

Vegetation und Vegetationsdynamik auf dem Zugspitzplatt (Bayerische Alpen) Natur- und Kulturlandschaft im Hochalpinen Raum als Produkt natürlicher, anthropogener und zoogener Einflüsse

von Oliver Korch¹ und Arne Friedmann¹

Zusammenfassung: Seit 2009 erforscht die Arbeitsgruppe Biogeographie der Universität Augsburg im Rahmen der Forschungsvorhaben KLIMAGRAD sowie KLIMAGRAD II die Flora, Vegetation und Vegetationsdynamik auf dem Zugspitzplatt. Hierbei wurden bisher eine detaillierte Vegetationskarte des Untersuchungsgebiets erstellt, vergangene Schwankungen der Krummholzgrenze rekonstruiert, geländeklimatologische Parameter erfasst sowie ein langfristiges Monitoring der Vegetation auf Dauerbeobachtungsflächen initiiert.

Die bisherigen Ergebnisse zeichnen das Bild des weitgehenden Vorherrschens einer artenreichen, heterogenen Kulturlandschaft, die jedoch in stark unterschiedlichem Maße anthropogen bzw. anthro-zoogen überprägt ist. Während manche Pflanzengesellschaften direkt an diese Überprägung gebunden sind, werden andere dadurch lediglich mit lokal stark wechselnder Intensität beeinflusst. Ungestörte bzw. naturnahe Standorte sind nur auf die unwegsamsten Bereiche beschränkt.

Unter den natürlichen Einflussfaktoren sind das stark reliefierte Gelände und die dadurch bedingten vielfältigen kleinklimatischen Einflüsse sowie die mechanische Belastung als Ergebnis geomorphologischer Prozesse prägend für die Verteilung von Arten bzw. Pflanzengesellschaften. Das bisherige Monitoring, der Vergleich mit älteren Kartierungen sowie die Auswertung historischer Abbildungen liefern hinsichtlich der Auswirkungen eines sich seit Jahrzehnten wandelnden Klimas auf die Verbreitung und Zusammensetzung der Plattvegetation erste Indizien, die jedoch erst künftig zu statistisch belastbaren Aussagen zusammengefasst werden können.

Abstract: Since 2009 the working group on Biogeography at the University of Augsburg is exploring the flora, vegetation and vegetation dynamics on the Zugspitzplatt. Up to now, a detailed vegetation map of the research area has been issued and historic shifts of the krummholz-line have been reconstructed. Data proving the heterogenic site-climate have been collected and a long-term-monitoring of the vegetation on permanent sample plots has been established since 2010.

Results show the dominance of a heterogenic cultural landscape, which, however differs in its anthropogenic and zoogenic overprint. While some plant communities can be directly linked to those factors, others are only influenced with a varying grade of intensity. Uninfluenced vegetation is restricted to only the most remote sites.

Among the natural influencing factors the inhomogeneous relief linked to a differing site climate as well as mechanical stress due to geomorphologic processes are responsible for the distribution of species and communities. Finally, the first results of the long-term-monitoring give first hints to changes of plant and vegetation patterns in the context of climatic change. Nevertheless further research is still needed to obtain consistent evidence of this fact.

DAS ZUGSPITZPLATT – DEUTSCHLANDS HÖCHSTGELEGENES UNTERSUCHUNGSGBIET

Das Zugspitzplatt ist als Teil des Wettersteingebirges in den mittleren Bayerischen Alpen gelegen. Benachbarte Gebirgstöcke sind im Westen und Norden Teile der Ammergauer Alpen bzw. des Estergebirges, im Süden die Mieminger Kette sowie im Osten das Karwendelgebirge.

Das Untersuchungsgebiet (Abb.1) oberhalb der nach Osten abgrenzenden 2000 m-Höhenlinie umfasst eine Fläche von ca. 8,25 km², wobei das konkave Gelände nach Westen hin bis auf 2700 m ansteigt. Es wird nach Norden, Westen und Süden von der so genannten „Plattumrahmung“ umfasst, zu deren markanten Gipfeln neben der Zugspitze (2962 m) der Schneefernerkopf (2875 m) sowie die Plattspitzen (2680 m) zählen. Aufgebaut wird das als tertiäre Altform (UHLIG 1954) beschriebene Zugspitzplatt von dem ladinischen Wettersteinkalk, einem sehr reinem Kalkgestein, welches nach Untersuchungen von HÜTTL (1999) einen mittleren CaCO₃-Gehalt von 95,6 % und einen MgCO₃-Gehalt von 2,4 % aufweist. Es kommt dadurch zu starker Verkarstung im gesamten Untersuchungsgebiet mit entsprechenden Voll- und Hohlformen unterschiedlicher Größe. Der Wettersteinkalk liegt schließlich auf den wasserstauenden Partnach-Schichten auf, so dass das gesamte Gebiet weitestgehend keinen Oberflächenabfluss aufweist und unterirdisch über den Partnach-Ursprung im Osten entwässert wird (WETZEL 2004, 2005, RAPPL et al. 2010).

Aktuell befinden sich im Gebiet zwei Gletscher, der Nördliche Schneeferner und der wesentlich kleinere, aktuell in einzelne Restflächen zerfallene Südliche Schneeferner. HAGG et al. (2012) geben deren Flächen für das Jahr 2009 mit 27,8 ha bzw. 4,8 ha an. Verschiedene Moränenablagerungen, als Rundhöcker ausgeformte Gesteinskuppen und der besonders im oberen Plattbereich vom Gletscherschliff polierter bzw. gekritzter Fels zeugen von Phasen ausgedehnter Eisbedeckung im Pleistozän und im Holozän (HIRTLREITER 1992).

Wichtiger als die rezent nur kleinräumig stattfindende glaziale Morphodynamik ist die starke Überprägung durch die Frostverwitterung, was sich durch zahlreiche Blockschutthalde manifestiert.

Es herrscht ein typisches Hochgebirgsklima der Nördlichen Alpen vor. So lag die Durchschnittstemperatur auf der Zugspitze im Zeitraum 1983-2012 bei -4,18 °C und der Jahresniederschlag bei 2056,5 mm. Gegenüber der Normalperiode

doi:10.2312/polarforschung.86.1.35

¹ Universität Augsburg, Institut für Geographie, Alter Postweg 118, 86135 Augsburg.

* Korrespondierender Autor <oliver.korch@geo.uni-augsburg.de>

Manuskript eingereicht 23. Dezember 2015; überarbeitet zum Druck angenommen 24. Juni 2016.

This research is done within the collaborative projects KLIMAGRAD and KLIMAGRAD II and is financed by the Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection (StMUV).

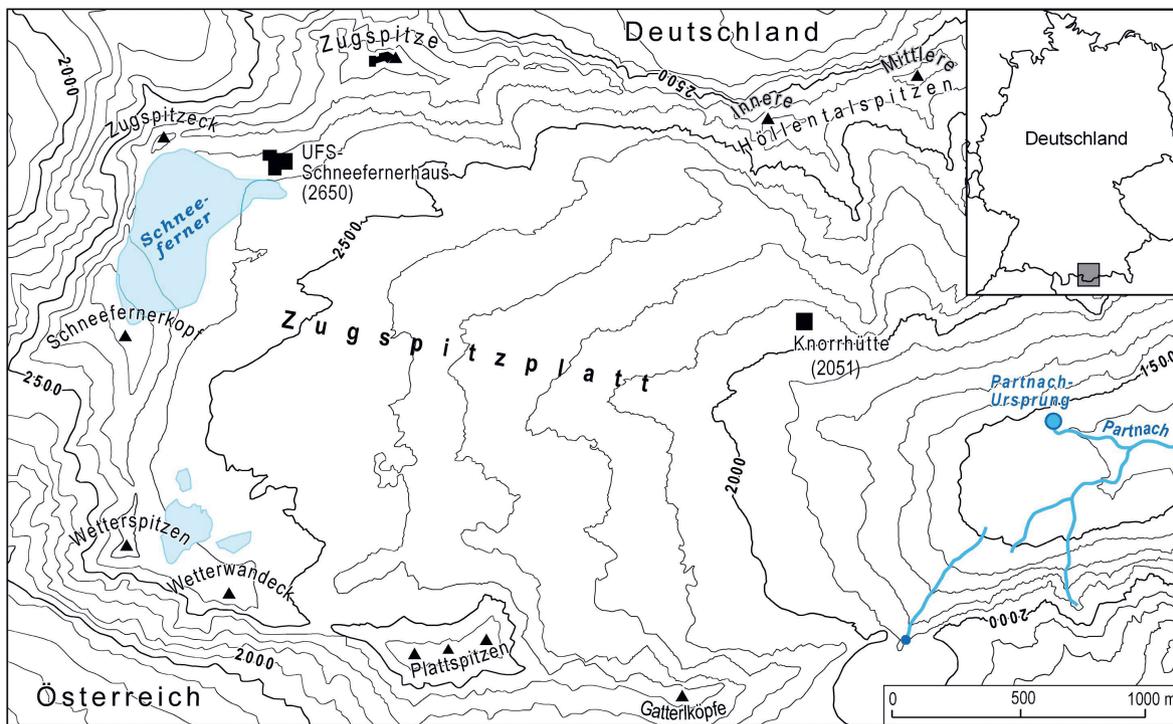


Abb. 1: Die Lage des Untersuchungsgebiets Zugspitzplatt.

Fig. 1: The location of the Zugspitzplatt.

1961-1990 bedeutet dies einen Anstieg der Temperatur um mehr als 0,6 °C bei einer gleichzeitigen Zunahme des Niederschlags um 53,5 mm. Für das darunterliegende Zugspitzplatt wurde mit Hilfe von Daten der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) eine durchschnittliche Zunahme der mittleren Jahrestemperatur um 0,62 °C/100 m für das Jahr 2012 ermittelt. Schneefall und negative Temperaturen können im Gebiet auch während der Sommermonate auftreten (KORCH 2014, Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst 2013).

Besonders das obere Zugspitzplatt ist seit der ersten Hälfte des 20. Jh. für den ganzjährigen Massentourismus erschlossen und beherbergt heute eine entsprechende Infrastruktur mit zahlreichen Gebäuden, Liftanlagen, Skipisten und Wanderwegen. Rückwirkend mindestens bis in das 16. Jh. nachweisbar, beweideten Schafe das Zugspitzplatt während der Sommermonate; aktuell etwa 400 Tiere, in der Vergangenheit lag deren Zahl sogar wesentlich höher bei bis zu 600.

ZÖTTL (1950) erstellte erstmals im Zusammenhang mit seinen Studien im Wettersteingebirge einzelne Vegetationsaufnahmen auf dem Zugspitzplatt. Eine erste flächendeckende Erfassung der Plattvegetation wurde von CREDNER (1995) erstellt. RÖSLER (1997) erwähnt in ihrer Arbeit zu alpinen Rasengesellschaften der Bayerischen Alpen auch entsprechende Vorkommen auf dem Zugspitzplatt.

VEGETATIONSÖKOLOGISCHE FORSCHUNG AUF DEM ZUGSPITZPLATT SEIT 2009

Die Arbeitsgruppe Biogeographie der Universität Augsburg betreibt seit 2009 im Rahmen der Projekte KLIMAGRAD (2009-2013) sowie KLIMAGRAD II (seit 2015) vegetations-

ökologische Forschung auf dem Zugspitzplatt. Im Zentrum steht dabei die Inventarisierung der Flora und Vegetation auf Grundlage pflanzensoziologischer Vegetationsaufnahmen. Die Erstellung und Auswertung von Aufnahmen an 237 Standorten bilden die Grundlage für die Beschreibung der Pflanzengesellschaften und für die Vegetationskarte (KORCH 2014, Abb. 2), welche die große floristische Heterogenität im Untersuchungsgebiet unterstreicht.

Die Frage nach den Ursachen dieser Heterogenität sowie die Frage nach der Persistenz bzw. der Weiterentwicklung des festgestellten Status quo machen eine längerfristig angelegte, detaillierte, standortbezogene Betrachtung und Differenzierung notwendig. Faktoren, welche die aktuelle Vegetation bedingen sowie die Vegetationsdynamik beeinflussen müssen für die verschiedenen Einheiten zunächst identifiziert werden. Im Anschluss stellt sich die Frage nach der jeweiligen Reichweite, dem Anteil an der Gesamtdynamik sowie nach möglichen Interaktionen, Rückkoppelungen und Wechselwirkungen mit anderen Faktoren.

ANGEWENDETE METHODEN

Die Vegetationsaufnahmen wurden unter Verwendung der pflanzensoziologischen Methode nach BRAUN-BLANQUET (1964) erhoben. Dies stellt die größtmögliche Vergleichbarkeit der erhobenen Daten mit älteren Vegetationsaufnahmen von ZÖTTL (1950) und CREDNER (1995) sicher. Aufgrund der starken Standortheterogenität des Untersuchungsraums erfolgte die Auswahl der Aufnahmeflächen ausschließlich nach subjektiven Kriterien, um homogene und morphologisch einheitliche Aufnahmeflächen zu gewährleisten (BRAUN-BLANQUET 1964, DIERSCHKE 1994, PFADENHAUER 1997). Aus

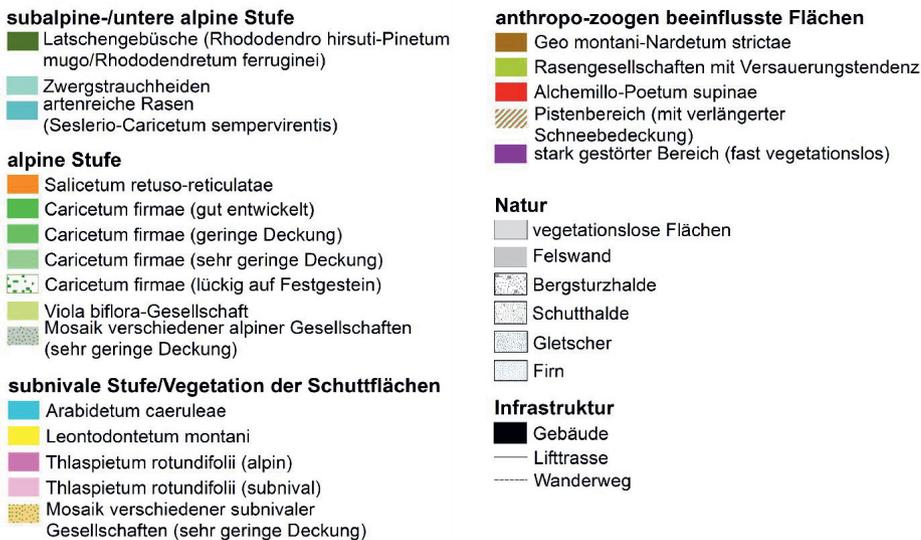
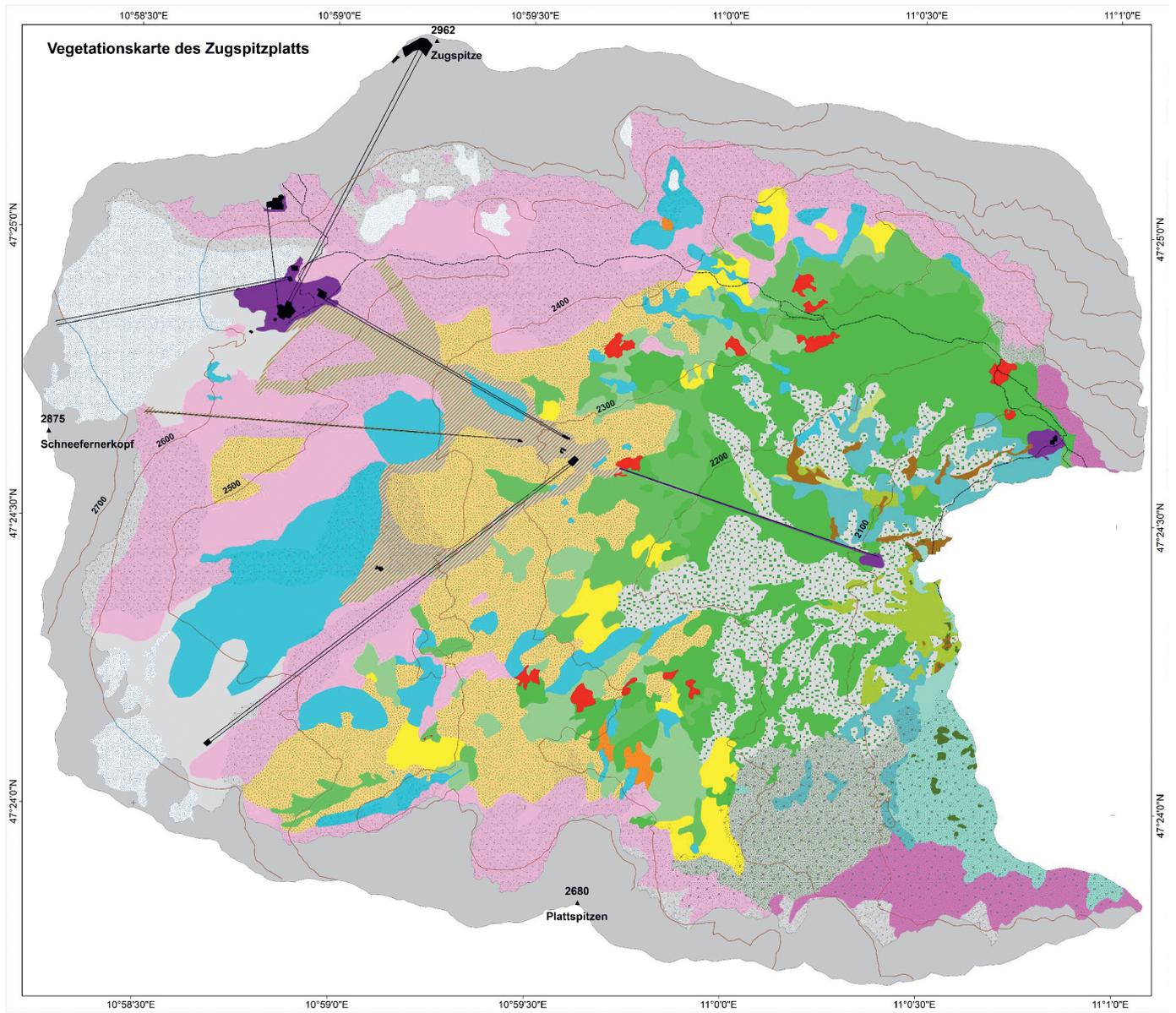


Abb. 2: Vegetationskarte des Zugspitzplatts (KORCH 2014 verändert).

Fig. 2: Vegetation map of the Zugspitzplatte (KORCH 2014 modified).

demselben Grund und aufgrund der teilweise durch die Geländeform limitierten Flächengrößen erfolgte die Festlegung der Größe der erfassten Flächen variabel. Sie wurde jedoch so bestimmt, dass möglichst alle am aufgenommenen Standort wachsenden Gefäßpflanzen erfasst werden konnten. Um vegetationsdynamische Prozesse besser abschätzen zu können, wurde ab 2010 auf 38 der Aufnahmeflächen eine Langzeitbeobachtung auf Dauerbeobachtungsflächen (DIERSCHKE 1994, FISCHER & KLOTZ 1999) mit Wiederaufnahmen im ein- bis dreijährigen Rhythmus initiiert. Die Schätzung der Artmächtigkeit erfolgte nach der von REICHELT & WILMANN (1973) vorgeschlagenen Skala. Diese Werte wurden für statistische Auswertungen (Abb. 3, 4, 5) in eine neunstufige numerische Skala umgerechnet. Die Benennung und Einordnung der einzelnen Pflanzengesellschaften erfolgte nach RENNWALD (2000), die Benennung der Taxa nach WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998). Die Aufzeichnung geländeklimatologischer Daten erfolgte mit dem Ziel einer Erfassung der tatsächlich auf die niedrige Vegetation einwirkenden Witterungsparameter in Bodennähe und in 30-minütigen Intervallen. Hierbei wurden Datalogger des Typs HOBO PRO V2 der Firma ONSET verwendet.

DAS ZUGSPITZPLATT – SEINE FLORA UND VEGETATION

Das Untersuchungsgebiet lässt sich in drei vegetationsgeographische Höhenstufen gliedern:

- Die obere subalpine Stufe mit der Krummholzgrenze (bis ca. 2100 m).
- Die Stufe der alpinen Rasen (2000 bis >2400 m).
- Die subnivale Stufe der Schutt-, Fels- und Schneebodengesellschaften.

In all diesen Stufen treten Flächen auf, die mit Assoziationen bestanden sind, die direkt auf anthropo-zoogenen Einfluss zurückzuführen sind.

Die Vegetation der subalpinen Stufe

Die subalpine Höhenstufe nimmt den flächenmäßig kleinsten Anteil des Zugspitzplatts ein. Es dominiert ein Mosaik aus Latschengebüsch, Zwergstrauchheiden sowie Rasengesellschaften besonders im Übergangsbereich zur alpinen Stufe (Abb. 2).

Latschengebüsch

Die Latschengebüsch (bis ca. 2100 m) sind mit zwei von der namengebenden Latsche oder Legföhre (*Pinus mugo*) dominierten Gesellschaften vertreten. Während das Wimpernalpenrosen-Latschen-Gebüsch (*Rhododendro hirsuti*-*Pinetum mugo* Br.-Bl. et al. 1939 nom. inv. prop.) als zonale Assoziation an den basenreichen Untergrund gebunden ist, wird dieses auf bodensauren Standorten, wie etwa mächtigen Tangelrendzinen, durch die Gesellschaft der Rostblättrigen Alpenrose (*Rhododendretum ferruginei* Rübel 1911) ersetzt. Letztere stellt nach SEIBERT (1992) und EGGENSBERGER (1993) das Endstadium der Sukzession an feuchten Standorten der oberen subalpinen Stufe dar. Unterscheiden lassen sich beide Gesellschaften durch die in ihnen jeweils vorkommende Alpenrosen-Art. Während im *Rhododendro hirsuti*-*Pinetum*

mugo die im basischen Ausgangssubstrat wurzelnde Bewimperte Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*) anzutreffen ist, tritt im acidophilen *Rhododendretum ferruginei* mit zunehmender Rohhumusakkumulation die vikariierende Rostblättrige Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*) an deren Stelle.

Zwergstrauchheiden

Im südöstlichen Bereich der subalpinen Stufe finden sich zwischen Latscheninseln ausgedehnte Zwergstrauchheiden, die von der Bewimperten Alpenrose, der Silberwurz (*Dryas octopetala*) und der Horstsegge (*Carex sempervirens*) dominiert werden (Abb. 2). Aufgrund der noch ausstehenden genauen pflanzensoziologischen Überprüfung werden diese zunächst als ranglose Gesellschaft eingestuft. Sie ähneln einer bereits von ZÖTTL (1950) beschriebenen „*Daphne striata*-*Erica carnea* Assoziation“ im Bereich der Knorr-Hütte. Die Anwesenheit zahlreicher Arten der alpinen Blaugras-Rasen (Elyno-Seslerietea Br.-Bl. 1948) zeigt den Charakter einer Übergangsgesellschaft zwischen diesen Rasen und den Latschengebüsch, deren Verbuschung zumindest bisher effektiv durch Beweidung verhindert wurde.

Rasengesellschaften der obersten subalpinen Stufe

Im Übergangsbereich von der subalpinen zur alpinen Vegetationsstufe kommen sowohl nördlich als auch südlich des Brunnentals auf östlich bis südlich exponierten Flächen artenreiche, teilweise reichlich blühende Rasengesellschaften vor, die unterschiedlich ausgeprägte Anklänge an die Blaugras-Horstseggen-Halde (*Seslerio-Caricetum sempervirentis* Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926) aufweisen (Abb. 2). Obwohl sie die üppigsten Rasenflächen im Untersuchungsgebiet darstellen, handelt es sich hierbei eher um Übergangsstadien des häufig in der Sukzession vorangestellten Polsterseggen-Rasens (SÖYRINKI 1954) bzw. eine an Kenn- und Trennarten verarmte Ausprägung dieser Assoziation. Der Grund hierfür dürfte in den für eine optimale Ausprägung der Gesellschaft regional allgemein ungünstigen Standortbedingungen begründet sein. Diese manifestieren sich in einer Dominanz von nach Norden exponierten Karen, aktiver Schuttdynamik sowie damit verbunden unzureichender Bodenentwicklung und decken sich mit den Beobachtungen anderer Autoren (ZÖTTL 1950, WEBER 1981, CREDNER 1995).

Die Vegetation der alpinen Zone

Die alpine Zone reicht auf dem Zugspitzplatt im Mittel bis in Höhen von 2300 bis 2400 m. Im Südwesten sind aufgrund geländeklimatischer Gunst inselartige Vorposten noch auf über 2500 m ausgebildet. Während im Südwesten im Bereich eines – vermutlich holozänen – Bergsturzgeländes im Vergleich zur subalpinen Ausprägung an Arten verarmte Zwergstrauchheiden vorherrschen, wird der weitaus größere Teil der alpinen Zone jedoch von Rasengesellschaften besiedelt (Abb. 2). Deren Wuchshöhe, Artenreichtum und Deckung nehmen mit zunehmender Höhe allgemein hin ab, bis sie sich schließlich an der Grenze zur subnivalen Zone in einzelne Rasenflecken auflösen. Dort sind auch kleinflächige Spalierweidenrasen anzutreffen. Im Bereich feuchter Steinschlagrinnen, Schutt-

flächen und Karren trifft man auf eine Form der Felsspalten- und Schuttvegetation, deren Charakteristik eindeutig die im Vergleich zur subnivalen Zone günstigeren Klimaverhältnisse widerspiegelt.

Rasengesellschaften der alpinen Stufe

Die eng mit der Blaugras-Horstseggenhalde (*Seslerio-Caricetum sempervirentis* Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926) verwandten Polsterseggen-Rasen (*Caricetum firmae* Rübel 1911) dominieren mit verschiedenen Ausprägungen die alpine Höhenstufe im Untersuchungsgebiet. Mehr als ein Drittel der in die Vegetationskarte (Abb. 2) eingegangenen Standorte können dieser Assoziation zugeordnet werden. Dabei erreichen die Rasen im Bereich des Wetterwandecks Höhen von >2500 m. Das Erscheinungsbild variiert zwischen lückigen Formationen auf Schutt, geschlossenen, dichten Beständen und Vorkommen direkt auf dem anstehenden Wettersteinkalk, so genannte „Karst-Firmeten“ (REISIGL & KELLER 1987). Erwartungsgemäß nimmt die Deckung der Rasen mit zunehmender Höhe ab, es können jedoch auch expositionsbedingt kleinräumig starke Deckungsunterschiede auftreten. Untergliedern lässt sich das *Caricetum firmae* einerseits in die typisch ausgeprägte Gesellschaft und in weitere Typen, die sowohl von Assoziationen angrenzender Höhenstufen als auch von voranschreitender Sukzession im Wechselspiel mit ablaufender Pedogenese charakterisiert sind. So finden sich in den häufig als initiale Dauergesellschaft ausgebildeten lückigen Polsterseggenrasen am oberen Verbreitungsgebiet regelmäßig Arten der subnivalen Steinschuttfluren (*Thlaspietea rotundi-folii* Br.-Bl. 1948) als Begleitarten. Anders verhält es sich dagegen in der unteren alpinen Zone, wo zunehmende klimatische Gunst oft im Zusammenhang mit fortgeschrittener Bodenentwicklung für artenreiche Polsterseggen-Rasen entweder mit zunehmenden Anklängen an das *Seslerio-Caricetum sempervirentis* oder an die Borstgras-Rasen (s.u.) verantwortlich ist.

Das als Borstgras- oder Bürstlingsrasen bezeichnete und an bodensaure Standorte gebundene *Geo montani-Nardetum strictae* Lüdi 1928 nom. mutat. propos. zählt zu den unmittelbar auf die anthropo-zoogene Beeinflussung zurückzuführenden Assoziationen im Untersuchungsgebiet (Abb. 2). So fördert das weidende Vieh durch die Verschmähung des (teilweise durch diese Tiere erst eingeschleppten) Borstgrases (*Nardus stricta*) indirekt dessen immer stärkere Ausbreitung (GRABHERR 1993). Als Konsequenz stellt sich letztendlich die Assoziation als Ersatzgesellschaft an einem Standort ein. Die in der unteren alpinen, teilweise im Übergang zur subalpinen Höhenstufe verbreiteten Borstgras-Rasen des Zugspitzplatts lassen sich hinsichtlich ihrer Genese in zwei Gruppen einteilen. Die erste Gruppe bilden Bestände auf ehemals von Latschen bestandenen, und somit aufgrund der Rohhumus-Auflage bodensauren Flächen. Zusätzlich zu den Böden vermitteln zahlreiche floristische Ähnlichkeiten wie beispielweise das Vorkommen von Arten der Gattung *Vaccinium* zu den in der Regel auch räumlich benachbarten Latschengebüschchen. Die zweite und größere Gruppe des *Geo montani-Nardetum strictae* findet sich auf aus allochthonen Glimmer-Einwehungen hervorgegangenen sauren Braunerden (CREDNER et al. 1998, 2003, 2006, 2008, KORCH et al. 2013, GRASHEY-JANSEN et al. 2014), besonders nördlich des Brunntals. In den sehr artenreichen Aufnahmen fehlen die *Vaccinium*-Arten. Dafür

sind Arten aus der Ordnung der *Seslerietalia albicantis* Br.-Bl. et Jenny 1926 reichlich repräsentiert. Dies kann als starkes Indiz für die Einordnung dieser Form des Borstgras-Rasens als eine sich unter dem Einfluss der Beweidung einstellende Ersatzgesellschaft aus dem artenreichen *Caricetum firmae* bzw. dem *Seslerio-Caricetum sempervirentis* gesehen werden. LIPPERT (1966) spricht in diesem Zusammenhang auch von einer „Kalkalpenrasse“ der Gesellschaft.

An Orten, an denen sich die Schafe bevorzugt zum Ruhen und zum Wiederkauen versammeln findet man in der Regel auf übersichtlichen Geländekuppen entlang der gesamten alpinen Stufe die auch als „Faxrasen“ (AICHINGER 1933) bezeichnete Lägergesellschaft des *Alchemillo-Poetum supinae* Aichinger 1933 (Abb. 2). Es ist somit neben den Borstgras-Rasen die zweite Gesellschaft, deren Existenz unmittelbar auf die Schafbeweidung zurückzuführen ist. Entsprechend ist sie in erheblichem Maße dem Tritt und der Eutrophierung ausgesetzt. Ähnlich wie im *Geo montani-Nardetum strictae* verschmähen die Tiere jedoch die namensgebende Lägerrippe *Poa supina*, die so zur Dominanz gelangen kann (ELLMAUER & MUCINA 1993). Unter den Begleitarten dominieren auch hier Vertreter der *Seslerietalia albicantis*, was abermals den Charakter einer Ersatzgesellschaft unterstreicht.

Bodenfeuchte Standorte in der alpinen Stufe

In eher bodenfeuchten Karren, beschatteten Geländemulden, auf grobem Blockschutt aber auch in Karsttaschen ausgebildet, in denen keine Borstgras-Rasen wachsen, findet sich weit verbreitet ein Vegetationstypus, der keiner der beschriebenen alpinen Pflanzengesellschaften zugeordnet werden kann („*Viola biflora*-Gesellschaft“ Abb. 2). Dieser ähnelt einer Serie von Aufnahmen im benachbarten Karwendelgebirge, die SAITNER und PFADENHAUER (1992) als syntaxonomisch ranglose „Karrenkomplexe“ beschreiben. Charakteristisch ist eine teilweise aspektbestimmende Dominanz des Zweiblütigen Veilchens (*Viola biflora*) neben diversen Arten von Farnen. Als Begleiter kommen wechselnd Arten der Rasen, Zwergstrauchheiden als auch der Schneetälchen- und Schuttgesellschaften (s.u.) vor.

Stufe der Schutt-, Schneetälchen- und Felsspaltengesellschaften

Die Stufe der Schutt-, Schneetälchen- und Felsspaltengesellschaften (Abb. 2) entspricht der subnivalen Höhenstufe bzw. im Bereich der von Schutthalden dominierten Areale unterhalb der Plattumrahmung sogar Anteilen der alpinen bzw. kleinflächig sogar der subalpinen Höhenstufen auf dem Zugspitzplatt.

Spalierweidenrasen

Als Übergangsgesellschaft zwischen den alpinen Rasen und den Schuttgesellschaften nimmt der im Untersuchungsgebiet gering verbreitete Spalierweiden-Rasen (*Salicetum retuso-reticulatae* Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926) die Stellung einer Übergangsgesellschaft ein. Sie wird dominiert von den beiden Weidenarten *Salix retusa* und *Salix serpyllifolia*, während die namensgebende *Salix reticulata* auf dem Zugspitzplatt fehlt.

Die eher geringe Verbreitung dieser Gesellschaft ist in deren Standortanspruch, festgelegtem, unbewegtem Kalkschutt (ENGLISCH et al. 1993) begründet, der hier aber nur kleinräumig vorkommt.

Die Vegetation der Schneetälchen

Die zahlreichen Schneetälchen des oberen Zugspitzplatts, in denen eine Schneedeckendauer von >10 Monaten erreicht werden kann, werden von dem Gänsekresse-Schneetälchen (*Arabidetum caeruleae* Br.-Bl. 1918) eingenommen, welches zum selben Verband gehört wie das *Salicetum retuso-reticulatae*. Es handelt sich hierbei um im Vergleich zur Umgebung ungewöhnlich feinerdereiche Standorte. Dieser Reichtum ist dem Geländecharakter als häufig abflusslose Senken, teilweise auf wasserstauendem Kalkstein sowie dem damit verbundenen Überangebot an Schmelzwasser als Transportmedium zu verdanken. Pedologisch führen diese Gegebenheiten zu feuchten Böden, die teilweise reduktive Merkmale der Pseudovergleyung aufweisen. Darüber hinaus vermag die Assoziation im Untersuchungsgebiet auch außerhalb von Geländemulden zumindest in fragmentarischer Form zu gedeihen. Dies ist verstärkt im Bereich der Skipisten der Fall, wo die Pistenpräparierung zu einer künstlichen Verlängerung der jährlichen Schneedeckendauer führt. Diese weite Standortamplitude des *Arabidetum caeruleae* auf dem Zugspitzplatt begründet auch den teilweise großen Artenreichtum der Aufnahmen (bis zu 24 erfasste Arten), zu dem sowohl Arten der *Elyno-Seslerietea* im unteren Untersuchungsbereich als auch solche der *Thlaspietalia rotundifolii* im subnivalen Bereich beitragen. Dass in den hochgelegenen Aufnahmen der letztgenannten Gruppe schließlich lediglich die namensgebende Blaue Gänsekresse (*Arabis caerulea*) als einzige starke Charakterart (ENGLISCH et al. 1993, OBERDORFER 1973) verbleibt, unterstreicht den subnivalen Charakter der Art.

Täschelkraut-Halden

Die flächenhaft am weitesten verbreitete Gesellschaft auf den Schuttflächen des oberen Zugspitzplatts ist die Täschelkraut-Halde (*Thlaspietum rotundifolii* Jenny-Lips 1930). Es handelt sich um eine Gesellschaft, deren Arten stark an den Lebensraum des bewegten Schutts angepasst sind. So zählt etwa das namensgebende Rundblättrige Täschelkraut (*Thlaspi rotundifolium*) zu den Schuttwanderern, das Alpen-Leinkraut (*Linaria alpina*) zu den Schuttkriechern und die Gämsekresse (*Pritzelago alpina*) zu den Schuttstauern (REISIGL & KELLER 1987). Das *Thlaspietum rotundifolii* ist dabei aufgrund andauernder Schuttaktivität (WEBER 1981) sowie mangelnder Konkurrenzkraft von Arten in der Sukzession nachfolgender Gesellschaften besonders im subnivalen Bereich oft eine Dauergesellschaft. Es ist mit im Mittel 7,6 erfassten Arten die artenärmste Gesellschaft auf dem Zugspitzplatt und lässt sich in drei Subassoziationen gliedern. 21 der 34 kartierten Flächen sind zur typischen Ausprägung zu rechnen und finden sich bevorzugt auf den Schutthalden unterhalb der Plattumrahmung. Ausgliedern lässt sich in dieser Gruppe nochmal eine alpin getönte Form auf tief gelegenen Halden. Hier kommen verstärkt Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in der alpinen Zone vor. Die zweite Hauptgruppe (12 Aufnahmen) unterscheidet sich von der ersten Hauptgruppe durch die Anwe-

senheit von Sendtners Alpenmohn (*Papaver sendtneri*). Sie kommt auf weniger bewegten, verfestigten und von einem größeren Feinbodenanteil geprägten Standorten wie etwa den Moränen holozäner Gletschervorstöße im oberen Untersuchungsgebiet als eigene Subassoziation „papaveretosum sendtneri“ (ENGLISCH et al. 1993) vor. Mit lediglich einer Aufnahme ist schließlich im Bereich der Knorr-Hütte die nach EGGENSBERGER (1993) subalpine Subassoziation mit Schild-Ampfer (*Rumex scutatus*) vertreten.

Berglöwenzahnhalden

Bei einem Nachlassen der Schuttaktivität dringt auf den Täschelkrauthalden des Zugspitzplatts auf Flächen mit überwiegend südlicher Expositionskomponente unterhalb etwa 2500 m zunehmend der Berglöwenzahn (*Leontodon montanus*) in die Täschelkraut-Halden ein. Damit vollzieht sich der gesellschaftliche Wandel hin zur Berglöwenzahn-Halde (*Leontodontetum montani* Jenny-Lips 1930). Gegenüber der Täschelkraut-Halde ist diese durch ein höheres Wärmebedürfnis gekennzeichnet (ENGLISCH et al. 1993). Mit einer mittleren Artenanzahl von 15,9 ist die Gesellschaft im Untersuchungsgebiet mehr als doppelt so artenreich wie die Täschelkraut-Halde. Unter den Begleitarten sind die Rasenarten ebenfalls stärker vertreten, was auf gesteigerte Ansprüche in Bezug auf die klimatische Gunst hinweist.

HETEROGENITÄT DER VEGETATION DES ZUGSPITZ-PLATTS

Die aktuelle Vegetation des Zugspitzplatts weist somit eine sehr heterogene Vegetation auf, was anhand dreier Auswertungen verdeutlicht wird. Betrachtet man die 237 Vegetationsaufnahmen hinsichtlich der Anzahl der vorgefundenen Arten (Abb. 3), so variiert diese sehr stark zwischen 2 und 49. Dabei ist erwartungsgemäß eine mittlere Abnahme der Artenanzahl mit zunehmender Geländehöhe festzustellen. Auffällig ist jedoch bei den Aufnahmen bis ca. 2100 m Höhe die große Bandbreite zwischen artenarmen und artenreichen Flächen. Zudem fällt im Bereich zwischen ca. 2400 m und ca. 2500 m eine gewisse Konstanz bezüglich der mittleren Artenanzahl auf ehe diese in größeren Höhen sprunghaft abnimmt. Ein relativ analoges Bild liefert ein Blick auf die Summe der Artmächtigkeit aller Aufnahmen im Verhältnis zur Höhe (Abb. 4). Die Werte reichen dabei von 5 bis 149. Durch diese Auswertungen wird verdeutlicht, dass zusätzlich zum vertikalen Gradienten auch an Standorten gleicher Höhenlage stark heterogene Standortbedingungen zu einer entsprechend heterogenen Vegetation führen. Das Herausstechen der Bereiche um 2100 m sowie zwischen 2400 m und 2500 m liegt in deren Eigenschaft als Ökotope auf dem Zugspitzplatt begründet. In diesen Grenzbereichen zwischen subalpinen- und alpinen- bzw. alpinen- und subnivaler Stufe kommen Arten beider jeweils angrenzender Höhenstufen parallel vor und erhöhen somit lokal die Phytodiversität.

Die Ordination der 154 in den Aufnahmen vertretenen Arten und ihres Vorhandenseins in den jeweiligen Einzelaufnahmen mittels Detrended Correspondence Analysis (DCA) zeigt eine Gradient-Länge der Ordinationsachsen von etwa 6,5 bzw. 9 Standardabweichungen (Abb. 5). Geht man nun davon aus, dass eine Gradient-Länge >4 von einer der Ordinations-

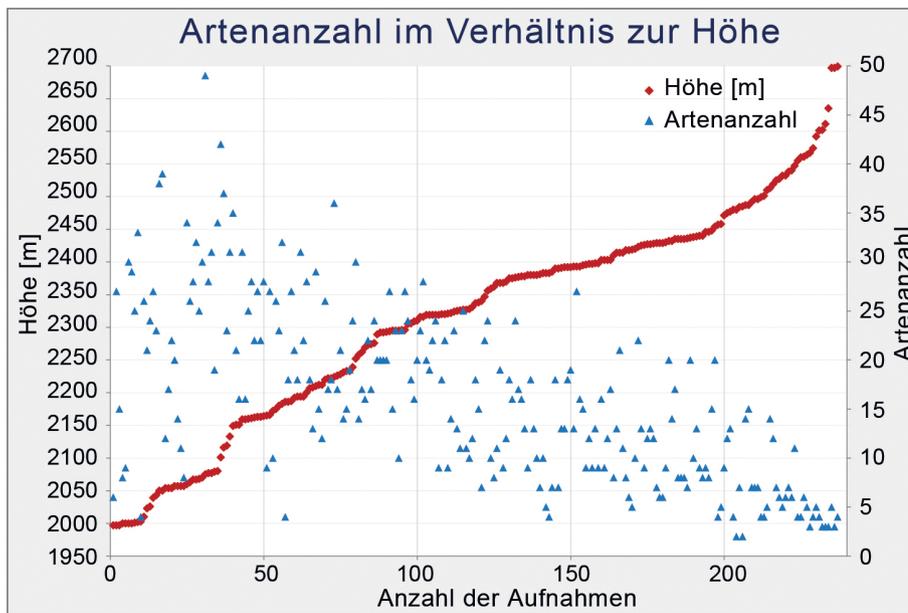


Abb. 3: Anzahl der aufgenommenen Arten je Aufnahme­fläche im Verhältnis zur Höhenlage. Neben der hohen Variabilität der Artenanzahl ist eine verstärkte Artenvielfalt im Bereich der beiden Ökotope des Untersuchungsgebiets zu erkennen.

Fig. 3: Number of recorded species per sample plot in relation to altitude. Apart from a high variability of the recorded numbers a higher biodiversity within the two ecotones of the research site is depicted.

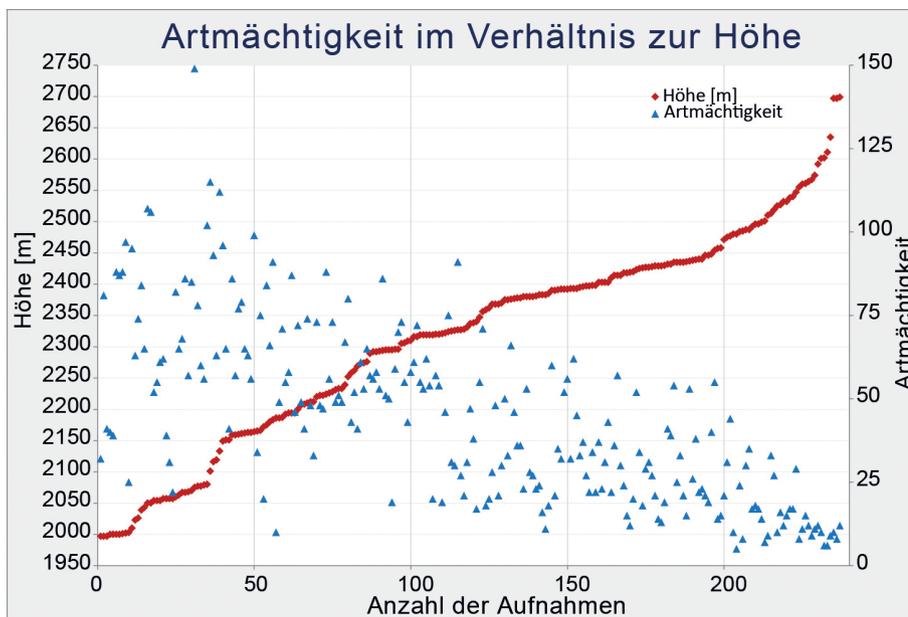


Abb. 4: Kumulative Artmächtigkeit je Aufnahme­fläche im Verhältnis zur Höhenlage. Auch bei diesem Wert ist deutlich der erhöhte Artenreichtum der Ökotope sichtbar.

Fig. 4: Cumulative abundance/dominance values per sample plot in relation to altitude.

achsen einen kompletten Wechsel der dargestellten Eigenschaft bedeutet (LEYER & WESCHE 2007), so wird dadurch die beschriebene Heterogenität ebenso deutlich bestätigt.

VEGETATIONSDYNAMIK AUF DEM ZUGSPITZPLATT

Schwankungen der Krummholzgrenze

Die heutige Obergrenze des Latschengürtels ist wahrscheinlich wie an vielen anderen Stellen der Alpen anthropozoen herabgesetzt. Dies manifestiert sich sowohl im allgemein vitalen Zustand und Früchten von *Pinus mugo* bis an die derzeitige Höhenverbreitungsgrenze der Art als auch im Vorhandensein von Zwergstrauchheiden als Ersatzgesellschaften (s.u.). Oberhalb der aktuellen Latschengrenze konnten mehrmals Holzreste von *Pinus mugo* im Boden nachgewiesen werden. Die ¹⁴C-Datierung einer solchen Probe

ergab ein mittleres konventionelles Alter von 195 BP (+/-39 Jahre). Dies entspricht einer Datierung in die Mitte bzw. die zweite Hälfte des 18. Jh. Unter der Annahme einer Depression der Höhenstufen während der damaligen „kleinen Eiszeit“ wird deutlich, dass die heutige Krummholzgrenze noch unterhalb dieses Wertes liegt.

Faktoren, welche die Vegetationsdynamik beeinflussenden

Basierend auf der aktuellen Flora und Vegetation und deren räumlichen sowie pflanzensoziologischen Gliederung, lässt sich die Dynamik der Plattvegetation anhand von fünf Faktoren bzw. Faktorengruppen zusammenfassen und erläutern. Die ersten vier, der Standort, das (Gelände-)Klima, die Herbivorie sowie der Mensch beeinflussen sich hierbei teilweise einseitig oder gegenseitig und können auch von der Vegetation beeinflusst werden.

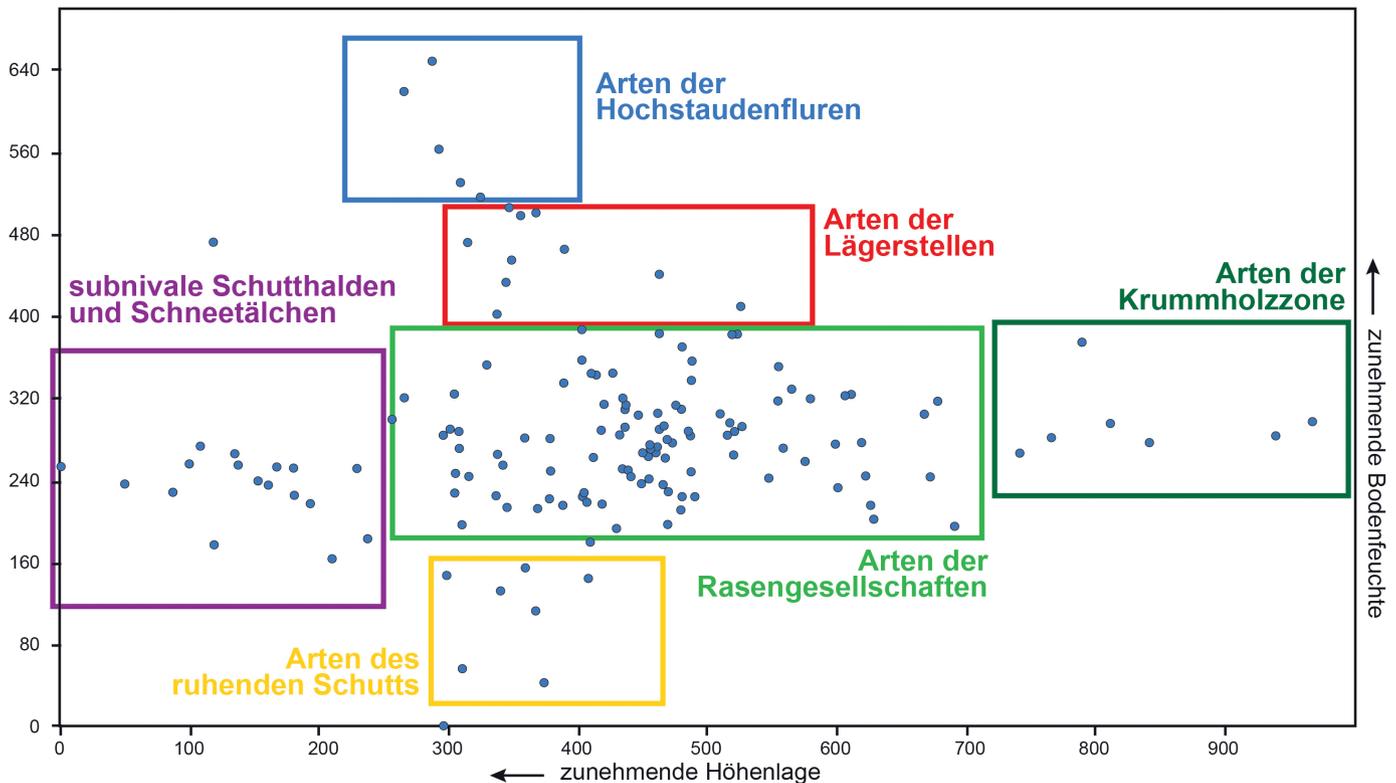


Abb. 5: Detrended Correspondence Analysis (DCA) der in den Einzelaufnahmen erfassten Taxa/Artmächtigkeit (KORCH 2014 verändert). Die Länge der beiden auf den Achsen abgebildeten Gradienten ist deutlich >4 Standardabweichungen. Die Überschreitung dieses Wertes weist auf einen kompletten Wechsel der dargestellten Standorteigenschaft hin (LEYER & WESCHE 2007).

Fig. 5: Detrended Correspondence Analysis (DCA) of the species and the corresponding abundance/dominance values recorded in the sample plots (KORCH 2014 modified). The gradient-length of both axes is >4 standard deviations. This value indicates a complete turnover of the depicted site condition (LEYER & WESCHE 2007).

Die räumliche Verteilung der Arten und Pflanzengesellschaften wird maßgeblich sowohl von geomorphologischen und geologischen Gegebenheiten als auch von sich verändernden Bodenbedingungen gesteuert. Exemplarisch beeinflusst der anstehende Wettersteinkalk zunächst stark die Pedogenese, so dass sich großflächig eine kalkliebende Vegetation (z.B. *Rhododendro hirsuti*-*Pinetum mugo*, *Caricetum firmiae*, *Thlaspietum rotundifolii*) einstellt. Dennoch sind kleinräumig auch Standorte der Bodenversauerung unterworfen, sei es durch fortschreitende Entbasung und allochthone Glimmer-Einwehungen aus den Zentralalpen oder auch durch die Pflanzen selber, etwa im Bereich der Tangelrendzinen unter Latschengebüsch. Letztgenannte verdeutlichen, dass die so ständig ablaufende Veränderung der Bodeneigenschaften auch aktuell ablaufende vegetationsdynamische Prozesse nach sich zieht. Wiederholt konnte auf größeren Latscheninseln das vermehrte Auftreten von *Rhododendron hirsutum* am talwärts gerichteten Rand der Gebüsch mit geringerer Rohhumusauflage und ein Dominieren von *Rhododendron ferrugineum* in den Zentren sowie an den hangaufwärts gerichteten, aufgrund des Schneedrucks mutmaßlich ältesten Bereichen mit großem Rohhumushorizont beobachtet werden.

Unterschiedliche solare Exposition sowie die Dauer der jährlichen Schneebedeckung beeinflussen die Verbreitung der Assoziationen. Geländeklimatologische Untersuchungen auf dem Zugspitzplatt zeigen, dass benachbarte Standorte aufgrund der heterogenen Mikro- bzw. Meso-Topographie oft ein stark unterschiedliches Mikroklima aufweisen (Abb. 6), was häufig

zu einer komplett anderen Vegetation führt. So kann beispielsweise das Gänsekresse-Schneetälchen unmittelbar neben dem Polsterseggen-Rasen ausgebildet sein.

Generell ist anzunehmen, dass die aktuell feststellbare Erwärmung des Klimas zu einer im Mittel immer weiter abnehmenden Schneedeckendauer und -mächtigkeit führt und somit besonders jene Arten bzw. Gesellschaften begünstigt, die auf eine längere Vegetationsperiode angewiesen sind. Ein Indiz dafür können die initialen Bestände des *Caricetum firmiae* in den hochgelegenen Bereichen des südwestlichen Zugspitzplatts sein (Abb. 2), die 2009-2015 wesentlich ausgedehnter vorgefunden werden konnten als noch von CREDNER (1995) beschrieben.

Der alpine und subalpine Bereich des Zugspitzplatts werden seit Jahrhunderten während der Monate Juni-August als Schafweide genutzt. Zusammen mit natürlich vorkommenden Pflanzenfressern wie Gämsen und Schneehühnern beeinflussen diese Schafe durch Verbiss, Tritt und Düngung nahezu gebietsumfassend, jedoch lokal in unterschiedlichem Maße, die Flora und Vegetation des Untersuchungsgebiets. Wie gezeigt, sind einige der vorgefundenen Pflanzengesellschaften wie die Borstgras- und die Faxrasen sogar unmittelbar an die regelmäßige Bestoßung gebunden. Da zudem wiederholt durch Beobachtung festgestellt werden konnte, dass der Grad der Beweidung aufgrund der Größe der für die Schafe zur Verfügung stehenden Fläche sowie der jeweiligen Witterung in den Einzeljahren hinsichtlich räumlicher Ausdehnung, Zeitpunkt und Frequenz variiert, darf auch die Rolle der



Abb. 6: Temperaturverlauf für den Zeitraum 01.08.2014-31.07.2015 für die Standorte Brunntal Nord, Brunntal Süd sowie Plattspitzen. Während die ersten beiden Datalogger windexponiert auf Geländekuppen des unteren Zugspitzplatts liegen und ganzjährig einen ähnlichen Temperaturverlauf zeigen, weist der in einer Geländesenke gelegene Standort Plattspitzen eine ausgedehnte Phase mit Schneebedeckung und somit fehlenden winterlichen Temperaturextrema auf.

Fig. 6: Records of the air temperature over the period 08.01.2014-07.31.2015 for the sites Brunntal North, Brunntal South and Plattspitzen. The first two data loggers are located on hilltops and show almost similar temperature values during the whole period. By contrast, the third one is located in a depression and shows a vast period of snow cover with a lack of extreme winter values.

Beweidung als kurzfristiger Dynamikfaktor nicht außer Acht gelassen werden.

Seit den 1930er Jahren, als die Zahnradbahn auf das Zugspitzplatt sowie das Hotel Schneefernerhaus ihren Betrieb aufnahmen, ist das Untersuchungsgebiet für den Massentourismus erschlossen. Aktuell präsentieren sich die Areale um größere Gebäude praktisch vegetationslos und der Bereich des Skigebietes zeigt teilweise eine stark gestörte bzw. beeinflusste Vegetation (Abb. 2). Aufgrund der winterlichen Pistenpräparierung, die mit einer Verdichtung und oft auch Erhöhung der winterlichen Schneedecke einhergeht, kommt es in diesem Bereich zu einer anthropogen bedingten massiven Verlängerung der Schneedeckendauer und daraus resultierend zu einer Begünstigung von Arten des *Arabidetum caeruleae*. Dies wurde von CREDNER (1995) bereits punktuell nachgewiesen und konnte durch die aktuellen Untersuchungen für das gesamte obere Skigebiet bestätigt werden. Ebenfalls ruft der Wandertourismus entlang von Wanderwegen, etwa durch Tritt, Veränderungen der Vegetation hervor.

Ergänzend zu diesen vier Faktoren spielt die Zeit als fünfter Faktor eine übergeordnete, verbindende Rolle. Vegetationsdynamik und der daraus resultierende stetige Wandel der Plattvegetation stellt immer das Produkt der Interaktion unterschiedlich lange andauernder Prozesse im Kontext der genannten Faktoren Standort, (Gelände-)Klima, Herbivorie und Mensch dar.

LANGZEITBEOBACHTUNG AUF DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN

Um die beobachtete Vegetationsdynamik weiter quantifizieren und statistisch absichern zu können, wird seit 2010 im Untersuchungsgebiet ein Dauermonitoring auf 38 Dauerbeobachtungsflächen durchgeführt. Ein besonderer Fokus liegt hierbei im Bereich der beiden Ökotope (Übergangsbereich der subalpinen hin zur alpinen bzw. der alpinen hin zur subnivalen Vegetationsstufe) des Untersuchungsgebiets,

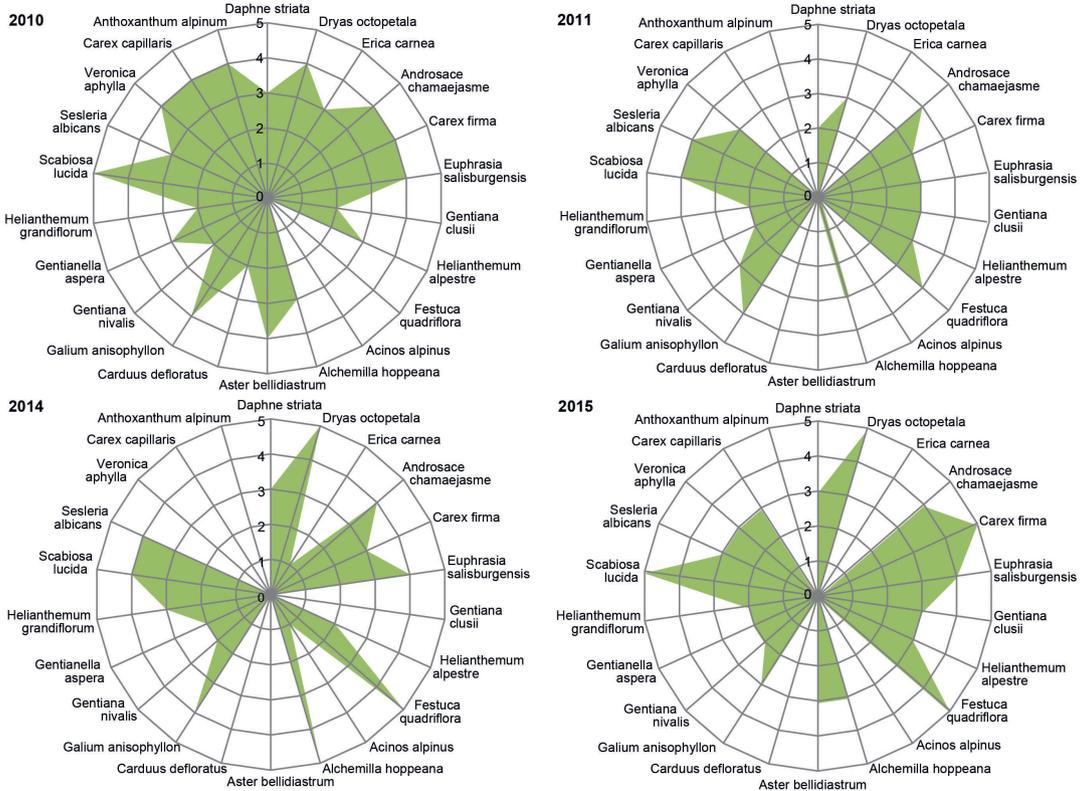
da hier eine verstärkte Vegetationsdynamik erwartet wird. Dies gilt nicht nur im Zusammenhang mit den im vorherigen Kapitel erwähnten Faktoren und Prozessen, sondern großskaliger auch im Kontext eines sich flächenmäßig auswirkenden zunehmenden klimatischen Wandels. In Abbildung 7 ist die Entwicklung der Kenn- und Trennarten aller syntaxonomischen Ebenen auf zwei dieser Flächen (aktuell jeweils mit einem Polsterseggen-Rasen bestanden) im Zeitraum 2010-2015 exemplarisch dargestellt. Die Entwicklung der aufgenommenen Artmächtigkeitswerte verläuft dabei auf beiden Flächen ähnlich. Während 2011 im Mittel zunächst eine deutliche Abnahme gegenüber 2010 festgestellt werden kann, nehmen die Werte 2014 und 2015 wieder kontinuierlich zu, ohne die Ausgangsgrößen wieder erreicht zu haben. Zusätzlich ist zu erkennen, dass manche Arten nur in einzelnen Jahren erfasst werden konnten.

Der kühle Witterungsverlauf im Juli 2011 sowie die beiden insgesamt warmen Sommer 2014 und besonders 2015 liefern einen ersten Ansatz für die festgestellte Entwicklung der Vegetation auf den beschriebenen Flächen. Hinzu kommt aber auch ein in den Einzeljahren sehr unterschiedlicher Grad an Verbiss durch Beweidung, was die teilweise variierte festgestellte Artenzusammensetzung erklären kann. Inwiefern sich diese Tendenzen weiter fortsetzen werden, wird aber erst nach weiteren Monitoring-Jahren gesichert gesagt werden können. Somit zeigt das bisherige Monitoring zwar bereits einige Hinweise bezüglich langfristiger dynamischer Prozesse, gleichzeitig scheint der bisherige Monitoring-Zeitraum allerdings zu kurz, um endgültig statistisch belastbare Daten zu liefern. Hier bedarf es somit einer weiteren, konsequenten Fortführung der begonnenen Arbeit.

AUSBLICK AUF LAUFENDE SOWIE KÜNFTIGE FORSCHUNG

Somit ist die kontinuierliche Fortführung der Dauerbeobachtung ggf. auch auf weiteren Sonder-Dauerbeobachtungsflächen (z.B. Einzäunung zum Ausschluss der Herbivorie)

Dauerbeobachtungsfläche 1



Dauerbeobachtungsfläche 3

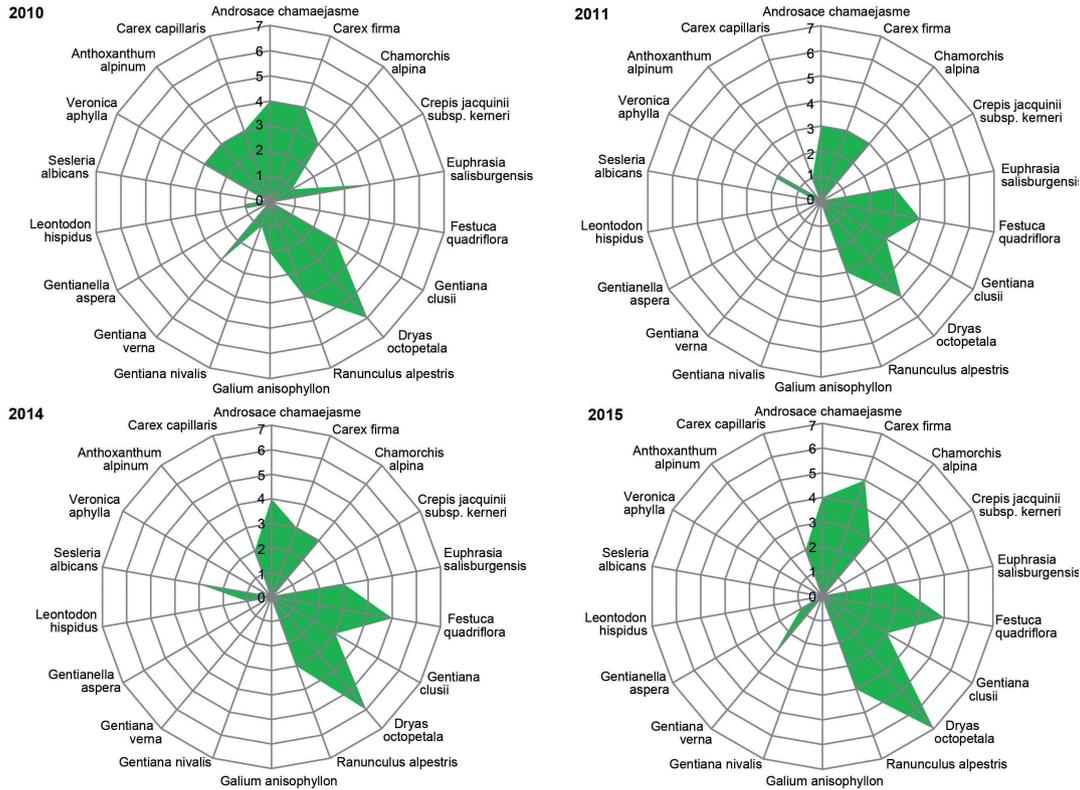


Abb. 7: Entwicklung des Bestandes und der Artmächtigkeit der Kenn- und Trennarten auf den Dauerbeobachtungsflächen 1 und 3 für den Zeitraum 2010 bis 2015. Während die Werte zwischen der Erstaufnahme 2010 und der ersten Wiederaufnahme 2011 stark abgenommen haben, zeigen beide Flächen seither eine positive Entwicklung ohne bisher den Ausgangswert wieder erreicht zu haben. Um eindeutige Ursachen für diese Entwicklungen auszumachen, ist eine konsequente Fortführung der Dauerbeobachtung unbedingt angezeigt.

Fig. 7: Development of the character- and differential species for the permanent sample plots 1 and 3 over the period 2010-2015. The record shows a significant decrease from 2010 to 2011. Up to present it has been recovering without reaching the original state. To clearly identify the triggering factors for this development a consequent continuation of the long-term monitoring is indicated.

in den kommenden Jahren geplant. Auch werden aktuell und künftig noch weitere Verdichtungskartierungen zu noch offenen pflanzensoziologischen Fragestellungen bzw. zur weiteren Präzisierung der bisherigen Ergebnisse durchgeführt. So legen noch nicht abschließend ausgewertete und interpretierte Verdichtungs-aufnahmen aus dem Jahr 2015 im Bereich der beschriebenen Zwergstrauchheiden des südöstlichen Zugspitzplatts nahe, dass zumindest in der Nähe zum Gatterl rezent eine Wiederbesiedelung durch *Pinus mugo* stattfindet, was im Zusammenhang mit einer aktuell nicht mehr so starken Beweidung stehen könnte. Weiter sind für die Zukunft die Fortführung und der Ausbau der begonnenen geländeklimatologischen Messreihen geplant. Zur weitergehenden Analyse im Kontext einer räumlichen, zeitlichen und witterungsbedingten Quantifizierung und Differenzierung der Auswirkungen der Herbivorie wird schließlich seit 2015 ein Monitoring der Schafe mittels GPS-gestützter Halsbänder betrieben.

DANKSAGUNG

Unser Dank gilt dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV, bis 2014 Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit) für die Finanzierung der Forschung im Rahmen der Forschungsvorhaben KLIMAGRAD I (2009-2013) und KLIMAGRAD II (seit 02.2015). Ebenfalls möchten wir der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus für die logistische Hilfe, der Bayerischen Zugspitzbahn Bergbahn AG für die Unterstützung durch Freifahrten auf das Zugspitzplatt sowie der Weidegenossenschaft Partenkirchen für freundliche Bereitschaft am GPS-Monitoring der Schafe mitzuwirken danken. Abschließend danken wir den drei anonymen Fachgutachtern für die hilfreichen und konstruktiven Vorschläge zur Verbesserung des eingereichten Manuskripts.

Literatur und Quellen

Aichinger, E. (1933): Vegetationskunde der Karawanken. - Pflanzensoziologie 2: 1-329.

Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Wien-New York, 3. Aufl., 1-865.

Credner, B. (1995): Vegetations- und Bodenentwicklung im Bereich des Zugspitzplatts (Wettersteingebirge). Unveröffentlichte Diplomarbeit, LMU München, 1-101.

Credner, B., Hüttl, C., & Rögner, K. (1998): The formation and distribution of soils and vegetation at the Zugspitzplatt (Bavaria, Germany) related to climate, aspect and geomorphology. - *Ecologie* 29 (1-2): 63-65.

Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie. UTB Stuttgart, 1-683.

Englisch, T., Valahović, M., Mucina, L., Grabherr, G. & Ellmauer, T. (1993): *Thlaspietea rotundifolii*. - In: G. GRABHERR & L. MUCINA (Hrsg.): Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil II: Natürliche und waldfreie Vegetation. Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-New York, 276-346.

Ellmauer, T. & Mucina, L. (1993): Molinio-Arrhenatheretea. - In: L. MUCINA, G. GRABHERR & T. ELLMAUER (Hrsg.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil I: Anthropogene Vegetation, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-New York, 297-401.

Egensberger, P. (1993): Die Pflanzengesellschaften der subalpinen und alpinen Stufe der Ammergauer Alpen und ihre Stellung in den Ostalpen. - Diss. Univ. Regensburg, 1-232.

Fischer, A. & Klotz, S. (1999): Zusammenstellung von Begriffen, die in der Vegetations-Dauerbeobachtung eine zentrale Rolle spielen. - *Tuexenia* 19: 3-11.

Grabherr, G. (1993): *Caricetea curvulae*. - In: G. GRABHERR & L. MUCINA (Hrsg.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil II: Natürliche und waldfreie Vegetation, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-New York, 343-372.

Grashey-Jansen, S., Korch, O., Beck, C., Friedmann, A., Bernhard, R. & Dubitzky C. (2014): Aeolian influenced soil sites in consideration of

atmospheric circulation types – a case study in the alpine zone of the Zugspitzplatt (Northern Calcareous Alps, Germany). - *J. Geol., Agriculture and Environmental Sciences* 2 (4): 11-19.

Hagg, W., Mayer, C., Mayr, E. & Heilig, A. (2012): Climate and glacier fluctuations in the Bavarian Alps in the last 120 years. - *Erdkunde* 66: 121-142.

Hirtltreiter, G. (1992): Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Wettersteingebirge und seiner Umgebung. - *Münchner Geograph. Abhandl.* 15: 1-153.

Hüttl, C. (1999): Steuerungsfaktoren und Quantifizierung der chemischen Verwitterung auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge, Deutschland). - *Münchner Geograph. Abhandl.* 30: 1-171.

Leyer, I. & Wesche, K. (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie. - korr. Nachdruck 2008, Springer, Berlin-Heidelberg, 1-221.

Lippert, W. (1966): Die Pflanzengesellschaften des Naturschutzgebietes Berchtesgaden. - Sonderdruck aus den Berichten der Bayerischen Botanischen Gesellschaft 39: 1-122.

Korch, O. (2014): Untersuchungen zu Flora und Vegetation des Zugspitzplatts (Wettersteingebirge, Bayerische Alpen) – Rezente Vegetationsdynamik unter besonderer Berücksichtigung klimatischer und anthropo-zoogener Prozesse. - Diss. Univ. Augsburg, 1-187.

Korch, O., Friedmann, A., Grashey-Jansen, S. & Seipp, C. (2013): Vegetation und Böden oberhalb der Waldgrenze des Zugspitzplatts. - *Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge* 3: 36-38.

Küfmann, C. (2003): Soil types and eolian dust in high-mountainous karst of the Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt, Wetterstein Mountains, Germany). - *Catena* 53: 211-227.

Küfmann, C. (2006): Quantifizierung und klimatische Steuerung von rezenten Flugstaubeinträgen auf Schneeoberflächen in den Nördlichen Kalkalpen (Wetterstein-, Karwendelgebirge, Berchtesgadener Alpen, Deutschland). *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F.* 50 (2): 245-268.

Küfmann, C. (2008): Are Cambisols in Alpine Karst Autochthonous or Eolian in Origin? - *Arctic Antarctic Alpine Res.* 40 (3): 506-518.

Oberdorfer, E. (1973): *Salicetea herbaceae* Br.-Bl. et al. 47. - In: E. OBERDORFER (Hrsg.), *Süddeutsche Pflanzengesellschaften*, -Teil I: Fels- und Mauergesellschaften, alpine Fluren, Wasser-, Verlandungs-, und Moor-gesellschaften. Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-New York, 4. Aufl. 1998: 214-220.

Pfadenhauer, J. (1997): Vegetationsökologie – Ein Skriptum, 2. Aufl., 1-448.

Rappl, A., Wetzel K.-F., Büttner, G. & Scholz, M. (2010): Tracerhydrologische Untersuchungen am Partnach-Ursprung. - *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 54: 222-230.

Reichelt, G. & Wilmanns, O. (1973): *Vegetationsgeographie*. - Das Geographische Seminar, Praktische Arbeitsweisen. Westermann, Braunschweig, 1-210.

Reisigl, H. & Keller, R. (1987): *Alpenpflanzen im Lebensraum: Alpine Rasen, Schutt- und Felsvegetation*. Gustav Fischer, Stuttgart-New York, 1-149.

Rennwald, E. (2000): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. - *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 35: 1-800.

Rösler, S. (1997): Die Rasengesellschaften der Klasse Seslerietea in den Bayer. Alpen und ihre Verzahnung mit dem Carino-Caricetum sempervirentis (Klasse Festuco-Brometea). - *Hoppea* 58: 5-215.

Saitner, A. & Pfadenhauer J. (1992): Die Vegetation im Bereich des Dammkars bei Mittenwald und ihre Beeinflussung durch den Tourismus. - *Jb. Verein zum Schutz der Bergwelt* 57: 11-89.

Seibert, P. (1992): Klasse Vaccinio-Piceetea Br.-Bl. In Br.-Bl. et al. 39. - In: E. OBERDORFER (Hrsg.), *Süddeutsche Pflanzengesellschaften*, Teil IV: Wälder und Gebüsche, Textband, Gustav Fischer, Jena-Stuttgart-New York, 2. Aufl.: 53-80.

Söyrinki, N. (1954): Vermehrungsökologische Studien in der Pflanzenwelt der Bayerischen Alpen. - 1. spezieller Teil. Die Pflanzengesellschaften und Samenpflanzen der alpinen Stufe des Schachengebietes und ihre Vermehrungsverhältnisse. - *Annales Botanici Societ. Zool. Botanicæ Fennicae „Vanamo“* 27: 1-232.

Uhlig, H. (1954): Die Altformen des Wettersteingebirges mit Vergleichen in den Allgäuer und Lechtaler Alpen. - *Forschungen zur deutschen Landeskunde* 79: 1-103.

Weber, J. (1981): Die Vegetation der Mieminger Kette mit besonderer Berücksichtigung der Rotföhrenwälder (Grundlagen für die Raumplanung). - Diss. Univ. Innsbruck, 1-403.

Wetzel, K.-F. (2004): On the hydrology of the Partnach area in the Wetterstein Mountains (Bavarian Alps). - *Erdkunde* 58: 172-186.

Wetzel, K.-F. (2005): Discharge analysis of an alpine karst spring - the example of the Partnach spring (Bavarian Alps). - *Landschaftsökologie und Umweltforschung* 48, Proc. Internat. Conference on Mountain Hydrology in Berchtesgaden (Sept. 2004): 91-98.

Wisskirchen, R. & Haeupler, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Ulmer, Stuttgart, 1-765.

Zöttl, H. (1950): Die Vegetationsentwicklung auf Felsschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. - Diss. LMU München, 1-201.