

Vegetation von Almweiden im Berchtesgadener Land

Vegetation of mountain pastures in the Berchtesgadener Land

Jörg Ewald¹ * , Martina Hofmann², Tobias Köstl³, Bernd Panassiti¹ ,
Sebastian Seibold⁴ , Verena Styrnik⁵  & Christina Hartung¹

¹*Institut für Ökologie und Landschaft, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3, 85354 Freising, Deutschland; ²Fakultät Nachhaltige Agrar- und Energiesysteme, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Am Staudengarten 1, 85354 Freising, Deutschland; ³E.C.O. Institut für Ökologie, Lakeside B07b, 9020 Klagenfurt, Österreich; ⁴Professur für Forstzoologie, Technische Universität Dresden, Pienner Straße 7, 01737 Tharandt, Deutschland; ⁵Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising, Deutschland*
*Korrespondierender Autor, E-Mail: joerg.ewald@hswt.de

Zusammenfassung

Auf acht Almen der Biosphärenregion Berchtesgadener Land wurden im Jahr 2021 vor Weideauftrieb Vegetationsaufnahmen angefertigt, in einer zentralen Aufnahme pro Alm wurden bodenchemische Messungen durchgeführt. Zusätzlich wurde entlang von Transekten zwischen den Aufnahmen eine floristische Gesamterfassung durchgeführt. Die Vegetationsaufnahmen wurden mittels NMDS-Ordination und agglomerativer Clusteranalyse Vegetationstypen zugeordnet, welche hinsichtlich Artenzahlen, mittleren Ellenberg-Zeigerwerten, mittleren Futterwertzahlen und der Deckung von Zeigerarten für geschützte Biotope verglichen wurden. Die Ordination (lokal) wurde mit zwei Referenzdatensätzen mit insgesamt 771 Vegetationsaufnahmen (regional; davon 54 mit Messungen zur Bodenchemie) von einer größeren Anzahl Almen des Biosphärengebiets verglichen.

Die Pflanzenartenzusammensetzung folgte einem geologisch bedingten, kombinierten Gradienten abnehmender Bodenfeuchte und zunehmenden pH-Wertes (NMDS-Achse 1) sowie einem mutmaßlich bewirtschaftungsbedingten Gradienten zunehmender P- und N-Versorgung sowie der mittleren Futterwertzahlen (NMDS-Achse 2). Entlang des pH-Gradienten wurden acht Pflanzengesellschaften unterschieden: *Geo montani-Nardetum* auf sauer verwitternden Kieselkalken (Ruhpolding Formation), auf basenreichen Mischsubstraten *Crepidoph-Festucetum rumicetosum arifolii*, *Crepidoph-Festucetum typicum*, *Caricetum ferrugineae* und *Lolio-Cynosuretum* (zwei Ausbildungen auf unterschiedlichen tief gelegenen Almen) sowie auf Hauptdolomit *Seslerio-Caricetum silenetosum*. *Crepidoph-Festucetum* und *Lolio-Cynosuretum* hoben sich durch höhere Futterwerte als Wirtschaftsgrünland von den übrigen auf Magerrasen bzw. Brachen ausgeprägten Gesellschaften mit höherer naturschutzfachlicher Wertigkeit ab. Auf zwei Almen erwies sich die Vegetation als heterogen aus mehreren Pflanzengesellschaften zusammengesetzt, was sich in einer hohen Beta- und Gamma-Diversität niederschlug. Auf den magersten Almen war zwar die Anzahl der wertbestimmenden Biotopzeiger am höchsten, nicht jedoch die alpha- oder gamma-Diversität aller Pflanzen. Die vegetationsökologische Untersuchung bildet eine wichtige Grundlage für die Interpretation weiterer Untersuchungen auf den Almen.

Abstract

In 2021 vegetation plots were surveyed before the onset of grazing on eight mountain pastures situated in the biosphere region Berchtesgadener Land. In each pasture, 13 plots were surveyed for plant species composition and cover and soil chemistry was measured on one central plot. Additionally, the total pool of vascular plant species (gamma-diversity) was qualitatively recorded along transects between the vegetation plots around mid-summer. Vegetation plots were subjected to NMDS-ordination and numerical agglomerative classification (Ward-method) to define eight vegetation types. The latter were characterized by diagnostic species (indicator species analysis) and in terms of species richness, average Ellenberg indicator values, average feed values and the cover of indicator species of legally protected grassland biotopes. The ordination scores (local) were compared to a NMDS ordination of 771 reference plots (regional; 54 with measurements of soil chemistry) from the larger biosphere region.

The main gradient of plant species composition (NMDS-axis 1) was closely related to decreasing site moisture and increasing soil pH and appeared to be induced by bedrock geology. While the majority of pastures developed on mixed talus material of intermediate chemistry, the pastures on acidic radiolarian (Ruhpolding formation) and dolomite rocks (Hauptdolomit) formed the endpoints of the axis. A second orthogonal gradient ordered plots according to increasing macronutrient (P, N) availability and feed value. Along the pH-gradient, eight vegetation types were distinguished: *Geo montani-Nardetum* on acidic radiolarian and sandstone rocks, *Crepidophyllo-Festucetum ruminicetum arifolii*, *Crepidophyllo-Festucetum typicum*, *Caricetum ferruginea* und *Lolio-Cynosuretum* (the latter with two local forms on low elevation pastures) on mixed talus substrates, and *Seslerio-Caricetum silenetosum* on dolomite. *Crepidophyllo-Festucetum* und *Lolio-Cynosuretum* were distinguished as cultivated grasslands by higher feed values in contrast to the oligotrophic grasslands and fallows with high nature value. Two pastures turned out to be composed of heterogeneous plant communities resulting in high beta- and gamma-diversity. Oligotrophic grasslands had the highest richness of nature value indicators, but not the highest overall plant richness on the plot (alpha) and pasture level (gamma). The knowledge of plant communities and their respective ecology provides an important baseline for interpreting the subsequent experiments performed on the pastures.

Keywords: associations, biosphere region, mountain pasture, Northern Calcareous Alps, plant species richness, vegetation

1. Einleitung und Fragestellung

Die Almen der Alpen sind ein extensives Nutzungssystem, dessen biologische Vielfalt sich über Jahrtausende entwickelt hat (Ringler 2009, Gilck & Poschlod 2019). Vielen Landwirten wie Naturschützern gelten sie als Musterbeispiel einer angepassten Landnutzung (Bätzing 2021). Ihre Artenvielfalt wird in besonderem Maße als Grundlage für kulturelle Ökosystemleistungen (regionale Identität und Heimatgefühl, Tourismus und Naherholung, Naturerbe im Sinne von Burkhard et al. 2014) wahrgenommen.

Gemeinschaftlich bewirtschaftete Almen stellen ein bedeutendes Relikt der mittelalterlichen Allmende dar (Gueydon 2012). Im saisonalen Weidesystem der Almen (Transhumanz) hängen Produktivität und Beweidung entscheidend von der Phänologie des Graslandes ab. Auf Berechtigungsalmen liegt der Grundbesitz meist in öffentlicher Hand und Weiderechte regeln den Zeitpunkt von Auf- und Abtrieb sowie Art und Anzahl des zulässigen Viehbestandes.

In den Nördlichen Kalkalpen, deren Gipfelhöhen 3000 m ü. NN nur an wenigen Stellen erreichen (Meynen & Schmithüsen 1953), findet Almwirtschaft vorwiegend in der von Natur aus bewaldeten montanen und subalpinen Stufe statt. Montane Almen müssen durch Rodung und Schwendung von Bäumen und Krummholz vor der Waldsukzession geschützt werden (Aigner et al. 2010).

Die Jahresmitteltemperatur hat in den Alpen seit 1850, wo das Ende der Kleinen Eiszeit und der Beginn der Industrialisierung zusammenfallen, um ca. 2 °C zugenommen (Winkler 2006, Auer et al. 2007). Die Vegetationsperiode verfrüht sich u. a. durch frühere Schneeschmelze und führt in alpinen Rasen zu höherem Biomassezuwachs (Jonas et al. 2008), in montaner und subalpiner Vegetation zu einer Zunahme der Konkurrenz (Rammig et al. 2010), die sich auf Silikatgesteinen der Zentral- und Westalpen oft in einer Verbuschung mit *Alnus alnobetula* (Anthelme et al. 2007), in den Nördlichen Kalkalpen mit *Pinus mugo* (Dullinger et al. 2003) zeigt.

Der voranschreitende Klimawandel bedingt einen früheren Beginn des Vegetationswachstums, eine verlängerte Vegetationsdauer, höhere Temperaturen und somit ein erhöhtes Produktivitätspotenzial von Almen. Dieser Effekt wird vermutlich besonders in den nördlichen Alpen noch weiter zunehmen (Jäger et al. 2020).

Das Nutzungssystem der Almen konnte in den Bayerischen Alpen nach einer sozio-ökonomischen Krise (Sozialbrache) seit den 1970er Jahren nicht zuletzt durch umfangreiche Agrarförderung stabilisiert werden (Ringler 2007, 2009). So werden in der Pflegezone des im Eigentum des Freistaats Bayern befindlichen Nationalparks Berchtesgaden Almen auf Grundlage der Rechtstitel, die nicht selten bis in 16. Jahrhundert zurückreichen, bestoßen. In den letzten Jahren häufen sich dort Beschwerden über einen Rückgang der Futterqualität und wachsenden Aufwand für die Weidepflege, was mit einer fehlenden Passung zwischen zulässigem Auftriebszeitpunkt und immer früher einsetzender Vegetationsperiode erklärt wird. Um die Auswirkungen eines früheren Austriebs auf agronomische Kenngrößen, Blütenangebot und Insektenfauna zu testen, wurde auf acht Almen des Biosphärenreservats Berchtesgaden ein Praxisversuch angelegt (Styrnik et al. 2022). Die Versuchsflächen wurden zu Beginn des Experiments durch Vegetationsaufnahmen dokumentiert.

In diesem Beitrag wird die Vegetation der acht untersuchten Almen im Hinblick auf folgende Fragen untersucht: (1) Welche pflanzenökologischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede weisen die Versuchsflächen auf? (2) Welche physiographischen Triebkräfte (Umweltfaktoren) sind für die Unterschiede verantwortlich? (3) Welche Vegetationstypen kommen auf den untersuchten Almen vor? (4) Wie repräsentativ sind sie für die Almlandschaft des Biosphärenreservats? (5) Wie ist die Vegetation der untersuchten Almweiden naturschutzfachlich zu bewerten?

2. Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen fanden in den Berchtesgadener Alpen (016), zum kleinen Teil in den Chiemgauer Alpen (027) statt, beide sind Naturraum-Untereinheiten der Nördlichen Kalkalpen (D68, Meynen & Schmithüsen 1953). Dem entsprechen die forstlichen Wuchsbezirke 15.9 und 15.6 (Walentowski et al. 2001). Das Gebiet gehört zum Landkreis Berchtesgadener Land (Bayern, Bundesrepublik Deutschland). Mit einer Höhenerstreckung von 470 m an der Saalach bis 2713 m ü. NN am Watzmann zeichnet es sich durch ein vielfältiges Relief und ausgeprägte bioklimatische Höhenstufen aus.

2.1 Geologie und Klima

Das Gebiet gehört zu den Nördlichen Kalkalpen und zerfällt nach Doben (1981) entlang der Linie Schneizelreuth-Reichenhall in zwei tektonisch-stratigraphische Einheiten: Der Nordwesten gehört zur Lechtaldecke und ist großflächig vom triassischen Hauptdolomit (Nor) geprägt; im Süden (Tirolikum) bilden massive, wenig gefaltete Stöcke von

Ramsaudolomit (Ladin) und Dachsteinkalk (Nor) ausgedehnte, durch teilweise fjordartige Trogtäler gegliederte Karstplateaus, denen hier und dort jüngere nicht verkarstende Radiolarite (Jura, Ruhpolding-Formation), Sandsteine und Mergel (Kreide, Gosauschichten) aufliegen. Die anstehenden, schwer verwitterbaren Carbonatgesteine wurden örtlich im Zuge von Vergletscherung und periglazialer Verwitterung von Lockersedimenten (Hangschutt, Moränen, Blocksturzmassen) bedeckt (Risch 1993). Lockersedimente und Mergel bilden auf Grund ihrer Verwitterbarkeit und ihres Feinmaterialreichtums bevorzugte Almböden (Ringler 2009).

Das Saalachatal bei Bad Reichenhall ist mit 470 m ü. NN und 8,5 °C Jahresdurchschnittstemperatur der tiefst gelegene, wärmste Teil der Bayerischen Alpen. Die Temperaturen nehmen mit einem Gradienten von -0,48 °C pro 100 m linear ab (Ewald 1997), so dass am Watzmann in 2713 m Meereshöhe -2,3 °C zu erwarten sind. Parallel nimmt die Länge der Vegetationszeit um ca. -4,7 Tage/100 m von ca. 166 Tagen auf 60 Tage ab. Bei einem Höhengefälle von +48 mm/100 m ($R^2 = 0,69$; Ewald 2001) nimmt der Niederschlag von 1661 mm auf ca. 2737 mm in den Gipfellen zu. Unterstellt man eine lineare Zunahme der Schneedeckendauer um 11,4 Tage/100 m, so liegen auf den untersuchten Almen an 114 (Salet) bis 234 Tagen (Gotzen) Schnee (Tab. 2). In tieferen Lagen werden die maximalen Schneehöhen im Februar, in der Höhe im März erreicht. Im Tal liegen im Mittel 50 cm, in der Höhe 3–5 m Schnee (Nationalparkverwaltung Berchtesgaden).

Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit (1850) hat die mittlere Jahrestemperatur in den Alpen bereits um ca. 2,0 °C zugenommen (Auer et al. 2007), was einer Verschiebung der thermischen Höhengrenzen um 417 m oder einer Zunahme der Vegetationszeit um 19,7 Tage sowie einer Abnahme der Schneedeckendauer um 47,3 Tage entspricht. Andererseits lässt eine weitere Zunahme der Temperatur um 2 °C bis 2100 entsprechende Klimaverschiebungen erwarten. Lediglich für den Jahresniederschlag wird keine gerichtete Veränderung erwartet, so dass auf speicherfähigen Böden längere Dürreperioden auch künftig wenig wahrscheinlich sind.

Tabelle 1. Geologie der untersuchten Almen.

Table 1. Bedrock geology of the studied mountain pastures.

	Stratigraphie nach (LfU Bayern o. J.)	Substrattypen nach Kolb (2012)
1_Höllenbach	Hauptdolomit (Moräne, würmzeitlich)	291-Hartdolomite (373-mergelige Fernmoränen)
2_Lattenberg	Dachsteinkalk; Hangschutt (Gosau-Schichten)	281-Hartkalke, z.T. konglomeratisch; 263-rasch verwitternde Sandmergel; 482-kalkige Hangschutte
3_Hals	Hauptdolomit (Moräne, würmzeitlich)	291-Hartdolomite (373-mergelige Fernmoränen)
4_Mittereis	Blockschutt/Hangschutt, pleistozän bis holozän	481-kalkige Blockstürze/482-kalkige Hangschutte
5_Salet	Hangschutt plesitozän-holozän/Lokalmoräne, würmzeitlich	482-kalkige Hangschutte/583-kalkige Bachschuttkegel/373-mergelige Fernmoränen
6_Krautkaser	Hangschutt, pleistozän bis holozän/Ruhpolding-Formation/Allgäu-Formation	482-kalkige Hangschutte/211-nährstoffarme Hartsandsteine/273-rasch verwitternde Mergelgesteine
7_Gotzen	Ruhpolding-Formation	211-nährstoffarme Hartsandsteine
8_Regen	Lokalmoräne, würmzeitlich	373-mergelige Fernmoränen

Tabelle 2. Interpolierte Klimadaten für die untersuchten Almen (nach Daten des Deutschen Wetterdienstes und Nationalparkverwaltung Berchtesgaden).

Table 2. Interpolated climate data for the investigated mountain pastures (based on data of the German Meteorological Service and Berchtesgaden National Park Administration).

	Höhe (m ü. NN)	Mittlere Jahres- temperatur (°C)	Vegetationszeit (Tage)	Jahres- niederschlag (mm)	Schneedecken- tage
Höhengradient pro 100 m		-0,48	-4.7	+48	+11.4
Bad Reichenhall	470	8,5	166	1661	95
1_Höllenbach	814	6,8	150	1826	134
2_Lattenberg	1424	3,9	121	2119	204
3_Hals	1212	4,9	131	2017	180
4_Mittereis	1326	4,4	126	2072	192
5_Salet	635	7,7	158	1740	114
6_Krautkaser	1421	3,9	121	2118	203
7_Gotzen	1691	2,6	108	2247	234
8_Regen	1530	3,4	116	2170	216
Watzmann	2713	-2,3	60	2738	350

2.2 Potentielle natürliche Vegetation

Alle untersuchten Almflächen wären von Natur aus bewaldet. Nach Ewald (2001) bilden unter 500 m submontane Buchen-, von 500 bis 800 m tiefmontane Buchen-Tannen-, von 800 bis 1200 m montane Buchen-Tannen-Fichten-, von 1200 bis 1400 m hochmontane Fichten-Tannen-Buchen-, von 1400 bis 1600 m subalpine Fichtenwälder die potenzielle natürliche Vegetation (vgl. auch Suck & Bushart 2012). Gemäß Waldinformationssystem Nordalpen (LWF & HSWT 2024) handelt es sich auf Kalk- und Dolomitsubstraten um Carbonat-Bergwälder (*Aposerido-Fagetum*, oberhalb 1400 m *Adenostylo glabrae-Piceetum*), lediglich auf den Kieselkalken der Gotzen-Alm um Silikat-Fichtenwälder (*Homogyno-Piceetum*, vgl. Storch 1983).

2.3 Landnutzung

Almen sind ein prägendes Element der 1990 gegründeten UNESCO Biosphärenregion Berchtesgadener Land, die sich unter dem Motto „voralpin, alpin, hochalpin“ um die Natur- und Kulturlandschaft des gleichnamigen südostbayerischen Landkreises kümmert.

Das Untersuchungsgebiet gehört überwiegend zur Almregion der Nördlichen Kalkhochalpen, im Nordwesten zu den Nördlichen Kalk-Voralpen. Nach Ringler (2009) gab es bis 1830 im Gebiet des heutigen Nationalparks 146 Almen mit ca. 3000 Rindern. Die Anzahl der bestoßenen Almen ging im 20. Jahrhundert auf 83 (1931), 57 (1953, ca. 1900 Rinder) und 45 (1967, ca. 264 Rinder) zurück. Bis 2010 stieg der Besatz wieder auf 530 Großvieh-einheiten an (Ringler 2010). Die ältesten Almen sind wegen ihrer besonderen Eignung größtenteils bis heute bewirtschaftet.

Almnutzung reicht im Alpenraum örtlich bis in die Bronze- und Römerzeit zurück. Sie begegnet der Knappheit von landwirtschaftlichen Gunstflächen in den Tälern, welche für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln (früher Feldgraswirtschaft, heute fast ausschließlich Grünland) benötigt wurden, mit saisonalem Auftrieb der Weidetiere auf hochgelegene Almen („Sömmierung“). Seit dem ausgehenden Mittelalter erfolgte sie im Zuge einer intensiven Holznutzung der Bergwälder für die Befeuerung der Salinen (Bülow 1962), welche eine temporäre Beweidung der Kahlschlagflächen bis zu ihrer Wiederwaldung erlaubte (sog. „Maisalmen“ ohne Recht auf Schwendung des Baumwuchses). Nach Enteignung des kirchlichen Grundbesitzes (Säkularisation) gingen die Flächen ins Eigentum des Freistaats über, der seitdem die Bewirtschaftung von Wald und Weide durch Purifikation und Ablösen von Waldweiderechten zu trennen suchte (Gundermann & Plochmann 1985). Typisch für die Berchtesgadener Almregion sind Berechtigungsalmen im staatlichen Grundeigentum mit bis in die Gegenwart bestehender Waldweide (Ringler 2010). In der örtlichen Bezeichnung der Almen als „Kaser“ klingt die früher verbreitete Sömmierung von Milchkühen mit der Produktion von Milch, Butter und Käse nach, die jedoch in den letzten Jahrzehnten zu Gunsten der Jungviehweide weitgehend aufgegeben wurde.

Die auf der Gemarkung der Gemeinde Schneizlreuth gelegene Höllenbach-Alm wurde 1922 an Stelle eines seit 1600 bestehenden Bauernhofs errichtet und dient mit 12 ha Lichtweide als Niederleger für das Jungvieh des Eisenbichlerhofs. Die zur selben Gemeinde gehörende Lattenberg-Alm besteht seit 1388, umfasst 22 ha mit 129 Waldweide und wird im Hochsommer als Hochleger mit Jungvieh bestoßen. Die sechs übrigen Almen befinden sich alle in der Pflegezone des Nationalparks Berchtesgaden, zwei davon in der Gemarkung Forst-Hintersee der Gemeinde Ramsau: Die Hals-Alm liegt am Nordabfall der Reiter Alm und wird auf 42 ha Lichtweide mit 115 ha Waldweide im Spätsommer mit dem Jungvieh des Lacklehens bestoßen. Die oberhalb des Hirschbichltals am Fuße des Hocheiskopfes gelegene Mittereis-Alm bildet mit 41 ha Licht- und 578 ha Waldweide den sehr extensiv mit wenigen Junggrindern bestoßenen Hochleger der Bind-Alm mit Weiderechten der Höge Kressenlehen und Mösleralten. Vier Almen liegen in Gemarkungen der Gemeinde Schönau am Königssee: Die 48 ha und 70 ha Waldweide umfassende Krautkaser-Alm ist ein mit Jungvieh des Stangerlehens bestoßener Mittelleger in der Almlandschaft zwischen Göll und Jenner. Die 790 erstmals urkundlich erwähnte Gotzen-Alm umfasst als Hochleger 64 ha Licht- und 324 ha Waldweide am Westabfall des Hagengebirges und wird als Gemeinschaftsalm von sechs Hofstellen bestoßen. Etwas weiter südlich befindet sich die 65 ha Lichte und 219 ha Waldweide umfassende Regen-Alm, die von einem Pächter mit einer Mutterkuh-Herde bestoßen wird. Die 1516 erstmals erwähnte Salet-Alm befindet sich am südlichen Ufer des Königssees, über den das Jungvieh der Höfe Rennerlehen und Mooslehen auf die 51 ha Licht- und 130 ha Waldweide gebracht wird.

2.4 Flora und Vegetation

Bereits 1785 listete Franz von Paula von Schrank in der ersten Flora der Berchtesgadener Alpen 512 Pflanzenarten (von Paula von Schrank 1785). 1798 inspirierte das Gebiet Alexander von Humboldt für seine weltweiten Studien ökologischer Höhenstufen (Päßler 2020) und 1854 beschrieb Otto Sendtner im Auftrag des bayerischen Königs Maximilian II die Abhängigkeit ihrer Pflanzen von Gesteinen und Höhenlage (Sendtner 1854). 1910 wurde der spätere Nationalpark als „Pflanzenschonbezirk“ ausgewiesen und von Magnus (1915) vegetationskundlich erfasst. Lippert (1966) untersuchte die naturnahe Vegetation des Offen-

landes, Storch (1983) die Waldgesellschaften. Lippert et al. (1997) nannten ca. 900 für den Nationalpark nachgewiesene Gefäßpflanzenarten. Springer (1997) wies auf den 68 Almen des Biosphärenreservats 61 Pflanzengesellschaften nach.

Naturschutzwert und Schutzbedürftigkeit der Almen stehen in einem gewissen Spannungsverhältnis zu landwirtschaftlichen Kriterien wie Erschließung, Auftriebszahlen und Futterertrag (Ringler 2009). Den botanischen Artenreichtum und die besondere Lebensraumqualität von Almweiden erklärt Ringler (2010) mit der komplexen Überlagerung von naturnahen, extensiv genutzten und wirtschaftsgeprägten Lebensräumen. Die im Nationalpark Berchtesgaden vorliegende Einbettung von Almen in ausgedehnte Schutzgebiete ist in vielen Teilen der Alpen typisch. Die amtliche Alpenbiotopkartierung (Urban & Mayer 1996) erfasste im Jahr 2006–2007 die Biosphärenregion und grenzte auf allen untersuchten Almen naturschutzfachlich wertvolle Biotope ab. Die sechs im Nationalpark Berchtesgaden gelegenen Almweiden gehören zum FFH-Gebiet 8342-301.

3. Methoden

3.1 Flächenauswahl

Ausschlaggebend für die Auswahl der Almen war die Bereitschaft der Weideberechtigten mitzuwirken. Auf acht Almen (Abb. 1, sechs im Nationalpark, zwei, Lattenberg- und Höllenbach-Alm, im nördlichen Vorfeld) wurden produktive Flächen mit geringem Gehölzaufwuchs und geringer Dominanz von Lägerflur-Unkräutern ausgewählt.

3.2 Aufnahme der Untersuchungsflächen

Auf jeder der acht Almen wurden vor dem Almauftrieb 13 Vegetationsaufnahmen mit einer Größe von 3 m x 3 m angefertigt (insgesamt 104 Aufnahmen). Die Aufnahme erfolgte durch Erfassung aller sichtbaren Pflanzenarten (Gefäßpflanzen, Moose) mit anschließender Schätzung der artspezifischen Deckung auf der dreizehnteiligen Skala von Londo (1976).

Auf jeder Almweide wurde in der zentral gelegenen Aufnahme eine Bodenprobe aus dem oberen Mineralboden zur Messung des pH-Wertes (in KCl mit Glaselektrode), der Basensättigung (BaCl_2 -Extraktion, ICP) und des Gehaltes an organischem Kohlenstoff (Gesamt-Kohlenstoff abzüglich Carbonat-Kohlenstoff bestimmt nach Scheibler-Methode, wenn $\text{pH} > 6,3$), Stickstoff (Elementanalysen mit Vario EL cube) und Phosphor (Zitronensäureextraktion, ICP) entnommen.

3.3 Referenzaufnahmen

Um die Repräsentativität der Versuchsflächen für die Almweiden der Biosphärenregion einzuschätzen, wurden zwei externe Datensätze aufbereitet. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Referenzaufnahmen auf Almen im Untersuchungsgebiet.

Der Datensatz von Springer (1997) enthielt 717 Vegetationsaufnahmen und war als pdf-Datei einschließlich der pflanzensoziologischen Tabellen verfügbar. Die Einzelaufnahmen wurden aus den Tabellen rückdigitalisiert. Beim Import in Turboveg 2.0 (Hennekens & Schaminée 2001) wurden identische Taxonnamen automatisch, von der Referenzliste abweichende Namen von Hand den gültigen Taxa der taxonomischen Referenzliste GermanSL Version 1.5 (Jansen & Dengler 2008) zugeordnet.

Als zweiter Referenzdatensatz wurden Daten aus einer unveröffentlichten Dissertation von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg verwendet. Dieser umfasste 54 Vegetationsaufnahmen (Größe der Plots: jeweils 2 m x 2 m) und enthielt zusätzlich Messungen zur Bodenchemie. Pro Plot wurden jeweils folgende Boden-Parameter analysiert: pH-Wert (in KCl), Kationenaustauschkapazität (KAK, BaCl_2 -Extraktion), Gesamt-Kohlenstoff, Gesamt-Stickstoff (Dumas-Methode) und Phosphat-Gehalt (Doppel-Laktat-Methode).

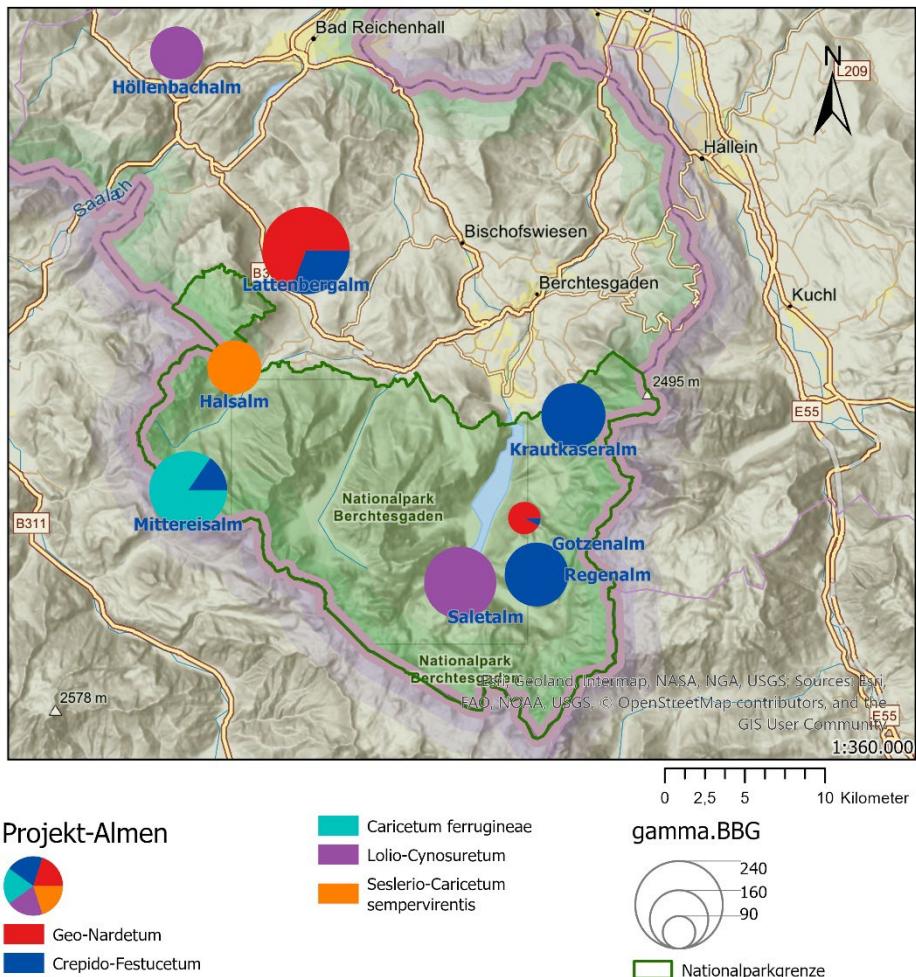


Abb. 1. Lage der untersuchten Almen und Verteilung der ausgewerteten Vegetationsaufnahmen einschließlich Referenzaunahmen; violette Linie: Landesgrenze und südliche Grenze der Biosphärenregion; grüne Linie: Nationalpark Berchtesgaden.

Fig. 1. Map of the studied mountain pastures (blue triangles) and distribution of vegetation plots including reference plots (red circles); purple line: national border and southern limit of the biosphere region; green line: Berchtesgaden National Park.

3.4 Floristische Transektkartierungen

Zur Ermittlung der Gesamt-Artenpools wurden auf den acht Almen 2021 bis 2023 floristische Transektkartierungen durchgeführt. Im Rahmen von zwei von der Bayerischen Botanischen Gesellschaft zur Erforschung der heimischen Flora e. V. organisierten Wochenenden 2022 und einem Kartiertag 2023 begingen 8–10 ehrenamtliche Botaniker/innen jeweils innerhalb eines halben Tages die Weideflächen zwischen den Vegetationsaufnahmen auf jeder Alm und erfassten alle bestimmbarer Gefäßpflanzenarten.

3.5 Datenaufbereitung und -Analyse

Die 104 Vegetationsaufnahmen der Versuchsflächen wurden nach Wurzeltransformation der Deckungswerte mittels Ordination und Klassifikation (Komplementäranalyse) homogenen Vegetationstypen zugeordnet. Dabei wurden Nichtmetrische multidimensionale Skalierung (NMDS, zwei Achsen) und agglomerative Clusteranalyse nach Ward mit dem Soerensen-Koeffizienten als Ähnlichkeitsmaß verwendet. Das Ausmaß der floristischen Differenzierung von Almen und Clustern wurde durch Permutation der Soerensen-Ähnlichkeiten getestet (Multiple Response Permutation Procedure MRPP; McCune & Mefford 2018).

Für die Cluster wurden mittels Zeigerarten-Analyse (Funktion multipatt; de Cáceres et al. 2010) lokale Trennarten gesucht als Ausgangspunkt für die manuelle Sortierung der Vegetationstabelle. In der Beschreibung der Vegetationstypen werden neben den Trennarten die hochstetigen (in $\geq 80\%$ der Aufnahmen registrierten) und dominanten (Deckung erreicht $\geq 10\%$) Arten genannt. Die Zuordnung der Cluster zu Pflanzengesellschaften erfolgte durch Vergleich mit Beschreibungen, Vegetationstabellen und Stetigkeitstabellen in Springer (1997), Oberdorfer (1983) und Oberdorfer (1978) sowie mit den Beschreibungen in Mucina & Grabherr (1993) sowie Grabherr & Mucina (1993). Die Benennung der Assoziationen folgt der Referenzliste von Rennwald (2000).

Die Cluster wurden mittels Boxplots der mittleren, mit der Quadratwurzel der Deckung gewichteten Zeigerwerte (Ellenberg et al. 2001), Artenzahlen und Deckungssummen miteinander verglichen. Die Futterwertzahlen (Briemle et al. 2002, Werte aus Klotz et al. 2002) wurden zu mit der Quadratwurzel gewichteten Mittelwerten aggregiert und Deckungssummen der Arten mit hohem bis bestem Futterwert (Stufen 7–9) wurden berechnet. Der naturschutzfachliche Wert der Vegetation wurde an Hand der Anzahl und Deckungssumme der im amtlichen bayerischen Bestimmungsschlüssel (LfU Bayern 2020) genannten wertbestimmenden Zeigerarten quantifiziert. Verwendet wurden die Zeigerarten für nach §30 Bundesnaturschutzgesetz in Verbindung mit Art. 23 Bayerisches Naturschutzgesetz geschützte „Grünlandbestände höherer Gebirgslagen“ (Tafel 32) und „Grünlandbestände auf Mager- und Trockenstandorten mittlerer und tieferer Lagen“ (Tafeln 33 und 34). Zu allen vorkommenden Pflanzenarten wurde die Einstufung ihrer Gefährdung nach der bayerischen Roten Liste (Klotz et al. 2024) abgefragt.

Die Artenvielfalt wurde auf der Maßstabsebene der einzelnen Vegetationsaufnahme (alpha-Diversität: Artenzahl pro 9 m^2 -Plot) bestimmt. Die Größe der Artenpools an Gefäßpflanzen der acht Almen (Gamma-Diversität Plot, γ plot) wurden durch Berechnung von Artenakkumulationskurven der jeweils 13 Aufnahmen in PC-Ord (McCune & Mefford 2018) ermittelt und mit den Gesamtarthenzahlen der floristischen Kartierung (γ BBG) verglichen. Die interne floristische Heterogenität der Almen (Beta-Diversität) wurde als Steigung der durch Logarithmierung linearisierten Artenakkumulationskurve berechnet.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Ökologische Gradienten (Ordination)

Die lokale NMDS (finaler Stresswert der zweidimensionalen Lösung: 14,2) in Abbildung 2 zeigt, dass der Artenzusammensetzung der untersuchten Almweiden zwei Hauptgradienten zugrunde liegen: Die erste Achse ordnet die Aufnahmen nach ansteigender mittlerer Reaktionszahl und absteigender Feuchtezahl. Entlang dieser Achse nehmen pH-Wert ($r = 0,90$) und Basensättigung ($r = 0,81$) deutlich zu. Die zweite Achse ordnet die Aufnahmen nach ansteigendem mittlerem Futterwert und Nährstoffzahl und korreliert positiv mit der Temperaturzahl.

Die regionale NMDS der Referenzdaten ergibt eine dreidimensionale Lösung (finaler Stresswert: 13,4). Achse 1 korreliert mit der mittleren Nährstoffzahl und dem Phosphorgehalt, Achse 2 mit Feuchte- und Reaktionszahl sowie pH-Wert, Achse 3 mit Temperaturzahl und Meereshöhe.

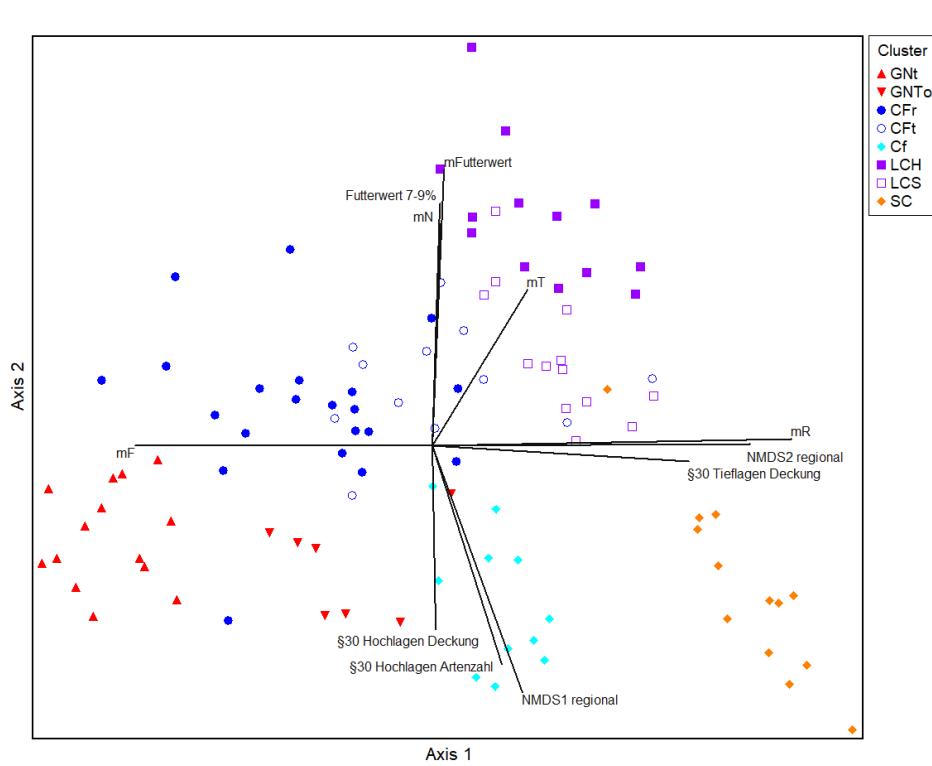


Abb. 2. Ordination (Nichtmetrische multidimensionale Skalierung) der 104 Vegetationsaufnahmen (im Text als „lokale Ordination“ bezeichnet) nach ihrer Artenzusammensetzung (wurzeltransformierte Deckung, Soerensen-Distanz); Vektoren (Joint Plot) zeigen die Korrelation der Ellenberg-Zeigerwerte für Reaktion (mR), Feuchte (mF), Makronährstoffe (mN) und Temperatur (mT) sowie des mittleren Futterwertes der Pflanzenarten mit den Ordinationsachsen. Vegetationstypen:

GNt: *Geo montani-Nardetum typicum*

GNTo: *Geo montani-Nardetum, Tofieldia calyculata*-Ausbildung

CFr: *Crepidophyllum rubrae rumicetosum arifolii*

CFT: *Crepidophyllum rubrae typicum*

Cf: *Caricetum ferrugineae*

LCH: *Lolio-Cynosuretum* der Höllenbach-Alm

LCS: *Lolio-Cynosuretum* der Salet-Alm

SC: *Seslerio-Caricetum sempervirentis silenetosum*

Fig. 2. Ordination (Non-metric Multidimensional Scaling) of 104 vegetation plots (designated as “local ordination” in text) based on their species composition (square-root-transformed cover, Soerensen-distance); vectors (joint plot) represent correlations of ordination axes with Ellenberg indicator values for soil reaction (mR), moisture (mF), macronutrients (mN) and temperature (mT) as well as with average feed value (mFutterwert), cover proportion of high feed value plants (Anteil Futterwert 7–9,) cover of Poaceae, herb cover (Deckung Krautige), vascular plant species richness (Artenzahl), species richness of indicator plants of protected biotopes (Artenzahl §30), proportional richness of indicator plants of protected biotopes (Anteil §30-Zeiger), Axes 1 and 2 of NMDS with 772 reference plots (NMDS_{regional}).

Die Ellenberg-Zeigerwerte korrelieren eng mit den an je einem Bodenprofil pro Almweide gemessenen chemischen Parametern: So ist die mittlere Reaktionszahl mit $r = 0,88$ mit dem pH-Wert sowie mit $r = 0,81$ mit der Basensättigung verbunden. Die mittlere Nährstoffzahl ($r = -0,64$) und der mittlere Futterwert ($r = -0,72$) sind negativ mit dem C/N-Verhältnis korreliert.

NMDS-Achse 1 korreliert positiv mit der Deckung von Zeigerarten nach §30 geschützter Grünlandbiotope tieferer Lagen ($r = 0,80$). Diese Bewertung beruht auf dem Vorkommen von 96 Zeigerarten, von denen folgende auf den untersuchten Almweiden höchste Deckung und Stetigkeit besitzen: *Nardus stricta*, *Anthoxanthum odoratum* agg., *Leontodon hispidus*, *Festuca rubra* agg., *Carex sempervirens*, *Potentilla erecta*, *Centaurea jacea* agg., *Carex flacca* und *Molinia caerulea* s. str.

NMDS-Achse 2 korreliert positiv mit der Deckung hochwertiger Futterpflanzen ($r = 0,77$) und negativ mit der Artenzahl ($r = -0,73$) und Deckung ($r = -0,67$) von Zeigern geschützter Grünlandbiotope höherer Lagen. Die Korrelationen mit der Gesamtartenzahl und der Anzahl von Zeigerarten nach §30 geschützter Grünlandbiotope tieferer Lagen mit den beiden Achsen sind dagegen schwach ($r < |0,3|$).

Die mittleren gewichteten Futterwerte korrelieren stark negativ mit der Deckung der Zeigerarten nach §30 geschützter Grünlandbiotope höherer Lagen ($r = -0,72$). Die Korrelation besteht, mit Ausnahme von GNt, auch innerhalb der Cluster, wenn auch mit deutlich unterschiedlichen Steigungen (Abb. 5f). Folgende von insgesamt 51 Zeigerarten fallen auf Grund ihrer Deckung und Stetigkeit bei dieser Naturschutzbewertung am stärksten ins Gewicht: *Nardus stricta*, *Erica carnea*, *Carex sempervirens*, *Sesleria caerulea*, *Thymus praecox*, *Potentilla aurea*, *Trollius europaeus*, *Luzula campestris* agg. und *Helianthemum nummularium* s. l. Dem stehen folgende Arten mit hohen Futterwerten gegenüber: *Festuca pratensis* s. l., *Lolium perenne*, *Phleum pratense* (Futterwert 9), *Lotus corniculatus*, *Agrostis gigantea*, *Dactylis glomerata* (8), *Cynosurus cristatus*, *Festuca rubra* agg. und *Lathyrus pratensis* (7).

Die Achsen dieser lokalen Ordination stimmen in hohem Maße mit denen des Vergleichsdatensatzes (regionale Ordination) überein: Eine standardisierte Mantel-Statistik von 0,92 bestätigt die hochsignifikante ($p < 0,0001$) Übereinstimmung zwischen den Koordinaten beider Ordinationen. Die Korrelation der lokalen Achse 1 mit der regionalen Achse 2 beträgt $r = 0,89$, die von Achse 2 mit Achse 1 beträgt $r = 0,78$. Diese Übereinstimmung erlaubt eine direkte ökologische Interpretation an Hand der in den Referenzflächen gemessenen Bodenparameter: Achse 1 des Vergleichsdatensatzes ist negativ mit der mittleren Nährstoffzahl ($r = -0,84$), dem gemessenen P-Gehalt ($r = -0,53$) und C/N-Verhältnis ($r = 0,41$) korreliert und somit als Gradient des Makronährstoffangebots charakterisiert, entspricht also Achse 2 der lokalen Ordination. Achse 2 der regionalen Ordination korreliert eng mit der mittleren Feuchtezahl ($r = -0,62$), der Kationenaustauschkapazität ($r = 0,57$) dem pH-Wert ($r = 0,54$) und der mittleren Reaktionszahl ($r = 0,46$) und erscheint als kombinierter Gradient abnehmender Feuchte und Bodenversauerung, womit sie der Achse 1 der lokalen NMDS entspricht.

4.2 Vegetationstypen (Klassifikation)

Die Vegetation ist innerhalb der acht Almen hochsignifikant ähnlicher als zwischen den Almen (MRPP: $T = -49,86$, $p < 0,001$). Die floristische Homogenität nimmt in der Reihenfolge Hals (mittlere Distanz 0,41) > Salet (0,42) > Gotzen (0,43) > Krautkaser (0,45) > Regen (0,48) > Mittereis (0,52) > Höllenbach (0,53) > Lattenberg (0,54) ab.

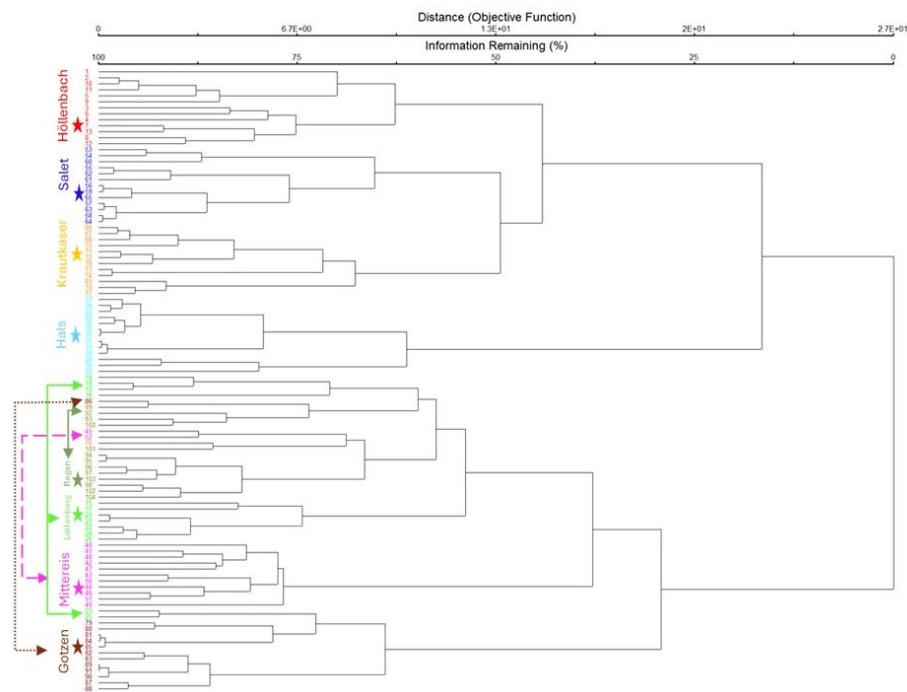


Abb. 3. Dendrogramm der Ward-Clusterung (wurzeltransformierte Deckung; Soerensen-Index); die untersuchten Almen sind farblich abgetrennt; die Aufnahme der unbeweideten Nullfläche ist jeweils durch einen farbigen Pfeil gekennzeichnet.

Fig. 3. Dendrogram of the Ward-clustering (square-root-transformed cover, Soerensen-distance); the investigated mountain pastures are designated by colours; arrows indicate ungrazed control plots.

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der Clusteranalyse. Die Aufnahmen von den tief gelegenen Almen Höllenbach und Salet sowie vom Krautkaser bilden homogene, untereinander ähnliche Cluster; die Aufnahmen von der Hals-Alm sind als eigenständiger Cluster abgetrennt; unter den hoch gelegenen Almen bilden die Aufnahmen von Regen, Lattenberg und Mittereis Mischcluster; die Gotzen ist mit zwei besonders azidophytischen Aufnahmen vom Lattenberg deutlich abgetrennt. Als besonders eigenständig erscheinen im Dendrogramm die Hals-, die Gotzen- und die Mittereis-Alm. Die acht numerischen Cluster sind floristisch geringfügig schwächer gegeneinander differenziert als die Almen (MRPP: $T = -49,67, p < 0,001$).

Borstgrastriften (*Geo-Nardetum*) (Cluster GNt und GNT₀; Beilage S1: Aufn. 81–17)

Die als *Geo montani-Nardetum strictae* Lüdi 1948 klassifizierten, von *Nardus stricta* dominierten Almweiden zeichnen sich im Gebiet durch *Arnica montana*, *Polytrichastrum alpinum* und *Pseudorchis albida* aus. Die Nährstoffzahlen (Abb. 4) sind ähnlich niedrig wie in den Kalk-Magerrasen. Nach Lüth et al. (2011b) haben Borstgrasrasen als häufigster Graslandtyp der Ostalpen ihren Verbreitungsschwerpunkt auf Silikatgesteinen der Zwischen- und Inneralpen. Die Kennarten *Homogyne alpina*, *Potentilla aurea*, *Gentiana pannonica* und *Ajuga pyramidalis* verankern die Berchtesgadener Vorkommen im alpinen Verband *Nardion* (vgl. Oberdorfer 1978), den Mucina et al. (2016) der Klasse *Juncetea trifidi* zuordnen.

Cluster GNt (“Typische Hochmontane Borstgras-Trift”, *Geo-Nardetum*, typische Ausbildung) vereint Aufnahmen bodensaurer Standorte auf Gotzen- und Lattenberg-Alm. Abbildung 7a zeigt den Frühjahrsaspekt auf der Gotzen-Alm. Dominant sind die hochsteten Gräser *Nardus stricta*, *Anthoxanthum odoratum*, *Luzula sylvatica* (Trennart, im Folgenden TA) und *Deschampsia cespitosa* neben den ebenfalls hochsteten Kräutern *Veratrum album* und *Potentilla erecta* sowie der örtlich dominanten *Vaccinium myrtillus*. Weitere hochstete Arten mit geringerer Deckung sind *Carex nigra* (TA), *Festuca rubra* agg. und *Carex pallescens*. Trennarten mit geringerer Stetigkeit sind *Carex pilulifera*, *Hieracium aurantiacum* und *Carex leporina* sowie die Laubmose *Pleurozium schreberi*, *Polytrichastrum alpinum* und *Leucobryum glaucum*. Lüth et al. (2011a) stellen Borstgrasrasen mit Nährstoffzeigern wie *Festuca rubra* und *Anthoxanthum odoratum* in die Subassoziation *trifolietosum pratensis*. Das stete Vorkommen von Niedermoorpflanzen wie *Willemetia stipitata* und *Carex nigra* bringt relativ hohe Feuchtezahlen mit sich.

In der Kontrollparzelle auf der Gotzen-Alm wurde ein pH-Wert von 3,4, eine Basensättigung von 44,7 % und ein C/N-Verhältnis von 16,8 gemessen – es handelt sich um den am stärksten versauerten Almweidetyp im Nationalpark.

Trotz ihrer vergleichsweise geringen Artenvielfalt (Tab. 3) fallen Borstgrasrasen unter den doppelten Schutz von FFH-Richtlinie (LRT 6230) und nationalem gesetzlichem Biotopschutz. Gegen die Befürchtung, agronomische Verbesserungen könnten zu Lasten ihres Naturschutzwertes gehen, spricht die lokal gültige positive Korrelation zwischen Futterwert und Deckungsanteil der Biotopzeiger (Abb. 5f).

Alle Aufnahmen des Clusters GNT0 („Hochmontane Borstgras-Trift mit Kelch-Simsenlilie“, *Geo-Nardetum*, *Tofieldia calyculata*-Ausbildung) stammen von den unterhalb der Lattenberg-Alm gelegenen Eheblößwiesen (Abb. 7b). Dominante Arten sind die hochsteten *Nardus stricta* (Trennart), *Alchemilla vulgaris* agg., *Festuca rubra* agg. und *Anthoxanthum odoratum* neben *Thuidium assimile*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa annua* und *Veratrum album*. Hochstet sind außerdem *Leontodon hispidus*, *Potentilla erecta*, *Carex pallescens*, *Soldanella alpina*, *Luzula campestris* agg., *Campanula scheuchzeri*, *Aster bellidifolium* (TA), *Trollius europaeus* (TA), *Gentiana verna*, *Selaginella selaginoides* (TA) und *Tofieldia calyculata* (TA). Weitere Trennarten sind *Calluna vulgaris*, *Gentiana pannonica*, *Geum montanum*, *Hieracium pilosella*, *Pinguicula alpina* und *Vaccinium vitis-idaea*. Dieser Vegetationstyp weist eine eigentümliche Mischung von extremen Säurezeigern und Arten der Kalkquellmoore auf, weswegen man ihn der Subassoziation *seslerietosum* kalkreicher Böden im Sinne von Lüth et al. (2011a) zuordnen kann. Beiden Trennartengruppen sind extrem geringe Ansprüche an die Makronährstoffversorgung gemeinsam.

In der Kontrollparzelle auf der Lattenberg-Alm wurde mit pH 3,9 und Basensättigung 47,9 % eine etwas geringere Versauerung, mit einem C/N-Verhältnis von 12,4 eine günstigere Nährstoffversorgung als im Cluster GNt festgestellt.

Laut geologischer Karte ist das in das Karstplateau aus Dachsteinkalk eingebettete Dolinenfeld mit kreidezeitlichen Gosau-Schichten bedeckt, was das kleinräumige Mosaik aus Borstgrasrasen und alpinen Kalkmagerrasen erklärt (Abb. 7b). Daraus ergeben sich neben einer mittleren Alpha-Diversität hohe Artenzahlen und Anteile von naturschutzfachlichen Biotopzeigerpflanzen sowie Spitzenwerte der Gamma-Diversität (Abb. 5, Tab. 3).

Milchkraut-Weide (*Crepidio-Festucetum*) (Cluster CFr und CFt, S1: Aufn. 86–76)

Die als *Crepidio aureae-Festucetum commutatae* Lüdi 1948 klassifizierten Vegetationsarten heben sich durch die anspruchsvollen Kräuter *Achillea millefolium* und *Plantago lanceolata* sowie durch das Süßgras *Cynosurus cristatus* und das Laubmoos *Thuidium assimile* gegen die oligotrophen Borstgrasstriften ab. Trotz der besseren Nährstoffversorgung (siehe auch Abb. 4) ist im größeren Teil der Aufnahmen *Nardus stricta* mit einer mittleren Deckung von 17 % das dominante Gras. Die Verbandskennarten *Poa alpina*, *Phleum rhaeticum* und *Plantago atrata* verankern den Vegetationstyp im *Poion alpinae* der Hochlagen (Oberdorfer 1983) und differenzieren gegen das *Cynosurion* (*Lolio-Cynosuretum*) tieferer Lagen.

Die in Cluster CFr (*Crepidio-Festucetum rumicetosum arifolii*) vereinten die Aufnahmen von der Regen-Alm (Abb. 7c) mit den besser nährstoffversorgten der Lattenberg-Alm und einzelnen Aufnahmen von Mittereis-, Gotzen- und Krautkaser-Alm (s. Abb. 4 mN). Dominante Arten sind neben *Nardus* die stete *Alchemilla vulgaris* agg., *Deschampsia cespitosa* (TA), *Thuidium assimile*, die hochstete *Festuca rubra* agg., *Poa annua* und *Veratrum album*. Hochstet sind außerdem *Trifolium pratense*, *Ranunculus acris* (TA), *Trifolium repens*, *Carex pallescens*, *Potentilla erecta* und *Anthoxanthum odoratum*. Trennarten geringerer Stetigkeit sind *Rumex alpinus* und *Botrychium lunaria* sowie die Lauboose *Brachythecium salebrosum*, *Atrichum undulatum* und *Homalothecium lutescens*. Von den zur selben Assoziation gehörenden Almweiden des Cluster CFt unterscheidet sich dieser Vegetationstyp durch die Säurezeiger *Carex leporina*, *Homogyne alpina*, *Luzula sylvatica* und *Vaccinium myrtillus*.

Auf der Regen-Alm wurde mit einem pH-Wert von 3,5 und einer Basensättigung von 38,9 % vergleichbar saure Bedingungen wie auf der Gotzen-Alm gemessen, wobei das C/N-Verhältnis mit 11,6 ein höheres Nährstoffangebot belegt. Bei diesem Vegetationstyp liegen Alpha-Diversität und Ausstattung mit Biotopzeigern im unteren, Futterwerte im oberen Mittelfeld (Abb. 4–5, Tab. 3).

Der auf der Krautkaser-Alm vorgefundene Cluster CFt („typische Milchkraut-Weide“, *Crepidio-Festucetum typicum*, Abb. 7d) wird dominiert von den hochsteten Arten *Cynosurus cristatus*, *Centaurea jacea* und dem Laubmoos *Thuidium assimile* sowie von *Dactylis glomerata*, *Anthoxanthum odoratum* und *Leontodon hispidus*. Weitere hochstete Arten geringerer Deckung sind *Festuca rubra* agg. und *Achillea millefolium*. Auch dieser Typ weist teilweise hohe Deckungen von *Nardus stricta* auf, bei gleichzeitigem Zurücktreten von anderen Säurezeigern (höhere mR in Abb. 4).

Auf der Krautkaser-Alm wurde mit pH 4,1 und Basensättigung 73,2 % eine geringere Versauerung als in CFr bei einem vergleichbaren C/N-Verhältnis von 11,03 festgestellt.

Diese Almweiden weisen relativ hohe Futterwerte und Alpha-Diversität auf (Abb. 4, Tab. 3). Unter den Biotopzeigern sind die der Tief- etwas stärker vertreten als die der Hochlagen (Abb. 5).

Rostseggen-Halde (*Caricetum ferrugineae*) (Cluster Cf, S1: Aufn. 47–40)

Alle Aufnahmen des Clusters Cf („Rostseggen-Halde mit Wald-Hainsime“, *Caricetum ferrugineae* Lüdi 1921, *Luzula sylvatica*-Ausbildung) wurden auf der Mittereis-Alm angefertigt (Abb. 7e). Hochstete dominante Arten sind *Alchemilla vulgaris* agg., *Luzula sylvatica* und *Potentilla erecta* neben der Waldart *Aposeris foetida* und den Laubmoosen *Brachythecium tauriscorum*, *Thuidium assimile* und *Rhytidiodelphus triquetrus*. Hochstete Arten mit geringer Deckung sind *Veratrum album*, *Trollius europaeus*, *Carex ornithopoda*

und *Polygala alpestris*. Als Kenn- und Trennarten des Verbands *Caricion ferruginea* differenzieren *Carex ferruginea*, *Trollius europaeus*, *Hypericum maculatum* und *Geranium sylvaticum* gegen den Verband *Seslerion* (*Seslerio-Caricetum*). Die Bestände der Mittereis-Alm gehören auf Grund der steten Weidezeiger *Festuca rubra* agg., *Agrostis capillaris* und *Alchemilla vulgaris* nach Springer (1997) zur Subassoziation *C.-f. trifolietosum*.

In der Kontrollparzelle auf der Mittereis-Alm wurden pH 5,0, Basensättigung 99 % und ein C/N-Verhältnis von 11,3 gemessen.

Die Vegetation der Mittereis-Alm stellt kein typisches Wirtschaftsgrünland dar, sondern ist stark durchsetzt mit Waldarten und Pflanzen natürlicher Lawinenbahnen, die hier einerseits als Zeiger von Unterbeweidung und Brache gedeutet werden können. Ein Teil der Aufnahmen befindet sich auf jüngeren, im Zuge der Weiderechtsbereinigung durchgeführten Rodungsflächen. Solche Weiden könnten typisch für die temporären Maisalmen auf den Kahlschlägen der Salinenzeit gewesen sein. Alpha- und Gamma-Diversität erreichen hier, allerdings auf Kosten des Futterwertes, Spitzenwerte (Abb. 4, Tab. 3).

Mager-Fettweide (*Lolio-Cynosuretum*) (Cluster LCH und LCS, S1: Aufn. 10–53)

Die als *Lolio perennis-Cynosuretum cristati* Tüxen 1937 gefassten Vegetationstypen umfassen die Almweiden tieferer Lagen auf der Höllenbach- und Salet-Alm (s. hoher Wert für mT in Abb. 4). Kennzeichnend sind die Verbandskennarten des *Cynosurion Phleum pratense*, *Scorzoneroides autumnalis*, *Plantago major* und *Bellis perennis* neben *Polygala amara* agg. und *Medicago lupulina* bei gleichzeitigem Fehlen von Säurezeigern und Hochlagen-Arten wie *Poa alpina* und *Rumex arifolius*. Springer (1997) bezeichnet diese Assoziation als *Festuco-Cynosuretum*.

Die in Cluster LCH vereinten Aufnahmen (*Scorzoneroides autumnalis*-Lokalausbildung) wurden allesamt auf der Höllenbach-Alm erhoben (Abb. 7f). Dominante Arten sind die hochsteten Arten *Leontodon hispidus*, *Anthoxanthum odoratum* agg. und *Festuca rubra* agg. sowie *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens*, *T. pratense* und *Crepis aurea*. Hochstete Arten mit geringerer Deckung sind *Bellis perennis*, *Prunella vulgaris*, *Veronica officinalis* und *Galium mollugo* agg. Der Cluster hebt sich durch eine große Zahl signifikanter Trennarten wie *Bellis perennis*, *Campanula rotundifolia*, *Erigeron annuus*, *Fragaria vesca*, *Hypochaeris radicata*, *Scorzoneroides autumnalis* und das Laubmoos *Pseudoscleropodium purum* deutlich ab. Vorkommen von *Festuca pratensis* und *Poa pratensis* weisen nach Springer (1997) auf den wirtschaftlichen Wert der Weideflächen hin, der jedoch durch das invasive Vorkommen des Neophyten *Erigeron annus* beeinträchtigt wird. Mit den höchsten Futterwerten (Abb. 4) und einem vor allem auf der Deckung von Biotopzeigern der Tief-lagen beruhenden Naturschutzwert (Abb. 5) verkörpert die Höllenbach-Alm den Typus des Niederlegers.

Auf der Kontrollparzelle wurden pH 6,5, Basensättigung 99,3 % und ein C/N-Verhältnis von 13,6 gemessen.

Der Cluster LCS wurde ausschließlich auf der Salet-Alm aufgenommen (*Holcus lanatus*-Lokalausbildung, Abb. 7g) und zeichnet sich durch Dominanz der hochsteten Arten *Anthoxanthum odoratum* und *Pimpinella major* neben *Leontodon hispidus*, *Trifolium pratense* und *Plantago media* sowie die Laubmoose *Rhytidadelphus triquetrus* und *Hylocomium splendens* aus. Weitere hochstete Arten sind *Centaurea jacea*, *Plantago lanceolata*, *Ranunculus montanus*, *Dactylis glomerata*, *Prunella vulgaris* und *Carex flacca*. In den Weiderasen der Salet-Alm fällt ein höherer Anteil von Arten der Mähwiesen

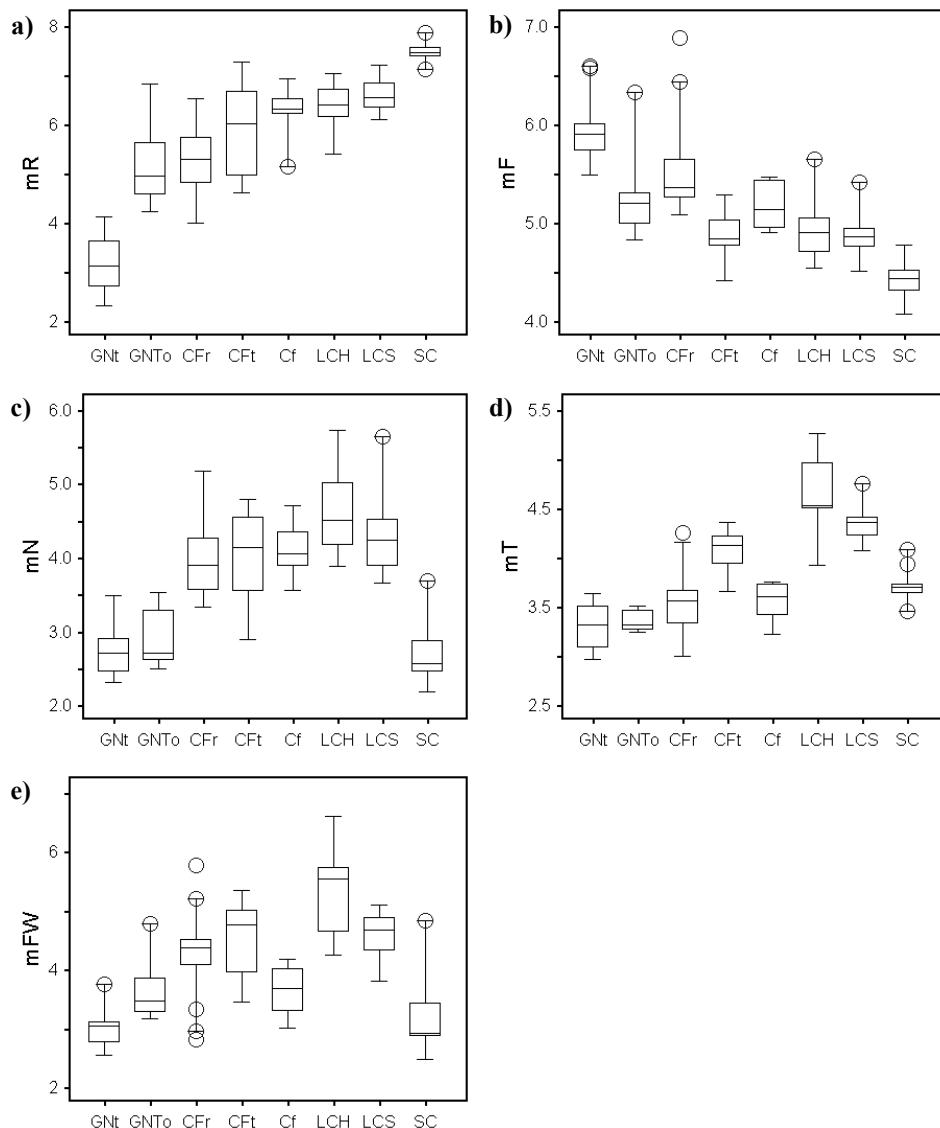


Abb. 4. Verteilung der mittleren Ellenberg-Zeigerwerte für Reaktion, Feuchte, Nährstoffe und Temperatur sowie der mittleren Futterwerte nach Vegetationstypen; Abkürzungen siehe Abbildung 2.

Fig. 4. Boxplots showing the distribution of average Ellenberg indicator values for reaction (mR), moisture (mF), macronutrients (mN) and temperature (mT); for abbreviations see Figure 2.

(*Geranio-Trisetion*) wie *Rhinanthus minor*, *Heracleum sphondylium* und *Holcus lanatus* ins Auge. Eine frühere Mahdnutzung dieser tiefst gelegenen Grünlandflächen des Nationalparks erscheint plausibel. Die Futterwerte der Höllentobel-Alm werden nicht erreicht,

Auf der Kontrollparzelle wurden pH 5,8, Basensättigung 99,4 % und ein C/N-Verhältnis von 10,6 gemessen.

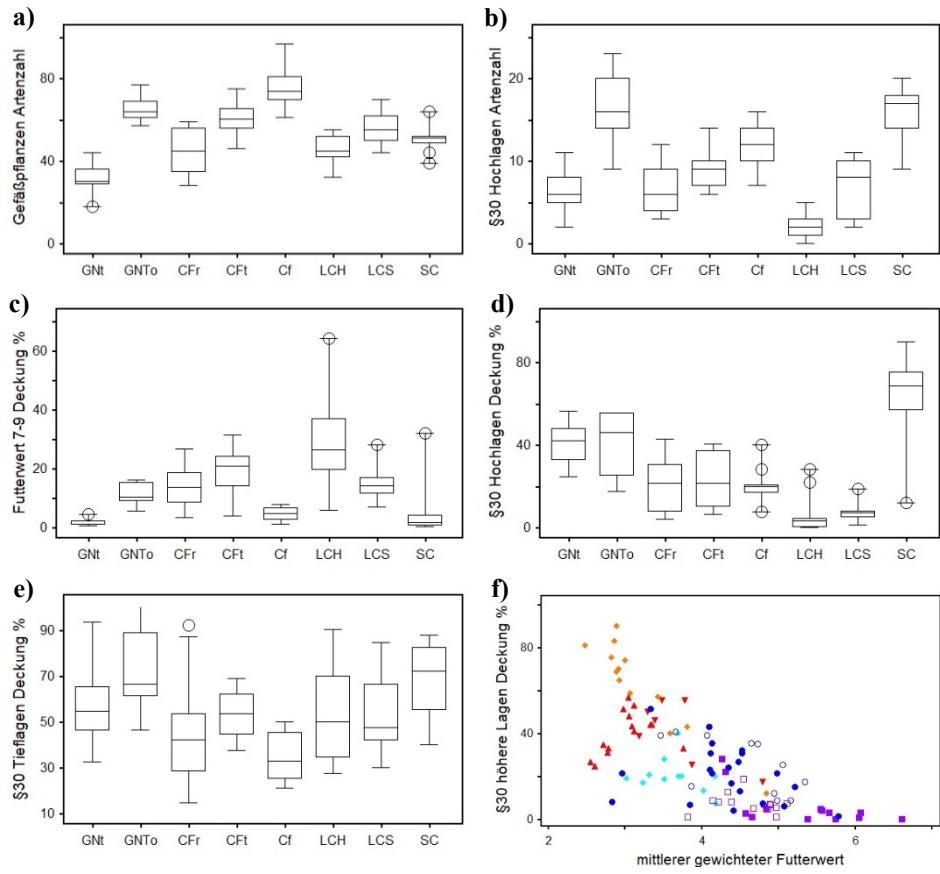


Abb. 5. Verteilung der Artenzahlen pro 9 m²-Plot (alpha-Diversität): alle Gefäßpflanzen, Zeigerarten §30-Grünland höherer Lagen; Deckungssummen: Gefäßpflanzen mit hohem Futterwert, Zeigerarten §30-Grünland höherer Lagen und tiefer bis mittlerer Lagen; Beziehung zwischen mittlerem Futterwert und §30-Zeigerarten; Abkürzungen und Symbole siehe Abbildung 2.

Fig. 5. Distribution of richness per 9 m² plot (alpha-diversity): all vascular plants, conservation indicators of high and low elevation grassland; cover: species of high feed value (7–9), indicators of high and low elevation grassland biotopes across vegetation types; relationship between mean weighted feed value and cover of conservation indicators; for abbreviations and symbols see Figure 2.

Blaugras-Horstseggen-Rasen (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*) (Cluster CS)

Die Aufnahmen des Cluster CS (*Seslerio-Caricetum sempervirentis* Beger 1922 *sileneotosum vulgaris* Rösler 1997) wurden allesamt auf der Hals-Alm erhoben (Abb. 7h). Mit niedrigen Nährstoff- und Feuchte- bei gleichzeitig hohen Reaktionszahlen (Abb. 4) präsentieren sich diese Almweiden als alpine Kalkmagerrasen. Dominant sind *Erica carnea* (Trennart), die hochsteten Graminoiden *Carex sempervirens* (TA), *Molinia caerulea* und *Sesleria caerulea* sowie *Laserpitium siler*, *Buphthalmum salicifolium* (TA) und *Thuidium assimile*. Weitere hochstete Arten sind *Potentilla erecta*, *Polygala chamaebuxus*, *Helianthemum nummularium* agg., *Ranunculus polyanthemos* subsp. *nemorosus*, *Thymus praecox* und *Lotus corniculatus*. Trennarten geringerer Stetigkeit sind *Anthyllis vulneraria*, *Gymnadenia conopsea*, *Crepis alpestris*, *Laserpitium latifolium* und *Globularia cordifolia*.

Der Vegetationstyp ist mit *Dryas octopetala* und *Androsace chamaejasme* schwach mit Verbandskennarten ausgestattet.

Auf der Kontrollparzelle wurden pH 7,0, Basensättigung 99,8 % und ein C/N-Verhältnis von 13,2 gemessen.

Bei mittlerer Alpha-Diversität (Abb. 5), ähnlich geringem Futterwert wie in Borstgrasrasen und hohen Deckungsanteilen alpiner Biotopzeiger entspricht der Vegetationstyp dem Typ des alpinen Kalkmagerrasens der Biotopkartierung und dem LRT 6170 der FFH-Richtlinie.

4.3 Vergleich der untersuchten Almen

Die untersuchten Almweiden unterscheiden sich deutlich in ihrer Artenzusammensetzung und den durch die Ellenberg-Zeigerwerte und Bodenanalysen indizierten Umweltbedingungen. So bilden die auf anstehendem Grundgestein (vgl. Tab. 1) stockende Gotzen- (Ruhpolding-Formation, sauer, feucht) und Hals-Alm (Hauptdolomit, kalkreich, trocken) gegensätzliche Pole, zwischen denen die auf gemischten Lockergesteinen ausgebildeten Almen Lattenberg und Regen als mäßig saure sowie alle übrigen Almen als mäßig kalkreiche Almstandorte erscheinen. Als saurer und kalkreicher Pol teilen Gotzen- und Hals-Alm ihren Charakter als Magerweiden mit geringer Nährstoffzahl und geringem Futterwert. Nährstoffversorgung und Futterwerte sind auf den beiden tief gelegenen Almen Höllenbach und Salet am höchsten.

Mit durchschnittlich 60 Gefäßpflanzenarten weisen Mittereis- und Salet-Alm die höchste Artendichte pro 9 m²-Plot (alpha-Diversität) auf (Tab. 3). Ähnliche Spitzenwerte fand Rösler (1997) in kalkreichen Seslerietea-Rasen der Bayerischen Alpen. Diese Werte liegen nach Biurrun et al. (2021) deutlich über dem Interquartilsbereich paläarktischer Grasländer. Die Gefäßpflanzenvielfalt ist auf den Berchtesgadener Almweiden deutlich höher als in vergleichbaren Vegetationstypen des südlich angrenzenden Österreich und Südtirol. Lediglich die typischen Borstgrasrasen zeigen sich artenärmer als bei Lüth et al. (2011b), was auf einen kleineren Artenpool der azidophytischen Graslandpflanzen in den Kalkalpen zurückzuführen sein könnte.

Auch bei allen anderen Almweiden ist die Artendichte mit 40 bis 53 bemerkenswert hoch, mit Ausnahme der Gotzen-Alm, die sich mit 24 Arten pro Aufnahme am unteren Rand des alpinen und gemäßigten Vergleichskollektivs einreihrt. Die Artenzahlen sind im Schnitt etwas höher als die an der nach Jahrzehnte langer Brache wieder beweideten Brunnenkopfalm im Ammergebirge (Fütterer & Ewald 2019).

Hinsichtlich Heterogenität (beta-Diversität) zwischen den Aufnahmen und Gesamtartenzahl (gamma-Diversität, Tab. 3, Abb. 6) erweist sich die Lattenberg-Alm, auf der auf unterschiedlichen Ausgangsgesteinen (Tab. 1) drei unterschiedliche Rasengesellschaften erfasst wurden, als Spitzenreiter. Dagegen sind die geologisch einheitlichen, naturschutzfachlich ebenfalls sehr wertvollen Almweiden der Gotzen-Alm und Hals-Alm deutlich homogener und besitzen kleinere Artenpools. Bemerkenswert ist die hohe beta- und gamma-Diversität der Mittereis-Alm.

In den Vegetationsaufnahmen der Almweiden wurden insgesamt nur fünf Rote-Liste-Arten der Gefährdungsstufe 3 für den Bezugsraum Alpen nachgewiesen, wobei *Crocus albiflorus* verbreitet, *Pseudorchis albida* fast nur in Borstgrasrasen und *Carex ericetorum*, *Cuscuta epithymum* und *Dianthus superbus* jeweils nur in einer Aufnahme angetroffen wurden. 15 Pflanzenarten werden auf der Vorwarnliste geführt, die häufigsten davon sind *Dactylorhiza maculata* agg., *Arnica montana*, *Crepis alpestris*, *Ajuga pyramidalis* und

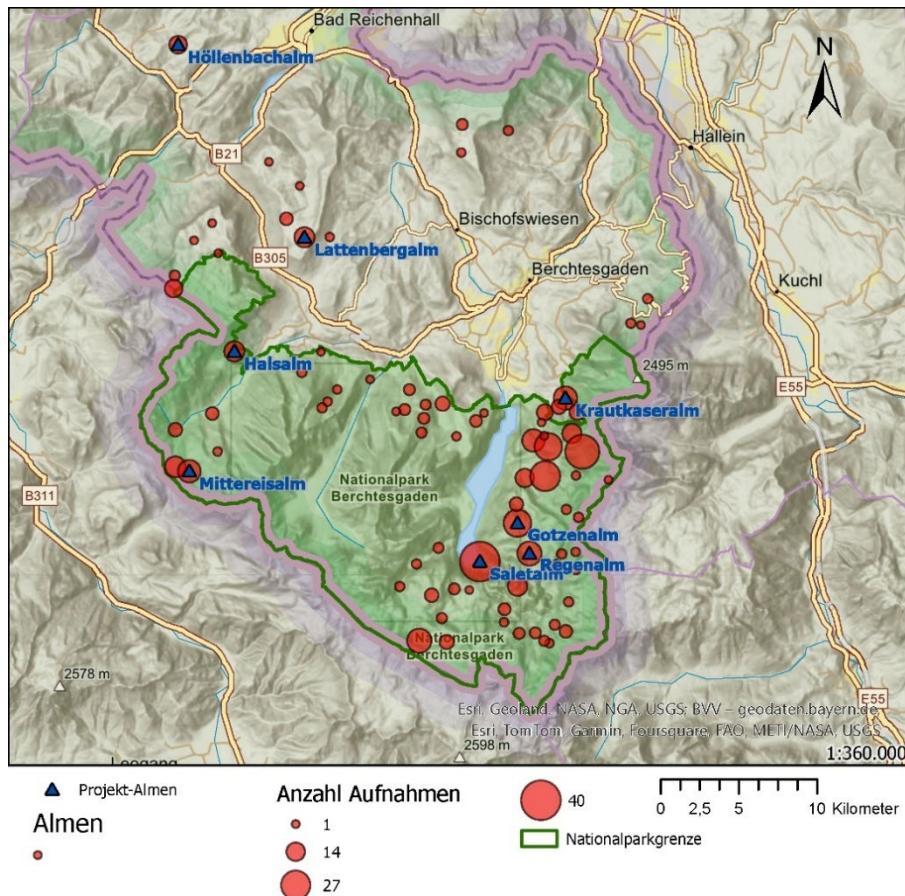


Abb. 6. Verbreitung der Vegetationstypen (Assoziationen) auf den untersuchten Almen; die Größe der Kreise gibt die Gesamtartenzahl an Gefäßpflanzen (gamma-Diversität) der Almen wieder.

Fig. 6. Distribution of vegetation types (associations) on the investigated mountain pastures; circle size represents the total richness (gamma-diversity) of vascular plant species per mountain pasture.

Antennaria dioica. Die große Mehrheit der Pflanzenarten, einschließlich der Biotopzeiger (s. u.) gilt dagegen in den Bayerischen Alpen als ungefährdet. Dagegen gelten auffallend viele Pflanzen der Berchtesgadener Almen außerhalb der Alpen als ausgestorben (6), vom Aussterben bedroht (8), stark gefährdet (26), gefährdet (40) oder sind auf der Vorwarnliste (45 Arten) verzeichnet. Rote Liste-Arten erscheinen deswegen für eine naturschutzfachliche Bewertung der Almweiden weniger geeignet.

Doppelten Schutz durch FFH-Richtlinie und Bundesnaturschutzgesetz (§30 in Verbindung mit Art. 23 Bayerisches Naturschutzgesetz) genießen *Seslerio-Caricetum* (LRT 6170) der Hals-Alm und das *Geo montani-Nardetum* (LRT 6230) der Gotzen- und Lattenberg-Alm. Auch die als *Caricetum ferrugineae* klassifizierten Bestände der Mitterreis-Alm gehören zum LRT 6170, obwohl sie 2006, wohl wegen des untypisch hohen Anteils an Waldarten, als nicht näher klassifizierbares „Artenreiches Extensivgrünland“ kartiert wurden. In diesen Vegetationstypen ist der Anteil naturschutzfachlicher Zeigerarten an der Artenzahl am höchsten.

Tabelle 3. Vegetationstypen (Anzahl der Aufnahmen) und Artenreichtum der acht untersuchten Almweiden. α : mittlere Artenzahl pro Aufnahme; y_{plot} : kumulative Artenzahl der 13 Aufnahmen; β : Artenturnover zwischen den Aufnahmen, berechnet als Steigung der durch Logarithmierung von Fläche und Artenzahl linearisierten Artenzahl-Flächenkurve; y_{BBG} : Artenzahl aus der floristischen Transektkartierung durch die Bayerische Botanische Gesellschaft; Abkürzungen der Vegetationstypen siehe Abbildung 2.

Table 3. Vegetation types and species richness of the eight study mountain pastures; α : average species richness per plot; y_{plot} : cumulative species richness of 13 plots, β : species turnover between plots, calculated as the slope of the linear relationship between log area and log species richness; y_{BBG} : species richness based on floristic transect mapping by the Bavarian Botanical Society; for abbreviations see Figure 2.

Cluster	GNt	GNTo	CFa	CFt	Cf	LCH	LCS	SC	α	y_{plot}	β	y_{BBG}
Gotzen-Alm	12		1						24	63	0,51	90
Lattenberg-Alm	2	7	4						48	136	0,63	239
Regen-Alm			13						40	91	0,57	175
Krautkaser-Alm			1	12					53	121	0,47	176
Mittereis-Alm			2		11				60	159	0,50	213
Höllenbach-Alm						13			43	117	0,48	146
Salet-Alm							13		61	151	0,46	198
Hals-Alm								13	49	117	0,43	148

In den dem Wirtschaftsgrünland zugerechneten Vegetationstypen *Crepidio-Festucetum* und *Lolio-Cynosuretum* erreichen naturschutzfachliche Zeigerpflanzen zwar deutlich geringere Anteile. Mit der Novelle des Bayerischen Naturschutzgesetzes von 2011 wurden jedoch auch magere Weiderasen der Verbände *Cynosurion* und *Poion alpinae*, sofern es sich nicht um Einsaaten handelt, zu nach Artikel 23 gesetzlich geschützten Biotopen erklärt, was die Wertschätzung des Naturschutzes für die Almweiden unterstreicht. Somit fallen heute auch sämtliche 2006–2007 als „Artenreiches Extensivgrünland“ und „Alpenmagerweide“ kartierten Bestände unter den gesetzlichen Biotopschutz (LfU Bayern 2020), sind an Hand von Kennarten als artenreiches Grünland identifizierbar und im Rahmen der ergebnisorientierten Grünlandnutzung förderfähig (LfL 2023).

Nächste Seite (next page):

Abb. 7. Fotos der Almweiden; **a**) Gotzen-Alm, **b**) Lattenberg-Alm (spät bestoßene Parzelle), **c**) Regen-Alm, **d**) Krautkaser-Alm, **e**) Mittereis-Alm, **f**) Höllenbach-Alm, **g**) Salet-Alm, **h**) Hals-Alm (Fotos: Verena Styrik, 2002/21).

Fig. 7. Photos of the mountain pastures; **a**) Gotzen-Alm, **b**) Lattenberg-Alm (late turnout parcel), **c**) Regen-Alm, **d**) Krautkaser-Alm, **e**) Mittereis-Alm, **f**) Höllenbach-Alm, **g**) Salet-Alm, **h**) Hals-Alm (Fotos: Verena Styrik, 2002/21).



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)

Die Untersuchung bestätigt jedoch nicht nur den, gemessen am Grünland tiefer und mittlerer Lagen, durchweg hohen Naturschutzwert der Almweiden und ihren Status als nach §30 geschützte Biotope. Die inverse Beziehung zwischen Futterwert und Naturschutzwert (Abb. 5f) verdeutlicht auch den von Ringler (2009) angesprochenen Zielkonflikt zwischen weidewirtschaftlicher Produktion und der Erhaltung der als FFH-Lebensraumtypen (LRT) besonders geschützten gebirgstypischen Borstgras- und alpinen Kalkmagerrasen. Von der Klimawandelanpassung durch frühere Weidezeiten erwarten Befürworter aus den Reihen der Landwirtschaft höhere Futterwerte, während Kritiker aus dem Naturschutz einen Rückgang wertbestimmender Arten befürchten. Weitere Untersuchungen werden zeigen, wie sich angepasste Weidezeiten auf Pflanzen- und Tiergemeinschaften auswirken.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Vegetation der untersuchten Almweiden erweist sich als ausgesprochen vielgestaltig. Das spiegelt einerseits die hohe Artenvielfalt der Flora und die hohe Geodiversität (Höhenstufen Reliefformen, Ausgangsgesteine, Böden) des Gebietes wider. Sieht man von Extremstandorten (Gotzen-, Lattenberg-, Hals-Alm), die sich durch nach FFH-Richtlinie und nach §30 gesetzlich geschützte Biotope auszeichnen, ab, so weisen alle Almweiden einen vergleichbaren, mittleren Nährstoff- und Wasserhaushalt auf. Dass sie sich trotzdem floristisch deutlich unterscheiden („jede Almweide ein Unikat“), muss auf die unterschiedliche naturräumliche Ausstattung und Lage sowie auf die Bewirtschaftung in Vergangenheit und Gegenwart zurückgeführt werden. Ihre bemerkenswerte Vielfalt an Pflanzenarten, darunter stets auch naturschutzfachliche Zeiger- und Kennarten, belegt den Wert der Almweiden für die Biodiversität der Biosphärenregion.

Die experimentelle Forschung ist durch die standörtliche, nutzungsgeschichtliche und floristische Heterogenität vor große Herausforderungen gestellt. Diese Bestandsaufnahme bildet eine wichtige Grundlage für die Auswertung und Interpretation von Ergebnissen künftiger Forschung.

Danksagung

Unser Dank gebührt der Nationalparkverwaltung, Dr. Roland Baier, Hans Maltan, den Almbauerinnen und -bauern, Sennern und Sennerinnen, den Kartiererinnen und Kartierern der Bayerischen Botanischen Gesellschaft.

Beiträge der Autorin/Autoren zum Artikel

J. E., M. H. und S. S. konzipierten die Studie, J. E. leitete Datenanalyse und Textabfassung, V. S. legte die Aufnahmeflächen an, T. K. führte die Vegetationsaufnahmen durch, C. H. bereitete die Daten auf, vereinheitlichte die Nomenklatur und fertigte Karten, B. P., M. H. und S. S. überarbeiteten den Text.

ORCID IDs

Jörg Ewald  <https://orcid.org/0000-0002-2758-9324>
Bernd Panassiti  <https://orcid.org/0000-0002-5899-4584>
Sebastian Seibold  <https://orcid.org/0000-0002-7968-4489>
Verena Styrik  <https://orcid.org/0000-0001-9107-0351>

Beilagen und Anhänge

Beilage S1. Differenzierte Vegetationstabelle.

Supplement S1. Table showing vegetation types and diagnostic species.

Literatur

- Aigner, S., Ressi, W. & Egger, G. (2010): Almpflegemaßnahmen und ihre Wirkung. – Landesumweltanwalt Tirol, 1–52 – URL: https://www.zobodat.at/pdf/GUTNAT_0184_0001-0052.pdf [Zugriff am 19.02.2024].
- Anthelme, F., Villaret, J. & Brun, J. (2007): Shrub encroachment in the Alps gives rise to the convergence of sub-alpine communities on a regional scale. – *Journal of Vegetation Science* 18: 355–362. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02547.x>
- Auer, I., Bohm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R. ... Nieplova, E. (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. – *International Journal of Climatology*. 27: 17–46. <https://doi.org/10.1002/joc.1377>
- Bätzing, W. (2021): Alm- und Alpwirtschaft im Alpenraum: eine interdisziplinäre und internationale Bibliographie (= thematische Alpenbibliographie Nr. 1). 1. Aufl. – Augsburg, context verlag: 348 pp.
- Biurrun, I., Pielech, R., Dembicz, I., Gillet, F., Kozub, Ł-, Marcinò, C. ... Dengler, J. (2021): Benchmarking plant diversity of Palaearctic grasslands and other open habitats. – *Journal of Vegetation Science* 32: e13050. <https://doi.org/10.1111/jvs.13050>
- Briemle, G., Nitsche, S. & Nitsche, L. (2002): Nutzungswertzahlen für Gefäßpflanzen des Grünlandes. – Schriftenreihe für Vegetationskunde 38: 203–225.
- Bülow, G. (1962): Die Sudwälder von Reichenhall. – *Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns* 33: 316.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y. & Müller, F. (2014): Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. – *Landscape Online* 34: 1–32. <https://doi.org/10.3097/LO.201434>
- de Cáceres, M., Legendre, P. & Moretti, M. (2010): Improving indicator species analysis by combining groups of sites. – *Oikos* 119: 1674–1684. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18334.x>
- Doben, K. (1981): 7.4.7 Nördliche Kalkalpen. – In: Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1: 500 000. 3. Aufl. – München: 275–277.
- Dullinger, S., Dirnböck, T. & Grabherr, G. (2003): Patterns of shrub invasion into high mountain grasslands of the Northern Calcareous Alps, Austria. – *Arctic, Antarctic, Alpine Research* 35: 434–441. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2003\)035\[0434:POSIHJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2003)035[0434:POSIHJ]2.0.CO;2)
- Ewald, J. (1997): Die Bergmischwälder der Bayerischen Alpen - Soziologie, Standortbindung und Verbreitung. – *Dissertationes Botanicae* 290: 1–234.
- Ewald, J. (2001): Regionale natürliche Waldzusammensetzung im Wuchsgebiet 15 Bayerische Alpen. – In: Walentowski, H., Gulder, H.-J., Kölling, C., Ewald, J. & Türk, W.: Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. – *LWF-Bericht* 32: 51–81.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V. & Werner, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3., durchges. Aufl. – *Scripta geobotanica* 18: 1–262.
- Fütterer, S. & Ewald, J. (2019): Die Biotopausstattung der Brunnenkopfalm im Ammergebirge zu Beginn der Wiederbeweidung. – *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 89: 83–104.
- Gilck, F. & Poschlod, P. (2019): The origin of alpine farming: A review of archaeological, linguistic and archaeobotanical studies in the Alps. – *Holocene* 29: 1503–1511. <https://doi.org/10.1177/0959683619854511>
- Grabherr, G. & Mucina, L. (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs – Teil II, Natürliche waldfreie Vegetation. – Gustav Fischer, Stuttgart: 523 pp.
- Gueydon, A. (2012): Die Bedeutung der Gemeinschaftsalmen für die Landnutzung im Alpengebiet Bayerns – eine ökonomische und institutionelle Analyse. – Dissertation. TU München: 206 pp. – URL: <https://mediatum.ub.tum.de/?id=1083960> [Zugriff am 19.02.2024].
- Gundermann, E. & Plochmann, R. (1985): Die Waldweide als forstpolitisches Problem im Bergwald. – *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 104: 146–154.

- Hennekens, S.M. & Schaminée, J.H.J. (2001): TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. – *Journal of Vegetation Science* 12: 589–591.
<https://doi.org/10.2307/3237010>
- Jäger, H., Peralter, G., Tappeiner, U. & Tasser, E. (2020): Grassland biomass balance in the European Alps: current and future ecosystem service perspectives. – *Ecosystem Services* 45: 101163.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101163>
- Jansen, F. & Dengler, J. (2008): GermanSL - Eine universelle taxonomische Referenzliste für Vegetationsdatenbanken in Deutschland. – *Tuexenia* 28: 239–253.
- Jonas, T., Rixen, C., Sturm, M. & Stoeckli, V. (2008): How alpine plant growth is linked to snow cover and climate variability. – *Journal of Geophysical Research Biogeosciences* 113(G3): 2007JG000680.
<https://doi.org/10.1029/2007JG000680>
- Klotz, S., Kühn, I. & Durka, W. (2002): BIOLFLOR – Eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland. – *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 38: 1–334.
- Klotz, J., Wagner, A., Fleischmann, A., Ruff, M., Niederbichler, C., Scheuerer, M., Wagner, I., Woschée, R., Gilck, F. & Zehm, A. (2024): Rote Liste Bayern – Farn- und Blütenpflanzen (Gefäßpflanzen – *Tracheophyta*). – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg: 195 pp.
- Kolb, E. (2012): Interaktive Karte der Gesteinseigenschaften: Eine neue Substratgliederung bringt schnelle Übersicht und viele Informationen über die Böden der Bayerischen Alpen. – LWF aktuell 87/2012: 15–17.
- LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2023): Artenreiches Grünland. Ergebnisorientierte Grünlandnutzung. – LfL-Information, Freising: 36 pp.
- LfU Bayern (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (o. J.): BayernAtlas – Digitale Geologische Karte von Bayern 1:25.000 (dGK25) (Layer Umwelt im Bayernatlas). – URL: <https://www.bayernatlas.de> [Zugriff am 04.03.2024].
- LfU Bayern (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2020): Bestimmungsschlüssel für Flächen nach § 30 BNatSchG / Art. 23 BayNatSchG (§ 30-Schlüssel). – URL: https://www.lfu.bayern.de/natur/doc/kartieranleitungen/bestimmungsschluesel_30.pdf [Zugriff am 19.02.2024].
- Lippert, W. (1966): Die Pflanzengesellschaften des Naturschutzgebietes Berchtesgaden. – *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 39: 67–122.
- Lippert, W., Springer, S. & Wunder, H. (1997): Die Farn- und Blütenpflanzen des Nationalparks: kommentierte Artenliste. – *Nationalpark Berchtesgaden – Forschungsberichte*, 37: 1–128.
- Londo, G. (1976): The decimal scale for relevés of permanent quadrats. – *Vegetatio* 33: 61–64.
<https://doi.org/10.1007/BF00055300>
- Lüth, C., Tasser, E., Niedrist, G., Dalla Via, J. & Tappeiner, U. (2011a): Classification of the Sieversio montanae-Nardetum strictae in a cross-section of the Eastern Alps. – *Plant Ecology* 212: 105–126.
<https://doi.org/10.1007/s11258-010-9807-9>
- Lüth, C., Tasser, E., Niedrist, G., Dalla Via, J. & Tappeiner, U. (2011b): Plant communities of mountain grasslands in a broad cross-section of the Eastern Alps. – *Flora* 206: 433–443.
<https://doi.org/10.1016/j.flora.2010.11.007>
- LWF & HSWT (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft & Hochschule Weihenstephan-Triesdorf) (2024): LWF - Waldinformationssystem Nordalpen (WINALP). – URL: <https://www.fovgis.bayern.de/winalp/> [Zugriff am 01.03.2024].
- Magnus, K. (1915): Die Vegetationsverhältnisse des Pflanzenschonbezirkes bei Berchtesgaden. – *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft*: 299–585.
- McCune, B. & Mefford, M.J. (2018): PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. – Wild Blueberry Media, LLC.
- Meynen, E. & Schmithüsen, J. (1953): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, Band 1. – Verlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen: 608 pp.
- Mucina, L., Bültmann, H., Dierßen, K., Theurillat, J.-P., Raus, T., Čarni, A., ... Tichý, L. (2016): Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. – *Applied Vegetation Science* 19: 3–264. <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>
- Mucina, L. & Grabherr, G. & Ellmauer, T. (Hrsg.) (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs - Teil I, Anthropogene Vegetation. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 578 pp.
- Oberdorfer, E. (1978): Süddeutsche Pflanzengesellschaften Teil II. Sand- und Trockenrasen, Heide- und Borstgrasgesellschaften, Saum-Gesellschaften, Schlag- und Hochstaudenfluren. 2. Aufl. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 355 pp.

- Oberdorfer, E. (1983): Süddeutsche Pflanzengesellschaften Teil III. Wirtschaftswiesen und Unkrautgesellschaften. 2. Auflage – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 455 pp.
- Päßler, U. (2020): »Im freyen Spiel dynamischer Kräfte«: Pflanzengeographische Schriften, Manuskripte und Korrespondenzen Alexander von Humboldts. – In Päßler, U. & Ette, O. (Hrsg.): Alexander von Humboldt: Geographie der Pflanzen. – J.B. Metzler, Stuttgart: 3–25. https://doi.org/10.1007/978-3-476-04965-0_1
- Rammig, A., Jonas, T., Zimmermann, N.E. & Rixen, C. (2010): Changes in alpine plant growth under future climate conditions. – Biogeosciences 7: 2013–2024. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2013-2010>
- Rennwald, E. (2000): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. – Schriftenreihe für Vegetationskunde 35: 1–800.
- Ringler, A. (2007): Almzukunft und Almförderung. Ökologische Perspektiven im Klima- und Politikwandel. – ANLieggen Natur 31(1): 34–51.
- Ringler, A. (2009): Almen und Alpen. – Verein zum Schutz der Bergwelt, München: 1446 pp.
- Ringler, A. (2010): Alm- und Alpwirtschaft in Bayern. – München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, 2021 Landwirtschaft und Forsten – URL: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms01/allgemein/publikationen/l2_almbuch.pdf [Zugriff am 19.02.2024].
- Risch, H. (1993): Geologische Karte von Bayern 1:25000 – Erläuterungen zum Blatt Nr. 8343 Berchtesgaden West. – Bayerisches Geologisches Landesamt, München: 132 pp.
- Rösler, S. (1997): Die Rasengesellschaften der Klasse Seslerietea in den Bayerischen Alpen und ihre Verzahnung mit dem *Carlino-Caricetum sempervirentis* (Klasse *Festuco-Brometea*). – Hoppea – Denkschriften der Regensburgischen Botanischen Gesellschaft 58: 5–216.
- Sendtner, O. (1854): Die Vegetations-Verhältnisse Südbayerns. – München: Literarisch-Artistische Anstalt. – URL: http://digital.bib-bvb.de/view/bvb_mets/viewer.0.6.5.jsp?folder_id=0&dvs=1681467265499~785&pid=7872845&locale=de&usePid1=true&usePid2=true [Zugriff am 19.02.2024].
- Springer, S. (1997): Pflanzengesellschaften der Almen des Berchtesgadener Landes. – Dissertation. Gesamthochschule Kassel.
- Storch, M. (1983): Zur floristischen Struktur der Pflanzengesellschaften in der Waldstufe des Nationalparks Berchtesgaden und ihre Abhängigkeit vom Standort und der Einwirkung des Menschen. – Dissertation LMU München: 407 pp.
- Styrnik, V., Hofmann, M., Ewald, J. & Seibold, S. (2022): Nachhaltige Almwirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen des Auftriebszeitpunktes auf Pflanzen- und Insektengesellschaften, sowie die Produktivität von Almen im Berchtesgadener Land. – In: Plitzner, C.: Internationale Weidetagung Grenzen und Möglichkeiten der Weidehaltung im Berggebiet vom 7. bis 8. Juni 2022 in Bozen, Italien. – Bozen: Beratungsring Berglandwirtschaft (BRING): 67pp.
- Suck, R. & Bushart, M. (2012): Potentielle Natürliche Vegetation Bayerns: Erläuterungen zur Übersichtskarte 1:500 000. – Augsburg.
- Urban, R. & Mayer, A. (1996): Die Alpenbiotopkartierung: Ein Beitrag zur floristischen Erforschung der Bayerischen Alpen. – Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz 132: 135–147.
- Von Paula von Schrank, F. (1785): Flora Berchtesgadensis. – In: Naturhistorische Briefe über Österreich, Salzburg, Passau und Berchtesgaden 2: 155–323.
- Walentowski, H., Gulder, H.-J., Kölling, C., Ewald, J. & Türk, W. (2001): Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. – LWF-Bericht 32: 1–98.
- Winkler, P. (2006): Hohenpeißenberg 1781–2006, das älteste Bergobservatorium der Welt. – Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes (Geschichte der Meteorologie in Deutschland): 174 pp.

Aufnahmenummer	§30	§30	§30	Futterwert
Alm				
Experimentelle Behandlung				
Meereshöhe m ü. NN				
Hangneigung °				
Exposition °				
Pflanzengesellschaft				
d GN typicum (GNt)				
<i>Carex pilulifera</i>	2	3	2	
<i>Hieracium aurantiacum</i>	1			
<i>Leucobryum glaucum</i>	3			
d Geo montani-Nardetum (GN)				
<i>Solidago virgaurea</i>	2	2		
<i>Pleurozium schreberi</i>				
<i>Arnica montana</i>	2	2	2	
<i>Polytrichastrum alpinum</i>				
<i>Sphagnum capillifolium</i>				
<i>Carex echinata</i>	2			
<i>Pseudorchis albida</i>	1			
d GN Tofieldia-Ausb. (GNTo)				
<i>Carex flava agg.</i>	2			
<i>Calluna vulgaris</i>	2	2	2	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2			
<i>Antennaria dioica</i>	1	2	2	
<i>Geum montanum</i>				
<i>Pinguicula alpina</i>				
<i>Veronica fruticans</i>				
<i>Gentianella germanica</i> agg.	1	2	3	
<i>Juniperus communis</i> s. l.	1			
<i>Cetraria islandica</i>				
<i>Salix retusa</i>				
<i>Cladonia fimbriata</i>				
<i>Carex capillaris</i>				
<i>Erigeron glabratus</i>				
<i>Huperzia selago</i>				
d GN + CFr				
<i>Deshampsia cespitosa</i> s. str.	2			
<i>Carex leporina</i>	4	3		
<i>Carex nigra</i>	2			
d CF ruminetosum arfolii (CFr)				
<i>Rumex alpinus</i>				
<i>Brachythecium salebrosum</i>				
<i>Homalothecium lutescens</i>				
<i>Botrychium lunaria</i>	1			
d GN + CF				
<i>Nardus stricta</i>	3	2	2	
d GNt + CF				
<i>Rumex arifolius</i>				
<i>Phleum rhaeticum</i>				
d Crepido-Festucetum				
<i>Atrichum undulatum</i>				
<i>Equisetum arvense</i>	2			
d CF tyicum (CFT)				
<i>Platanthera bifolia</i> s. l.	3	2		
<i>Rhinanthus glacialis</i>	3	2		
<i>Chaeophyllum villosum</i>	1			
<i>Trifolium medium</i>	5			
<i>Vicia sepium</i>	7			
<i>Lathyrus pratensis</i>	7			
<i>Silene nutans</i>	4			
<i>Stachys alpina</i>				
<i>Thelypteris limbosperma</i>				
<i>Gnaphalium sylvaticum</i>				
<i>Tussilago farfara</i>	2			
<i>Phleum hirsutum</i>	2			
<i>Brachythecium campestre</i>				
<i>Crepis pyrenaica</i>	1			
d GNt + CF + CF				
<i>Veratrum album</i> s. l.	1			
d GN + CF + CF				
<i>Carex pallens</i>	4	3		
<i>Luzula sylvatica</i>	3			
<i>Crocus albiflorus</i>	2			
<i>Homogyne alpina</i>	3			
d GN + CF				
<i>Vaccinium myrtillus</i>	2			
<i>Willemetia stipitata</i>				
d CF typicum + CF				
<i>Aposeris foetida</i>				
<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	3			
<i>Géranium sylvaticum</i>	2			
<i>Origanum vulgare</i>	2			
<i>Senecio ovatus</i>	1			
d Carectum ferrugineae				
<i>Brachythecium tauricorum</i>				
<i>Viola biflora</i>	3			
<i>Carex ferruginea</i>	2			
<i>Carex panicea</i>	2	3		
<i>Mercurialis perennis</i>				
<i>Cardamine enneaphyllos</i>				
<i>Geum rivale</i>	3			
<i>Primula elatior</i>	3			
<i>Biscutella laevigata</i>	1			
<i>Adenostyles alliacea</i>				
<i>Arabis alpina</i> s. str.				
<i>Hieracium bifidum</i>	2			
<i>Trisetum flavescens</i>	7			
<i>Aconitum napellus</i> agg.				
<i>Cladonia pyxidata</i>				
<i>Melica nutans</i>				
<i>Rubus subg. Idaeobatus</i>				
<i>Senecio obrotanifolius</i>				
<i>Cirsium palustre</i>	2			
<i>Myosotis sylvatica</i>				
<i>Schistidium crassipilum</i>				
d CF + LFS				
<i>Fragaria vesca</i>				
<i>Poa pratensis</i> agg.	9			
<i>Ptychosomum imbricatum</i>				
<i>Cerastium arvense</i>	4	4		
d LF Scorzoneroides autumnalis-Ausb. (LFS)				
<i>Festuca pratensis</i> s. l.	9			
<i>Bellis perennis</i>	3			
<i>Scorzoneroides autumnalis</i>	6			
<i>Erigeron annuus</i>	3			
<i>Pseudoscleropodium purum</i>				
<i>Campanula rotundifolia</i> s. str.	3	4		
<i>Agrostis stolonifera</i>	4			
<i>Barbula unguiculata</i>				
<i>Cardamine pratensis</i> s. l.	1			
<i>Potentilla reptans</i>	3			
<i>Carex montana</i>	3	3		
<i>Lolium perenne</i>	9			
<i>Bromus hordeaceus</i>	4			
<i>Eupatorium cannabinum</i>	1			
d Lehmböden				
<i>Festuca rubra</i> agg.	4	7		
<i>Agrostis capillaris</i>	4	6		
<i>Luzula campestris</i> agg.	3	3		
d Poion alpinae + Cynosurion				
<i>Trifolium repens</i>	9			
<i>Ranunculus acris</i>	2			
<i>Dactylis glomerata</i> s. str.	8			
<i>Cynosurus cristatus</i>	7			
d Lehmböden in Tieflagen				
<i>Galium mollugo</i> agg.	4			
<i>Taraxacum</i> spec.	7			
<i>Clinopodium vulgare</i>	4	2		
<i>Plantago major</i> agg.	3			
d CF + LF				
<i>Lysimachia nemorum</i>				
<i>Acer pseudoplatanus</i>				
<i>Rumex acetosa</i>	5			
<i>Dactylorhiza maculata</i> agg.	3			
<i>Anemone nemorosa</i>	1			
d Lolio-Festucetum (LF)				
<i>Pleum pratense</i> s. str.	9			
<i>Polygonum amara</i> agg.	2			
<i>Medicago lupulina</i>	8			

