscheidender Faktor für die Vitalität der Gebirgswälder. Naturnah bewirtschaftete Wälder mit intakter Humusauflage weisen deutlich günstigere ökologische Eigenschaften (Nährstoffspeicher, Wasserspeicher) auf als unmittelbar benachbarte Fichtenreinbestände mit Humusschwund. Naturferne Waldwirtschaft, vor allem Phasen ohne Waldverjüngung sind ein bedeutender Grund für einen kritischen Humusschwund. Mit geeigneten Maßnahmen kann der Humusabbau aufgehalten und mittels einer optimalen »Humuswirtschaft« eine Regeneration eingeleitet werden.

## Literatur

- Baier, R.; Ettl, R.; Hahn, C.; Göttlein, A. (2006): Early development and nutrition of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings on different seedbeds in the Bavarian limestone Alps – A bioassay. *Annals of Forest Science* 64 (4), S. 339–348
- Christophel, D.; Höllerl, S.; Prietz, J.; Steffens, M. (2016): Long-term development of soil organic carbon and nitrogen stocks after shelterwood- and clear-cutting in a mountain forest in the Bavarian Limestone Alps. *European Journal of Forest Research* (Im Druck)
- Gangkofner R.; Göttlein A. (2014): Wurzeln fliegen nicht! Merklicher Humusschwund im kalkalpinen Bergwald festgestellt. *AFZ-Der Wald* 5/2014, S. 30–34
- Göttlein, A.; Katzensteiner, K.; Rothe, A. (2014): Standortsicherung im Kalkalpin – SicAlp. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt INTERREG BY/Ö Joo183. Forstl. Forschungsberichte München 212, 172 S.
- Hölzel, N. (1996): Schneeheide-Kiefernwälder in den mittleren Nördlichen Kalkalpen. *Laufener Forschungsberichte* 3, 192 S.
- Leinigen, W. von (1909): Über Humusablagerungen in den Kalkalpen. *Naturwissenschaftliche Zt. für Forst- und Landwirtschaft*, S. 8–32, 160–173, 249–273
- Prietz, J.; Ammer, C. (2008): Montane Bergmischwälder der Bayerischen Kalkalpen: Reduktion der Schalenwilddichte steigert nicht nur den Verjüngungserfolg, sondern auch die Bodenfruchtbarkeit. *Allg. Forst- und Jagdzeitung*, 179. Jg., Heft 5/6, S. 105–113
- Prietz, J.; Christophel, D. (2014): Organic carbon stocks in forest soils of the German alps. *Geoderma*, Vol. 221–222, S. 28–39
- Prietz, J.; Zimmermann, L.; Schubert, A.; Christophel, D. (2016): Organic matter losses in German Alps forest soils since the 1970s most likely caused by warming. *Nature Geoscience*, DOI: 10.1038/NGEO2732
- Sendter, O. (1854): Die Vegetations-Verhältnisse Südbayerns nach den Grundsätzen der Pflanzengeographie und mit Bezugnahme auf Landescultur. München: Literarisch-artistische Anstalt. 910 S.
- Thiele, K. (1978): Vegetationskundliche und pflanzenökologische Untersuchungen im Wimbachgries. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Aus den Naturschutzgebieten Bayerns 1, 73 S.
- Weber, K. (1999): Vegetations- und Klimageschichte im Werdenfelser Land. *Augsburger Geographische Hefte* Nr. 13, 111 S.
- Wilhammer, M.; Baier, R.; Göttlein, A. (2011): Standortsdegradation im Kalkalpin. *AFZ-DerWald* 22/2011, S. 13–15

## Autoren

Dr. Roland Baier ist stellvertretender Leiter des Bayerischen Amtes für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) in Teisendorf. Matthias Wilhammer verfasste seine Masterthesis zum Thema Humusschwund in den Bayerischen Kalkalpen Prof. Dr. Axel Göttlein leitet das Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt der Technischen Universität München in Freising. **Kontakt:** roland.baier@asp.bayern.de