



Humuspflege in den Bayerischen Alpen

Mächtige Humusauflagen, auch als Tangel- bzw. Alpenhumus bezeichnet, bestimmen maßgeblich die Leistungsfähigkeit und Resilienz von montanen und subalpinen Bergwaldökosystemen der Bayerischen Alpen. Ein Projekt des Waldklimafonds stellt diese Wälder aufgrund ihres Kohlenstoffreichtums in eine Reihe mit Mooren und Mangroven und leitet daraus Empfehlungen für die Waldbehandlung im Klimawandel ab.

TEXT: JÖRG EWALD, AXEL GÖTTLEIN, JÖRG PRIETZEL, MICHAEL KOHLPAINTNER, BIRGIT REGER, MICHELANGELO OLLECK



Foto: E. Kolb

Abb. 1: Tangelhumus unter Latschengebüsch im Wettersteingebirge 1.850 m ü. NN

In dem vom Waldklimafonds finanzierten Projekt „Alpenhumus“ untersuchten Forscher der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und der Technischen Universität München Humusauflagen (Abb. 1), welche in Bergwäldern der Bayerischen Kalkalpen Mächtigkeiten von mehr als 100 cm erreichen können. Auf den Maßstabsebenen Landschaft, Waldbestand und Bodenprofil wurden folgende Teilziele untersucht: Verbreitung in der Landschaft (Makroskala), Quantifizierung der Kohlenstoff-, Wasser- und Nährstoffspeicher (Mesoskala) sowie Verständnis der Bildungs- und Abbauprozesse (Mikroskala) [vgl. 2, 4, 8, 10].

Diese Ergebnisse (Tab. 1) mündeten in Handlungsempfehlungen für

die forstliche Praxis, welche in [1] detailliert publiziert wurden. Dieser Beitrag fasst die wichtigsten Erkenntnisse zur Humuspflege in Gebirgswäldern für die Forstpraxis zusammen.

Das System Tangelhumus

Tangelhumus entsteht in Wäldern mit positiver C-Bilanz der Böden, wenn der Humusaufbau den Abbau und die Einmischung in den Mineralboden über längere Zeit übertrifft. Dafür müssen folgende Bedingungen erfüllt sein (Abb. 2 rechts):

- *Wald oder Krummholz mit hoher Streu- und Totholznachlieferung,*

- *felsig-steinige Kalk- und Dolomit-Standorte mit wenig mineralischem Feinboden und*
- *durch niedrige Temperaturen (lokal auch Trockenheit oder Nässe) gehemmter Abbau.*

Diese Bedingungen sind in den geomorphologisch jungen Kalkalpen mit ihren alten, vorrats- und totholzreichen Bergwäldern und auch unter Latschengebüschen gegeben. Die Tangelhumusvorräte sind durch folgende negative Kardinalpunkte (Abb. 2 links) gefährdet:

- *Ernten der Biomasse, Beweidung, überhöhte Wildbestände und Entwaldung;*
- *mikrobieller Abbau durch Klimaerwärmung nach Schadereignissen und bei fehlender Verjüngung.*

Schneller ÜBERBLICK

- » **Das Waldklimafonds-Projekt „Alpenhumus“** widmete sich der Sonderstellung mächtiger Humusauflagen in den Kalkalpen
- » **Die Humusaufgabe spielt** eine entscheidende Rolle für die Vitalität und Wasserspeicherung der Bergwälder
- » **Aktive Maßnahmen zur Humuspfl-**ge leisten einen großen Beitrag für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung
- » **Ein dreistufiges System** zur Humuspfl-

„In den Kalkalpen hängen alle Waldfunktionen vom Humus ab.“

JÖRG EWALD

Im schlimmsten Fall könnte es auf bis zu 10 % der Wuchsgebietsfläche (etwa 30.000 ha, vgl. [7]), auf der Tangelhumus dominiert, durch Humusschwund zu Verlust der Wasserspeicherkapazität, zur Freisetzung von großen Mengen an Treibhausgasen, zum Verlust der Waldfähigkeit und zur Verkarstung kommen.

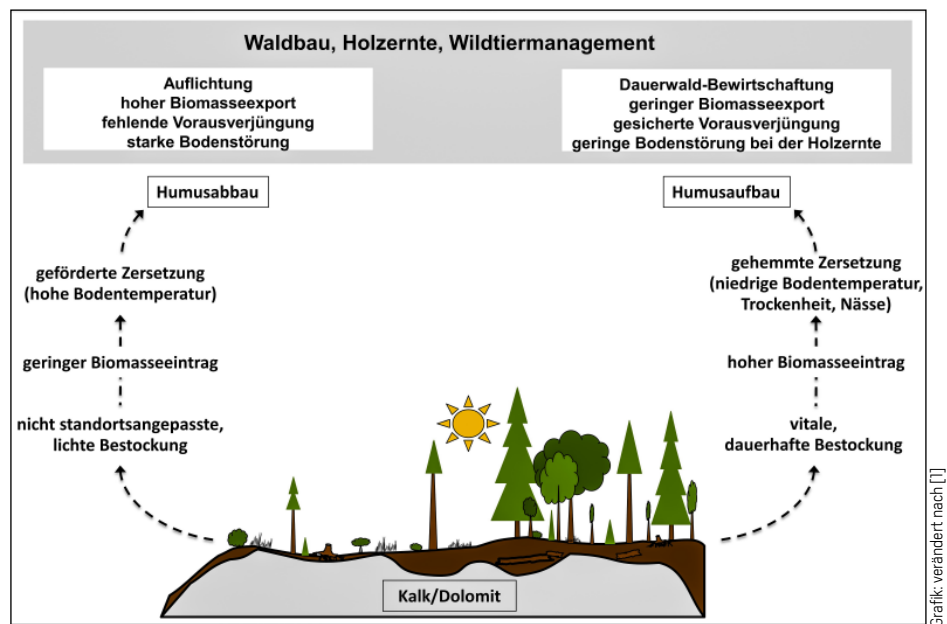


Abb. 2: Grafisches Modell des Systems Tangelhumus

Grafik: verändert nach [1]

Forschungsfragen und Ergebnisse des Alpenhumus-Projekts im Überblick

Tab. 1: Die wichtigsten Projektergebnisse im Überblick

Maßstabsebene	Forschungsfrage(n)	Wichtigste Ergebnisse
Makroskala Landschaft (HSWT)	Wo kann man Tangelhumus in den Bayerischen Alpen finden?	Mächtige Humusaufgaben kommen überwiegend auf rückstandsarm verwitternden Kalken/Dolomiten auf ca. 9 % der Waldfläche vor. Das Vorkommen kann grob mittels Modellen abgeschätzt werden.
	Wie kann man Tangelhumus in den Bayerischen Alpen finden?	Auf stark kalkhaltigem Ausgangssubstrat kann säurezeigende Vegetation (Heidekraut- und Bärlappgewächse) zur genauen Lokalisation verwendet werden.
Mesoskala Waldbestand (TUM)	Welche Bedeutung hat Tangelhumus für den Wasserhaushalt?	Bis zu 70 % des Bodenvolumens können als Wasserspeicher dienen, wovon der größte Teil pflanzenverfügbar ist (Ökosystemfunktion, dezentraler Hochwasserschutz).
	Sind Ökosysteme mit Tangelhumus stickstoffgesättigt?	Die hier untersuchten Standorte sind stickstoffgesättigt ($N\text{-Austrag} \geq N\text{-Eintrag}$).
	Wie viel Kohlenstoff kann Tangelhumus speichern?	Die C-Speicherung beträgt pro cm ca. $6,9 \text{ t C ha}^{-1}$ und ist ab 15 cm Auflagemächtigkeit deutlich höher als bei durchschnittlichen bayerischen Waldböden.
	Wie temperaturintensiv ist Tangelhumus?	Laborversuche zeigen, dass die Humusabbauraten exponentiell mit der Temperatur ansteigen (hohe Q_{10} -Werte). Im Zuge des Klimawandels steigt daher die Gefahr der Standortsdegradation.
Mikroskala Bodenprofil (TUM)	Welche chemischen Humuskennwerte verändern sich systematisch mit dem Umsetzungsgrad der organischen Bodensubstanz?	Bei zahlreichen Kennwerten gibt es systematische Veränderungen mit dem Umsetzungsgrad. Beispiele: C/N, Delta 13C, Delta 15N, alkyl-C/O-alkyl-C, Gehalt an nicht-cellulosischen Polysacchariden, GM/AX, Gehalt an Aminosuktern.
	Ermöglichen chemische Humuskennwerte in morphologisch definierten Auflagehorizonten die Identifikation von Standorten mit aufbauender vs. abbauender Humusdynamik?	Mehrere Kennwerte ermöglichen dies; z. B. der Gehalt an nicht cellulosischen Polysacchariden, Gehalt an Aminosuktern, Mur/Gluc, (Delta 15N). Eine Analyse dieser Parameter ist aber kompliziert.



Abb. 3: Das Dreisäulensystem der Humuspflge

Empfehlungen für die praktische Humuspflge

Das Alpenhumus-Projekt empfiehlt ein dreistufiges Vorgehen, um Tangelhumus künftig im Management von Bergwäldern zu berücksichtigen. Die drei Säulen „Erkennen“, „Vorbeugen“ und „Wiederherstellen“ ergeben zusammen ein Konzept [6], aus dem sich konkrete Handlungsempfehlungen für die Humuspflge in Berg- und Schutzwäldern der Kalkalpen ableiten lassen (Abb. 3).

1. Tangelhumus erkennen

Humuspflge sollte an Standorten über die allgemeinen Prinzipien einer sachgerechten Behandlung von Berg- und Schutzwäldern hinausgehen, die als Brennpunkte des Bodenschutzes erkannt und lokalisiert werden. Da in den Kalkalpen keine feinmaßstäblichen Karten der Auflagemächtigkeiten existieren, wird Tangelhumus in zwei Schritten verortet:

- Abgrenzung der Flächenkulisse mit fehlenden bzw. sehr gering ausgeprägten Mineralböden aus Kalk und Dolomit durch geostatistische Modellierung auf Basis der Substratkarte [5].*
- Innerhalb dieser Kulisse wird Tangelhumus anhand des dominanten Vorkommens leicht erkennbarer Säurezeiger wie Heidelbeere, Preiselbeere, Tannenbärlapp und Sprossender Bärlapp erkannt [9].*

Im Bestand kann der Tangelhumus durch Sondieren mit Aluminiumbohrstock oder Stahlnadeln verifiziert werden. In Gebieten, in denen größere Projekte zur Humuspflge anstehen, ist

eine Kartierung der Auflagemaumächtigkeit empfehlenswert.

2. Humusabbau vorbeugen

In der unter 1.a) genannten Humuspflgekulisse werden prioritär Dauerbestockungen mit hoher Resilienz gegen Bestandesstörungen erhalten oder angestrebt, indem

- Waldweide ausgeschlossen wird,*
- Schalenwild dichten angepasst werden,*
- Vorausverjüngung der standorttypischen Haupt- und Nebenbaumarten ermöglicht wird und*
- geschlossene, strukturreiche und gestufte Mischbestände mit hoher Einzelbaumstabilität entwickelt werden.*

Diese Ziele werden durch ökologischen Waldumbau, Schutzwaldpflge oder



Abb. 4: Totholzreicher und verjüngungsreicher Bergmischwald

Schutzwaldsanierung in Kombination mit den unter 3. genannten Maßnahmen verfolgt.

3. Humusvorräte wiederherstellen

Über die unter 2. genannten jagdlichen und waldbaulichen Maßnahmen hinaus wird der (Wieder-)Aufbau von Tangelhumus gefördert, indem

- Stamm- und Kronenholz unter Beachtung des Waldschutzes, bevorzugt als Querleger, der Vermoderung am Standort überlassen und*
- vom Borkenkäfer befallene Fichten gefällt, vor Ort entrindet oder gestreift und am Hiebsort belassen werden („Schepsen und Liegenlassen“).*

Gebirgswälder auf Tangelhumus (Abb. 4) verdienen – wie Moorwälder oder Mangroven – das Prädikat eines „carbon-rich ecosystem“ (kohlenstoffreichen Ökosystems, vgl. [3]), in dem Kohlenstoff- und Wasserspeicherung Vorrang gegenüber der Holznutzung haben sollten.

Die C-Speicherung beträgt pro cm ca. 6,9 t C ha⁻¹ (gesamte Waldfläche der Bayerischen Alpen ca. 5,2 Mt Kohlenstoff) und ist ab 15 cm Auflagemächtigkeit bereits deutlich höher als bei durchschnittlichen bayerischen Waldböden [4, 7]. Die mächtigen Humusaufgaben haben eine Feldkapazität von ca. 60 bis 70 % (nutzbare Feldkapazität ca. 50 bis 60 %) und spielen daher für den dezentralen Hochwasserschutz eine entscheidende Rolle [4]. Diese Ökosystemdienstleistungen sollten im Rahmen der forstlichen Förderung und des Emissionshandels finanziell honoriert werden.

Die Umsetzung in die betriebliche Praxis, staatliche Förderprogramme und die Vermarktung von Ökosystemleistungen werden zurzeit (zweite Jahreshälfte 2021) in einem Folgeprojekt (ST372-„Humuspflge in den Kalkalpen: Status quo, Bedarf und Machbarkeit“, finanziert durch die Bayerische Forstverwaltung) untersucht. Nach Abstimmung mit den regionalen Stakeholdern (Waldbesitzer, Behörden, Dienstleister) soll der Praxis ein Leitfaden für die Humuspflge in Berg- und Schutzwäldern übergeben werden.

Folgerungen

Viele Berg- und Schutzwälder der Kalkalpen hängen in ihren Funktionen entscheidend von Tangelhumus ab. Ihre Leistung als C-Speicher verdient jedoch mehr Aufmerksamkeit. Humuspflge ist auf geeigneten Standorten in drei Stufen durch Erkennen, Stabilisieren und Wiederherstellen von Auflagehumus durch gezieltes Belassen von Holzbiomasse umsetzbar.

Literaturhinweise:

[1] EWALD, J.; GÖTTLEIN, A.; PRIETZEL, J.; KOHL-PAINTNER, M.; REGER, B.; OLLECK, M. (2020): Alpenhumus als klimasensitiver C-Speicher und entscheidender Standortfaktor im Bergwald. Forstliche Forschungsberichte München 220, 154 S. [2] EWALD, J.; GÖTTLEIN, A.; PRIETZEL, J.; KOHL-PAINTNER, M.; REGER, B.; OLLECK, M. (2020): Alpenhumus als klimasensitiver C-Speicher und entscheidender Standortfaktor im Bergwald - Synthese und Ausblick. Forstliche Forschungsberichte München 220, S. 5-19. [3] GOLDSTEIN, A.; TURNER, W. R.; SPAWN, S. A.; ANDERSON-TEIXEIRA, K. J.; COOK-PATTON, S.; FARGIONE, J.; GIBBS, H. K.; GRISCOM, B.; HEWSON, J. H.; HOWARD, J. F.; LEDEZMA, J. C.; PAGE, S.; KOH, L. P.; ROCKSTRÖM, J.; SANDERMAN, J.; HOLE, D. G. (2020): Protecting irrecoverable carbon in Earth's ecosystems. *Nature Climate Change* 10 (4), S. 287-295. [4] KOHL-PAINTNER, M.; GÖTTLEIN, A. (2020): Nährstoff- und Wasserhaushalt des Systems „Alpenhumus“. Forstliche Forschungsberichte München 220, S. 61-100. [5] KOLB, E. (2012): Interaktive Karte

der Gesteinseigenschaften. Eine neue Substratgliederung bringt schnelle Übersicht und viele Informationen über die Böden der Bayerischen Alpen. LWF aktuell (87/12), S. 15-17. [6] MELLERT, K.; EWALD, J. (2011): Wie viel Biomassenutzung trägt der Bergwald? Empfindlichkeit von Wäldern gegenüber Biomassenutzung. *AFZ-DerWald*, Heft 24, S. 19-21. [7] OLLECK, M.; KOHL-PAINTNER, M.; MELLERT, K. H.; REGER, B.; GÖTTLEIN, A.; EWALD, J. (2021): Thick forest floors in the Calcareous Alps - distribution, ecological functions and carbon storage potential, *Catena* 207, 105664. [8] OLLECK, M.; REGER, B.; EWALD, J. (2020): Verbreitung und Vorkommen von Alpenhumus - Regionalisierung auf Landschaftsebene. Forstliche Forschungsberichte München 220, S. 21-60. [9] OLLECK, M.; REGER, B.; EWALD, J. (2019): Plant indicators for Follic Histosols in mountain forests of the Calcareous Alps. *Applied Vegetation Science* 23 (2), S. 285-296. [10] PRIETZEL, J. (2020): Humuschemie und Mikrobiologie des Systems „Alpenhumus“. Forstliche Forschungsberichte München 220, S. 101-154.

Hinweis: Das Verbundvorhaben „Alpenhumus als klimasensitiver C-Speicher und entscheidender Standortfaktor im Bergwald“ wurde unter den Förderkennzeichen 22WC406301 & 22WC406302 mit Mitteln der Bundesministerien für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) als Projektträger für den Waldklimafonds gefördert.



Prof. Dr. Jörg Ewald

joerg.ewald@hswt.de

ist Professor für Botanik, Vegetationskunde und Gebirgsökosysteme an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Er koordinierte das Gesamtprojekt und leitete das Teilprojekt „Vorkommen und Verbreitung des Alpenhumus“. **Prof. Dr. Dr. Axel Göttlein** (Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt, TU München) und **apl. Prof. Dr. Jörg Prietzel** vom Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München leiteten die Teilprojekte „Nährstoff- und Wasserhaushalt des Systems Alpenhumus“ bzw. „Humuschemie und Mikrobiologie des Systems Alpenhumus“. **Dr. Michael Kohlpaintner, Dr. Birgit Reger und Michelangelo Olleck** waren wissenschaftliche Bearbeiter.



LogStackPRO

SCHNELL - LEICHT - GEEICHT

- Präzise Bestimmung der Holzmasse im Wald
- Vermessung ohne Bezugsmaß
- Einziges zertifiziertes Handvermessungssystem für die Vorder- und die Rückseite des Rundholzpolters

Mehr Informationen:
www.hdlogsystems.de