

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 22, 114-128. Hannover 2010

Die Vegetation des Zugspitzplatts (Wettersteingebirge, Bayerische Alpen): Aktueller Zustand und Dynamik

- Arne Friedmann und Oliver Korch, Augsburg -

Abstract

The vegetation of the Zugspitzplatt area in the Wetterstein mountains (Northern Calcareous Alps, Bavaria, Germany) is investigated in this study. The upper subalpine vegetation belt with the treeline ecotone consists of a mosaic of *Rhododendron*-rich dwarf-shrub heath, grassland and prostrate pine (*Pinus mugo*) scrub. The upper limit of prostrate pine reaches 2080 m. Above treeline in the alpine zone, natural grasslands and pastures occur with a gradual change from closed *Sesleria varia*-*Carex sempervirens* associations to open *Carex firma*- and creeping *Salix* spp.- dominated communities with increasing altitude. In the subnival zone specially adapted herbs- and graminoid-rich scree, rock and snowbed communities prevail. Considerably widespread are also vegetation free areas like exposed ridges, rock faces, permanent snowfields and glaciers.

The results of the 2009 Zugspitzplatt vegetation survey are compared to earlier mappings of 1949 (ZÖTTL 1951) and 1994 (CREDNER 1995). We find an increase in plant species richness and a rise of the upper limit distribution of several plant species. A comparison of the indicator values of the mapped vegetation communities showed only little change since 1949. The causes of the noted changes are related to different levels of anthropogenic influences (especially tourism) and particularly the impact of sheep grazing. Global warming has led to a differentiated cooling trend at the Zugspitze from 1950-1980 and a marked warming trend since 1980. This resulted in a prolonged growing season and a reduced duration of snow cover.

Key words: Zugspitze, alpine flora, vegetation changes, global warming, anthropogenic influences.

1. Einleitung

Der Erforschung der Vegetation des Zugspitzplatts hinsichtlich ihrer Verbreitung, Zusammensetzung und Dynamik kommt nicht nur aufgrund der einmaligen Stellung des Gebiets als höchstgelegenes vegetationsgeographisches Untersuchungsgebiet der Bundesrepublik Deutschland Bedeutung zu. Hervorzuheben ist dieses Gebiet zudem wegen seiner kleinräumigen Gliederung in weitgehend vom Menschen unberührte Flächen, auf welchen die Pflanzendecke hauptsächlich durch natürliche Prozesse beeinflusst wird. Andere Flächen in unmittelbarer Nachbarschaft unterliegen dagegen einer starken anthropo-zoogenen Einwirkung, die sich etwa durch Flächenversiegelungen, Trittschäden und Nährstoffeinträge manifestieren. Als weiterer Aspekt kommt eine Veränderung des Klimas zu höheren Jahresdurchschnittstemperaturen und damit verbunden einer längeren Vegetationsperiode hinzu (IPCC 2007, SEILER 2004), deren Auswirkungen auf die Flora des Platts zu untersuchen sind.

Untersuchungen aus anderen, vom Menschen überwiegend unbeeinflussten Alpengegenden belegen Anpassungen der Vegetation hinsichtlich Höhenverbreitung, Bedeckungsgrad sowie Artenreichtum und -zusammensetzung, die auf den globalen Klimawandel zurückgeführt werden (GRABHERR et al. 1994, TEURILLAT & GUISSAN 2001, WALTHER et al. 2005, PAULI et al. 2007, KUDERNATSCHE 2007).

In der vorliegenden Arbeit wird ein besonderes Augenmerk auf die anthropo-zoogenen Einflüsse gelegt.

2. Das Verbundprojekt KlimaGrad

Das Forschungsvorhaben „Auswirkungen des Klimawandels in den Alpen – Erfassung mittels Höhengradienten (KLIMAGRAD)“ ist ein Gemeinschaftsprojekt der Technischen Universität München, der Ludwig-Maximilians-Universität München, des Botanischen Gartens München-Nymphenburg, der Universität Augsburg und des Helmholtz Zentrums München in Zusammenarbeit mit der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS). Koordinatorin des Projekts ist Frau Prof. Dr. Annette Menzel, Fachgebiet Ökoklimatologie, TU München. Das Projekt wird seit August 2009 über einen Zeitraum von drei Jahren vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit gefördert.

KLIMAGRAD besteht aus vier Teilprojekten:

1. Infrastruktur (Technische Universität München).
2. Phänologische und vegetationskundliche Untersuchungen in der montanen bis subalpinen Stufe an Höhengradienten im Wetterstein und am Schachen (Technische Universität München, Ludwig-Maximilians-Universität München).
3. Höhenabhängige vegetations- und standortkundliche Untersuchungen der subalpinen bis subnivalen Stufe auf dem Zugspitzplatt („HöhenZug“) (Universität Augsburg).
4. Emissionen / Stoffeinträge (Technische Universität München, Helmholtz Zentrum München).

Das Teilprojekt 3 „Höhenabhängige vegetations- und standortkundliche Untersuchungen der subalpinen bis subnivalen Stufe auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge)“ befasst sich mit der Frage, welche Auswirkungen klimatische Veränderungen sowie anthropo-zoogene Einflussnahmen auf die Vegetation des Zuspitzplatts haben. Hierzu wird seit August 2009 eine umfassende Vegetationskartierung durchgeführt. Ziel der im weiteren Projektverlauf fortzuführenden Kartierung ist die flächendeckende Erfassung der auf dem Zugspitzplatt aktuell vorkommenden Vegetation und ihre pflanzensoziologische Gliederung. Auf Grundlage dieser Daten soll eine Vegetationskarte des Untersuchungsgebiets in Form eines digitalen Geländemodells (DGM) erarbeitet werden.

Als weitere Arbeiten wurden bereits 2009 die einzelnen floristischen Höhenstufen identifiziert sowie die aktuelle Baumgrenze aus *Pinus mugo* eingemessen. Ab Sommer 2010 sind zudem standortökologische Untersuchungen an geeigneten Aufnahmeorten vorgesehen. Weiter soll durch die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen ein langfristiges Monitoring der Vegetationsdynamik einschließlich der Krummholzgrenze im Untersuchungsgebiet begonnen werden.

3. Methoden

Als Grundlage der in der Feldsaison 2009 erstellten Vegetationsaufnahmen diente die pflanzensoziologische Methode nach BRAUN-BLANQUET (1964). Als Aufnahmeflächen wurden somit Bereiche mit möglichst einheitlicher Vegetation gewählt. Aufgrund der Geländesituation und des mit zunehmender Höhe allgemein abnehmenden Deckungsgrads wurde die Größe der Aufnahmeflächen variabel gewählt. Die Artmächtigkeit wurde mit dem Ziel einer besseren Vergleichbarkeit entsprechend der ebenfalls in der Arbeit von CREDNER (1995) verwendeten Skala nach REICHELDT & WILMANN (1973) bestimmt. Bei der Benennung der einzelnen Pflanzengesellschaften wurde der Systematik nach POTT (1995) gefolgt. Die Nomenklatur der kartierten Arten richtet sich nach HAEUPLER & MUER (2007). Nach Arten bestimmt wurden bei der Kartierung 2009 neben den Gefäßpflanzen auch die Kryptogamenflora, auf die hier jedoch nicht genauer eingegangen werden soll.

Um eine spätere Lokalisierung der Aufnahmeflächen zu ermöglichen, wurden diese mit GPS eingemessen sowie die Höhenlage sowohl mit GPS als auch mit einem barometrischen Höhenmesser ermittelt. Jede Aufnahmefläche wurde zudem fotografiert, um etwaige künftige Veränderungen dokumentieren zu können.

Um die Vergleichbarkeit mit den beiden älteren Kartierungen leisten zu können, wurden den kartierten Arten der Jahre 1949, 1994 und 2009 die jeweiligen Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1992) zugewiesen.

4. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet, mit langem idealtypisch ausgeprägtem Höhengradienten bis in die subnivale Stufe, erstreckt sich über das ganze Zugspitzplatt mit einer Fläche von ca. 7,5 km². Als Abgrenzung gegenüber dem oberen Reintal dient die 2000 m-Höhenlinie. Ausgenommen von den Untersuchungen wurden aufgrund des extremen Reliefs lediglich die Steilwände der Plattumrahmung.

Die Altfläche des Zugspitzplatts (UHLIG 1954), die sich auf ca. 2000 bis 2700 m Meereshöhe erstreckt, ist Teil des Wettersteingebirges und der mittleren Bayerischen Alpen. Es grenzt im Westen und Norden an Teile der Ammergauer Alpen bzw. an das Estergebirge, im Süden an die Mieminger Kette sowie im Osten an das Karwendelgebirge. Umrahmt wird das Untersuchungsgebiet von der Zugspitze (2962 m) im Norden, dem Schneefernerkopf (2874 m) im Westen, dem Wetterwandeck (2698 m) und den Plattspitzen (2675 m) im Süden sowie dem Brunntalkopf (2263 m) im Osten. Die Plattoberfläche ist zu 52% von Gesteinsschutt bedeckt, 32% werden von anstehendem Fels aufgebaut und 16% sind mit Vegetation bewachsen (HÜTTL 1999).

Auf dem Zugspitzplatt befinden sich zwei Gletscher. Deutschlands größter Gletscher, der Nördliche Schneeferner mit einer Ausdehnung von 30,7 ha (2006) sowie der Südliche Schneeferner mit einer Fläche von 8,4 ha (2006), die jedoch beide seitdem weitere Flächenverluste erlitten (KfG 2010). Beide Gletscher befinden sich, unterbrochen lediglich von einer kleineren Vorstoßphase zwischen 1965 und 1981, seit dem Ende der „kleinen Eiszeit“ ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrh. auf dem Rückzug (HIRTLREITER 1992).

Das Untersuchungsgebiet wird überwiegend vom ladinischen Wettersteinkalk, ein Sedimentgestein aus der Trias, aufgebaut. Dieser sehr reine Kalk weist einen CaCO₃-Gehalt von 96-99 % auf (ZÖTTL 1950). Die Verkarstungsfähigkeit dieser Gesteine ist bezeugt durch einen reichen Karstformenschatz im gesamten Untersuchungsgebiet. So werden die schutfreien Bereiche des Untersuchungsgebiets von zahlreichen Karren und Dolinen geprägt, was

schließlich zu einer großen Standortheterogenität für die Vegetation führt. Ebenfalls durch das Karstrelief bedingt ist das Fehlen von oberflächlichem Abfluss auf dem gesamten Plattbereich, was trotz reichlich vorhandenem Niederschlags- und Gletscherschmelzwassers zu einer relativen edaphischen Trockenheit dieser Karstflächen führt.

Durch die wiederholten quartären Vergletscherungsphasen hat das Untersuchungsgebiet zudem eine starke glaziale Überprägung erfahren, was sich im Gelände u.a. in Form von zahlreichen Moränenwällen und Rundhöckern manifestiert.

Rezent ist besonders der Bereich am Fuße der Plattumrahmung stark durch eine aktive Lawinen-, Hang- und Schuttdynamik geprägt.

5. Ergebnisse

5.1 Die aktuelle Vegetation des Zugspitzplatts

Während der Kartierarbeiten im August 2009 konnten auf dem Zugspitzplatt drei floristische Höhenstufen lokalisiert werden. Die mit dem kleinsten Flächenanteil vertretene subalpine Krummholzzone erstreckt sich im Südosten des Plattbereichs bis in eine Höhe von knapp 2100 m. Ihr angeschlossen ist die alpine Zone, welche großflächig bis etwa 2400 m reicht. Typische Biotypen auf dem Platt sind alpine Zwergstrauchheiden, alpine Rasen und Magerweiden. Auf einem SE-exponierten Rundhöcker unterhalb des Wetterwands finden sich Polsterseggenrasen sogar noch auf über 2500 m (Abb. 1). Oberhalb der alpinen Rasen

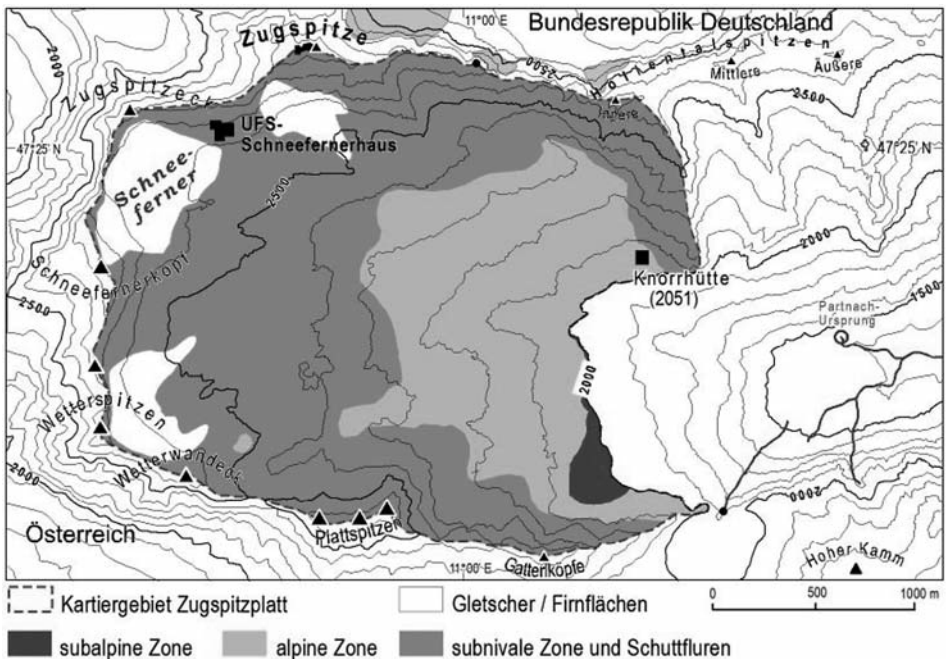


Abb. 1: Die Lage der Vegetationshöhenstufen auf dem Zugspitzplatt.

folgt die Zone der subnivalen Schutt-, Schneetälchen- und Felsspaltengesellschaften, welche mit durchschnittlich abnehmender Artenzahl bis in die höchsten Bereiche des Zugspitzplatts vertreten sind. Am Fuße der Plattumrahmung findet sich, aufgrund der teilweise aktiven

Schutthaldendynamik, auch deutlich unterhalb von 2400 m eine Vegetation, die in ihrer Artenzusammensetzung große Ähnlichkeiten zum subnivalen Bereich aufweist.

Die subalpine Stufe und untere alpine Stufe:

Die im südöstlichen Untersuchungsgebiet vertretene subalpine Krummholzzone wird durch aufgelockerte Latschengebüsche des *Rhodothamno-Rhododendretum hirsuti* aufgebaut. Durch die Akkumulation von Rohhumus können sich in Bereichen mit fortgeschrittener Bodenentwicklung acidophile Arten wie *Vaccinium myrtillus* und *Vaccinium vitis-idaea* trotz des basischen Ausgangssubstrats dauerhaft ansiedeln und neben *Rhododendron hirsutum* tritt stellenweise *Rhododendron ferrugineum* auf (vgl. CREDNER 1995).

Inwiefern die höchsten kartierten Exemplare von *Pinus mugo* in 2080 m tatsächlich die aktuelle klimatische Baumgrenze darstellen, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt der Untersuchungen noch nicht abschließend feststellen. Da es sich hierbei durchweg um fruchtende Exemplare handelt, bleibt zu vermuten, dass zumindest das Aufkommen von Latschenjungwuchs noch an höher gelegenen Gunststandorten möglich wäre, aufgrund des Verbissdrucks durch weidende Schafe jedoch aktuell nicht möglich scheint.

Im Anschluss an das *Rhodothamno-Rhododendretum hirsuti* findet sich an südexponierten Gunststandorten der unteren alpinen Zone kleinflächig das *Seslerio-Caricetum sempervirentis* ausgebildet. Es handelt sich hierbei um eine stark thermophile Gesellschaft (BRAUN-BLANQUET & JENNY 1926) auf feinerdereichen Böden, welche im Vergleich zu den anderen alpinen und subnivalen Gesellschaften des Zugspitzplatts den größten Artenreichtum aufweist. Nach den bisherigen Geländebegehungen 2009 konnten die von CREDNER (1995) erarbeiteten Ergebnisse bestätigt werden, wonach die Blaugras-Horstseggenhalde im Untersuchungsgebiet bis in eine Höhe von etwa 2130 m nur an wenigen begünstigten Orten in einer nicht optimalen Ausbildung vorkommt. Dies ist nach ZÖTTL (1951) darauf zurückzuführen, dass die Bindung dieser Pflanzengesellschaft an wärmebegünstigte, südexponierte Standorte an den überwiegend nord- und ostexponierten Hängen, Schutthalden und Rundhöckern des Untersuchungsgebiets nur sehr begrenzt gegeben ist.

Die alpine Stufe:

Die am häufigsten in der alpinen Zone anzutreffende Assoziation ist das *Caricetum firmae*. Es ist innerhalb des Untersuchungsgebietes flächendeckend bis 2400 m und unterhalb des Wetterwandecks kleinräumig sogar oberhalb von 2500 m vertreten. Diese Polsterseggenrasen können sowohl auf verfestigtem Schutt als auch direkt auf dem anstehenden Kalkgestein als sog. „Karst-Firmeten“ (REISIGL & KELLER 1994) ausgeprägt sein. Während die niedriger gelegenen Polsterseggenrasen artenreicher sind und teilweise schon hin zu den Blaugras-Horstseggenhalden überleiten können, finden sich in den Firmeten der oberen alpinen Zone zahlreiche Vertreter der subnivalen Täschelkrauthalden (vgl. ZÖTTL 1951, CREDNER 1995).

Nach ZÖTTL (1951) nimmt häufig *Dryas octopetala* die Rolle eines Schuttstauers und Schuttfestigers ein und leitet somit die Entwicklung zum *Caricetum firmae* ein. Nach CREDNER (1995) und eigenen Ergebnissen ist diese Rolle des Silberwurzels jedoch eher auf die unteren Bereiche der alpinen Stufe und hier besonders auf das Gelände des Bergsturzes unterhalb der Gatterlköpfe begrenzt. Mit zunehmender Höhe kommt zunehmend den Spalierweiden *Salix retusa* und *Salix serpyllifolia* diese Aufgabe zu.

Eine weitere wichtige Eigenschaft von *Carex firma* ist, dass die Pflanze im Laufe der Jahre ein Polster aus abgestorbenen Pflanzenteilen aufbaut, welches die Funktion eines Wasserspeichers während Trockenphasen übernimmt (RAUH 1939) und zudem ein wichtiger Humusbildner ist.

Als eine Übergangsgesellschaft zwischen den Gesellschaften des bewegten Schutts und den alpinen Rasen ist nach ZÖTTL (1951) das *Salicetum retuso-reticulatae* anzusehen. Demnach können in diesen Spalierweidenrasen sowohl Arten des bewegten Schutts als auch der alpinen Rasen vertreten sein. Floristisch weist diese Gesellschaft zudem eine Ähnlichkeit mit dem mehr subnival verbreiteten *Arabidetum caeruleae* auf, ist jedoch im Unterschied zu diesem wärmeliebender und auf eine kürzere Schneedeckendauer angewiesen (BRAUN-BLANQUET & JENNY 1926). Ähnlich wie die *Carex firma*-Polster sind auch die chamaephytischen Spalierweiden zu den bedeutendsten Humusbildnern auf Gesteinsschutt zu zählen (ZÖTTL 1951).

Innerhalb der alpinen Stufe des Untersuchungsgebiets ist das *Salicetum retuso-reticulatae* zumindest in Form von Initialstadien immer wieder kleinräumig sowohl auf verfestigtem Schutt als auch direkt auf dem anstehenden Fels ausgebildet. Als Charakterarten sind *Salix retusa* und *Salix serpyllifolia* durchweg vertreten, während *Salix reticulata* auf dem Zugspitzplatt fehlt.

Die subnivale Stufe:

Die subnivale Stufe und die Schutthalden werden floristisch auf dem Zugspitzplatt von dem *Thlaspietum rotundifolii*, dem *Leontodontetum montani* und dem *Arabidetum caeruleae* eingenommen.

Das an den bewegten Schutt sowie an feinerdearme Standorte gebundene *Thlaspietum rotundifolii* ist die am häufigsten anzutreffende Gesellschaft des subnivalen Untersuchungsgebiets (bis ca. 2700 m) und reicht im Bereich der Schutthalden unterhalb der Plattumrahmung teilweise auch weit in die alpine Zone herab. ZÖTTL (1951) berichtet sogar von den Täschelkrauthalden sehr ähnlichen Gesellschaften an Standorten unterhalb der Waldgrenze.

Kennzeichnend für das regelmäßig nur Bedeckungsgrade von 10-15% erreichende *Thlaspietum* ist die Anpassung der hier vorkommenden Arten an die mechanischen Belastungen in aktiven Schutthalden. So besitzt beispielsweise die namensgebende Charakterart *Thlaspi rotundifolium* lange, widerstandsfähige Wurzeln und Sprosse als Adaption an einen Lebensraum, an dem ständig die Gefahr droht, durch sich verlagernden Schutt überdeckt oder abgerissen zu werden. Weitere typische Charakterarten dieser Assoziation sind auf dem Zugspitzplatt *Cerastium latifolium* und *Saxifraga aphylla*. Die Verbandscharakterart *Pritzelago alpina* ist ebenso in nahezu jeder Aufnahme dieser Gesellschaft vorhanden. Der in diesem Gebiet vorkommende Alpenmohn *Papaver sendtneri* konnte im Gegensatz zu den Aufnahmen von CREDNER (1995) ebenfalls 2009 großflächig nachgewiesen werden. Übereinstimmend mit ZÖTTL (1951) und CREDNER (1995) konnte dagegen festgestellt werden, dass der Artenreichtum der Täschelkrauthalden allgemein mit der Höhe abnimmt.

Lassen besonders an tiefer gelegenen Schutthalden (unterhalb von 2500 m) die denudativen Prozesse nach, führt die Ansiedlung von *Leontodon montanus* zur Verdrängung von *Thlaspi rotundifolium* und leitet schließlich zum *Leontodontetum montani* über. Ansonsten weist diese Gesellschaft nach eigenen Beobachtungen in ihrer Artzusammensetzung große Ähnlichkeiten zum *Thlaspietum* auf. Bei den Untersuchungen 2009 konnte zudem nachgewiesen werden, dass besonders auf klimatisch begünstigten Berglöwenzahnalden der alpinen Zone sich zunehmend Arten zu halten vermögen, die zum *Caricetum firmiae* vermitteln.

Zum selben Verband wie das *Salicetum retuso-reticulatae* gehört das auf dem Zugspitzplatt überwiegend in Senken, Dolinen und Felsspalten der subnivalen Stufe ausgebildete *Arabidetum caeruleae*.

Kennzeichnend für diese Standorte auf dem Zugspitzplatt sind bis zu 9 Monate Schneedeckendauer, wenig bis keine Schuttbewegung sowie die Akkumulation größerer Mengen an

Feinerde. Wichtigste Charakterart der Gänsekresse-Schneeböden ist *Arabis caerulea*. Es konnte festgestellt werden, dass das Arabidetum oft nur unmittelbar am Boden der Schneetälchen ausgebildet ist, während in unmittelbarer Nähe an den stärker bewegten Flanken häufig das Thlaspietum die dominierende Gesellschaft ist.

Während der Geländebegehungen 2009 konnte zudem die von CREDNER (1995) gemachte Beobachtung bestätigt werden, wonach im Bereich der aufgrund der künstlichen Verdichtung des Schnees oft spät ausapernden Skipisten häufig verstärkt Arten des Arabidetum caeruleale gedeihen.

5.2 Vergleiche mit älteren Vegetationsaufnahmen

Das Zugspitzplatt ist ein bisher gering vegetationskundlich untersuchter Raum. Erstmals wurde das Platt 1949 von ZÖTTL (1950, 1951) pflanzensoziologisch bearbeitet, doch wurden nur relativ wenige Aufnahmen durchgeführt. Eine fast flächendeckende Bearbeitung erfolgte 1994 durch CREDNER (1995).

Die Ergebnisse unserer eigenen Erhebungen von 2009 auf dem Zugspitzplatt zwischen 2000 und 2700 m werden im Folgenden mit den Kartierungen von ZÖTTL (1951) und CREDNER (1995) verglichen.

5.2.1 Gesamtartenzahlen

Ein Vergleich der Gesamtartenzahlen der drei Kartierungen zeigt eine deutliche Zunahme in den Artenzahlen (Tab. 1, Abb. 2). Es zeigen sich insgesamt 45 gemeinsame Arten der drei

Tab. 1: Vergleich der Gesamtartenzahlen von 1949, 1994 und 2009 auf dem Zugspitzplatt.

Artenzahl 1949	Artenzahl 1994	Artenzahl 2009	Gemeinsame Arten
68	81	99	45
Zunahme 1949-1994 (%)		Zunahme 1994-2009 (%)	Zunahme 1949-2009 (%)
13 (19,1)		18 (22,2)	31 (45,6)

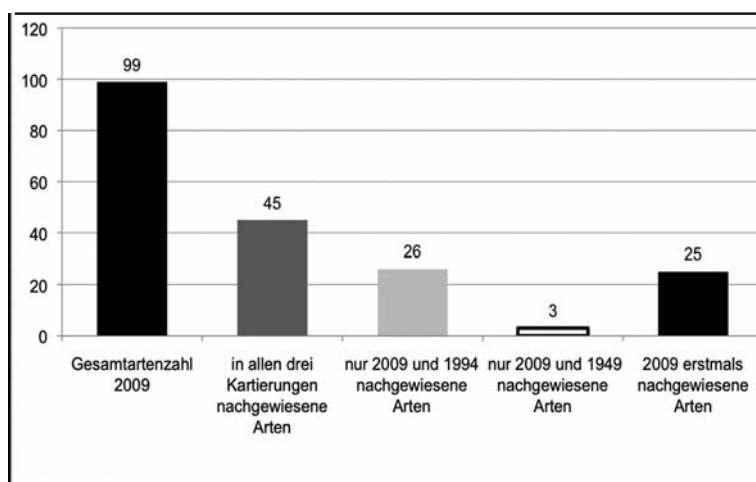


Abb. 2: Die Veränderung der Artenzahlen auf dem Zugspitzplatt 1949-2009.

Kartierungen, 25 Arten die 2009 erstmals und 14 Arten, die zwischen 1949 und 2009 nicht mehr nachgewiesen werden konnten. Neophyten und höhenstufen-fremde Arten konnten jedoch nicht nachgewiesen werden.

Vergleicht man die Artenzahlen der einzelnen Assoziationen auf dem Zugspitzplatt (Tab. 2), zeigen sich auch geringe Unterschiede, wobei man die möglicherweise unterschiedliche pflanzensoziologische Fassung der einzelnen Assoziationen je nach Kartierer berücksichtigen muß.

Tab. 2: Vergleich der Artenzahlen je kartierter Assoziation von 1994 und 2009 auf dem Zugspitzplatt.

Kartierungsjahr/ Assoziation	HöhenZug 2009	CREDNER 1994
<i>Thlaspietum rotundifolii</i>	17	16
<i>Arabidetum caeruleae</i>	17	21
<i>Caricetum firmae</i>	39	45
<i>Salicetum retuso-reticulatae</i>	28	22

5.2.2 Höhenverbreitung von Pflanzenarten

Die Veränderung der Höhenverbreitung ausgewählter Arten auf dem Zugspitzplatt von 1994-2009 zeigt vermeintlich ein deutliche Zunahme der Höhenverbreitung einzelner Arten an (Tab. 3). Daneben gibt es jedoch auch einige wenige Arten, die eine geringere Höhenverbreitung aufweisen (z.B. *Valeriana supina*). Die absoluten Höhenunterschiede sind jedoch mit einem deutlichen Fehler behaftet und nur eingeschränkt aussagefähig. Die Höhenangaben von

Tab. 3: Veränderung der Höhenverbreitung ausgewählter Arten auf dem Zugspitzplatt von 1994-2009.

Art	CREDNER 1994	HöhenZug 2009	Zu-/Abnahme
<i>Papaver sendtneri</i>	2495 m	2697m	+ 202 m
<i>Arabis caerulea</i>	2460 m	2635m	+ 175 m
<i>Saxifraga aphylla</i>	2610 m	2699m	+ 89 m
<i>Cerastium latifolium</i>	2610 m	2699m	+ 89 m
<i>Salix serpyllifolia</i>	2460 m	2513m	+ 53 m
<i>Thlaspi rotundifolium</i>	2610 m	2635m	+ 25 m

CREDNER (1995) wurden überwiegend aus der TK 25 ausgelesen und z.T. mit dem Höhenmesser eingemessen, auch wurde von CREDNER nicht gezielt nach hochliegenden Pflanzenindividuen gesucht. Die Höhenangaben 2009 wurden mit dem GPS bestimmt (Genauigkeit ca. ± 10 m) und mit einem barometrischen Höhenmesser überprüft.

5.2.3 Vergleich der mittleren Zeigerwerte

Ein Vergleich der mittleren Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1992) der kartierten Assoziationen in der alpinen und subnivalen Stufe zeigt nur geringe Veränderungen über die letzten 60 Jahre (Abb. 3). Folgende Veränderungen konnten festgestellt werden:

- leichter Rückgang von Arten mit T-Zahlen von 1 und 2
- leichte Zunahme von Arten mit T-Zahlen von ≥ 3
- leichte Zunahme von Stickstoffzeigern

- leichte Zunahme von Säurezeigern im Caricetum
- leichte Zunahme von Basenzeigern im Thlaspietum und Arabidetum
- kein Nachweis von Neophyten, aber Nachweise von Weidezeigern im beweideten Gebiet.

5.3 Anthro-po-zoogene Einflüsse

Weite Teile des Zugspitzplatts zählen zu den besonders gut erschlossenen Gebieten der Alpen. Bereits 1930 wurde die Zahnradbahn zum Schneefernerhaus eingeweiht und das Platt somit einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. 1987 erfolgte die Verlegung der Bergstation zum SonnAlpin auf 2588 m. Zusätzlich kann das Platt von deutscher Seite aus über die

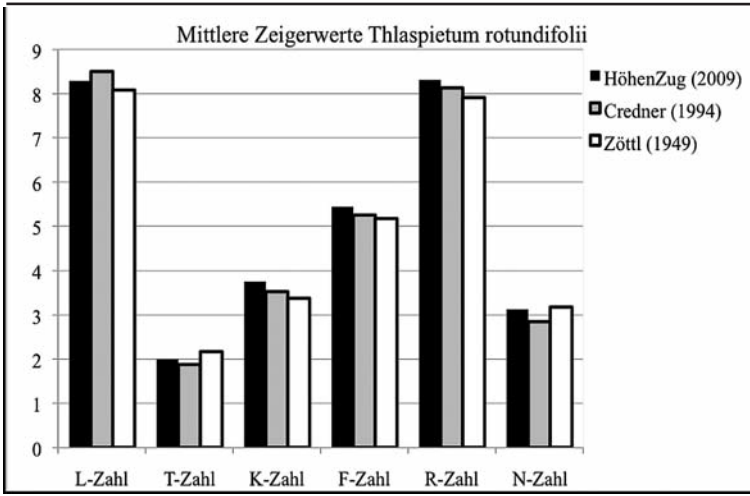


Abb. 3: Die mittleren Zeigerwerte des Thlaspietum rotundifolii auf dem Zugspitzplatt (1949, 1994, 2009).

1963 in Betrieb genommene Eibsee-Seilbahn auf den Zugspitzgipfel und der sich seit 1992 in Betrieb befindlichen Gletscherbahn erreicht werden. Aktuell befinden innerhalb des Untersuchungsgebiets außerdem 6 Skilifte (BZB 2010). Auch von österreichischer Seite aus wurde

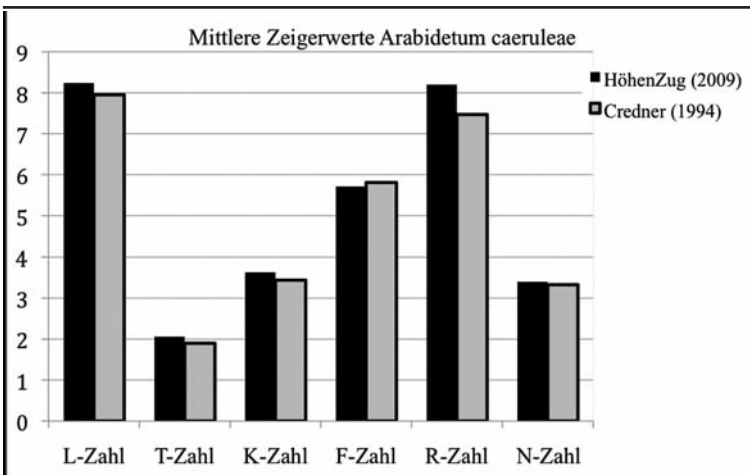


Abb. 4: Die mittleren Zeigerwerte des Arabidetum caeruleae auf dem Zugspitzplatt (1994, 2009).

der Zugspitzgipfel 1964 mit einer Seilbahn erschlossen (TZB 2010). Weiter besteht ein Netz aus Wanderwegen, welche das Zugspitzplatt vom Reintal über die Knorrhütte (2051 m) auf bayerischer Seite sowie über das Gatterl von tiroler Seite aus zugänglich machen. Während der Sommermonate werden schließlich besonders die subalpinen und alpinen Bereiche des Platts von mehreren Schafherden beweidet.

All diese Faktoren haben direkten oder indirekten Einfluss auf die Zusammensetzung und Dynamik der Vegetation. Natürliche abiotische und biotische Prozesse werden durch anthropo-zoogene Einwirkungen beeinflusst, überlagert oder ersetzt.

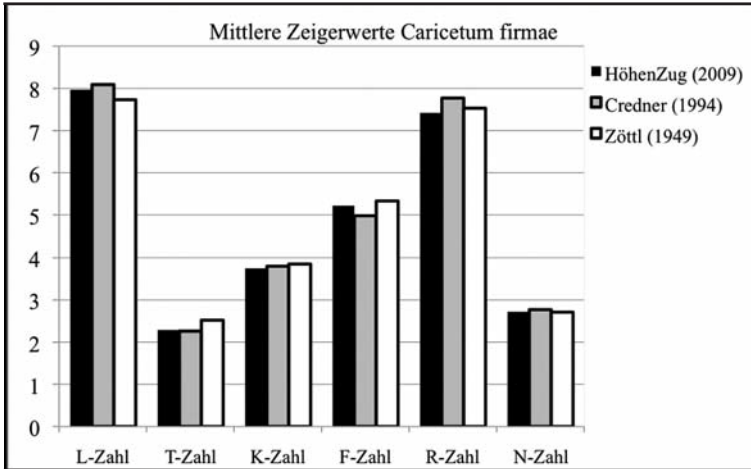


Abb. 5: Die mittleren Zeigerwerte des Caricetum firmae auf dem Zugspitzplatt (1949, 1994, 2009).

So werden beispielweise im Bereich der von weidenden Schafen besonders häufig frequentierten Rasengesellschaften durch einen verstärkten Nährstoffeintrag konkurrenzstarke, nährstoffliebende und verbissresistente Arten gefördert. Die hier vorgefundenen alpinen Rasen weisen ein deutlich verändertes Artenspektrum im Vergleich zum Caricetum firmae und dem

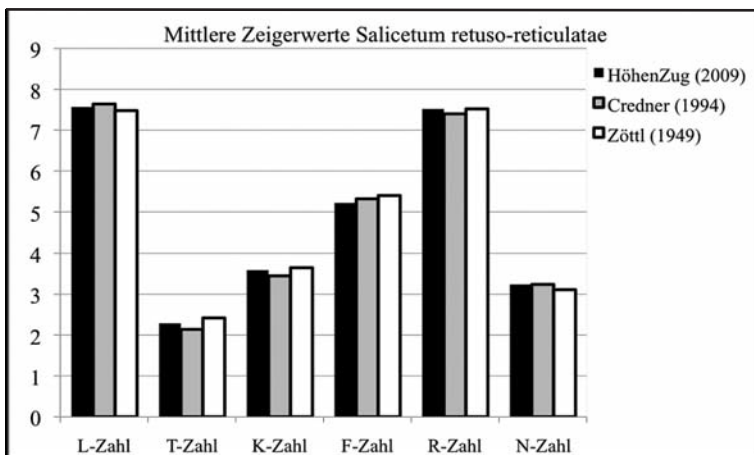


Abb. 6: Die mittleren Zeigerwerte des Salicetum retuso-reticulatae auf dem Zugspitzplatt (1949, 1994, 2009).

Seslerio-Caricetum sempervirentis weniger stark beweideter Standorte auf. Zu den hier häufig gefundenen Arten zählen beispielsweise *Taraxacum alpinum*, *Trifolium thalii* sowie *Trifolium repens*. Auch *Urtica dioica* konnte bis in 2390 m nachgewiesen werden.

Weitere Konsequenzen, die sich aus der Bewirtschaftung des Zugspitzplatts ergeben können, sind besonders im Skigebiet Veränderungen und Verdichtungen des Bodengefüges sowie eine künstliche Verlängerung der Schneedeckendauer im Pistenbereich. Dies manifestiert sich etwa in der erwähnten Begünstigung der Arten des Arabidetum caeruleae im Bereich der Pisten, während wiederum der Bereich um das stark planierte, begangene und durch Pistenfahrzeuge befahrene SonnAlpin nahezu keinen Pflanzenbewuchs ausweist. Auch die Wärmeabgabe der Bebauung auf dem Zugspitzplatt dürfte zu einer Veränderung der Vegetation in unmittelbarer Nähe dieser Gebäude beitragen. So konnten 2009 beispielsweise im Bereich der Gebäude der Eibsee- und Gletscherseilbahngipfelstation, in ca. 2950 m Höhe Polster von *Saxifraga aphylla* und *Cerastium latifolium* an den ansonsten von höheren Pflanzen unbesiedelten Hängen beobachtet werden.

Berücksichtigt man all diese, die Dynamik und Zusammensetzung der Arten beeinflussenden Faktoren, so erscheint es sinnvoll, die Flächen des Zugspitzplatts für künftige, im Rahmen des Projekts HöhenZug durchzuführende Untersuchungen nach dem Grad der anthropo-zoogenen Einflussnahme in drei Zonen zu unterteilen:

Zone 1: Dominanz der natürlichen Dynamik, sehr geringer anthropogener Einfluss (oligo-hemerob). Hierzu sind beispielsweise die Flächen des Bergsturzgeländes unterhalb der Gatterlköpfe zu rechnen, die sich außerhalb des Skigebiets befinden, von Wanderern selten begangen werden und auch nur einem geringen Beweidungsdruck ausgesetzt sind.

Zone 2: Flächen die überwiegend einer natürlichen Dynamik unterliegen, aber linienhaft oder punktuell in unterschiedlicher Periodizität und Intensität anthropo-zoogen beeinflusst werden. Solche Flächen befinden sich etwa südlich des Plattsteigs und im Bereich des Brunnentals. Besonders die Rasenbereiche werden von den Schafen gelegentlich abgeweidet und im Winter befahren Variantenfahrer diese Teile des Platts.

Zone 3: Starke anthropo-zoogene Störungen (Beweidung, Wandertourismus, Bebauung u.a.) plus natürliche Dynamik (meso- bis euhemerob). Hierzu zählen die Skipisten, der Bereich unmittelbar um die Gebäude, die regelmäßig beweideten, flachen Rasenbereiche sowie die Wanderwege.

6. Klimadaten Zugspitze

Das Klima des Zugspitzplatts wird im Wesentlichen durch die Lage am Nordrand der Alpen geprägt. Charakteristisch ist eine hohe Niederschlagssumme, die sich relativ gleichmäßig auf das ganze Jahr verteilt. Der überwiegende Teil der Niederschläge im Untersuchungsgebiet fällt als Schnee. Schneefälle sind zudem auch in den Sommermonaten Juni-August möglich. Hieraus resultiert eine lang andauernde Schneebedeckung (teilw. bis zu 10 Monate), die jedoch aufgrund von Relief und Exposition lokal stark variieren kann.

Betrachtet man die Jahresmitteltemperaturdaten des Deutschen Wetterdienstes (Abb. 7) für den Zugspitzgipfel im Zeitraum 1901-2007, so fällt für den für die Aufnahmen von ZÖTTL (1951), CREDNER (1995) und unseren eigenen Aufnahmen 2009 relevanten Zeitraum nach 1950 eine Abnahme der Temperaturen bis etwa 1980 um etwa 1.5 °C auf, die sich anschließend bis in die Gegenwart mit einer Zunahme von 1.9 °C umkehrt. Diese Beobachtungen decken sich zudem mit den von HIRTLREITER (1992) vorgestellten Massenbilanzen der Gletscher auf dem Zugspitzplatt. Damit einhergehend ist auch ein Rückgang der mittleren Schnee-

deckendauer im Zeitraum von 1980-2003 um 24 Tage bei einer gleichzeitigen Verlängerung der Vegetationsperiode um 24 Tage (SEILER 2004). Bei der Entwicklung der Jahresniederschläge während des gleichen Zeitraums (Abb. 8) ist dagegen eine leichte Zunahme seit Mitte des 20. Jahrhunderts zu erkennen.

Für das Zugspitzplatt selbst liegen Klimadaten der Messstation an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) erst seit dem Jahr 2000 vor. Diese sollen im weiten Projektverlauf ebenfalls ausgewertet und die Ergebnisse mit der Vegetationsentwicklung verglichen werden.

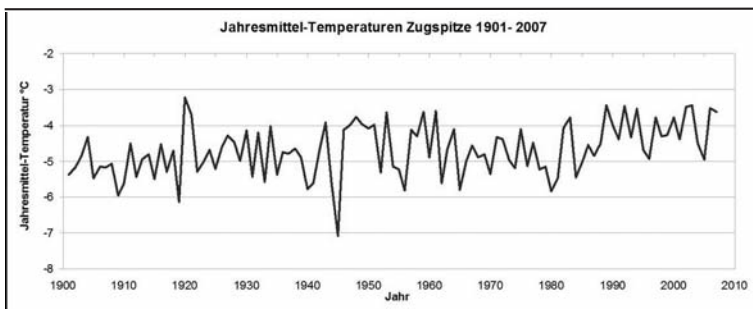


Abb. 7: Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen auf der Gipfelstation Zugspitze von 1901 bis 2007. (Daten: Deutscher Wetterdienst 2010).



Abb. 8: Entwicklung der Jahresniederschläge auf der Gipfelstation Zugspitze von 1901 bis 2007 (Daten: Deutscher Wetterdienst 2010).

7. Diskussion

Inwiefern der vom Menschen anthropogen verstärkte Klimawandel die Vegetation des Zugspitzplatts beeinflusst und verändert, konnte aufgrund der Kürze des bisher zur Verfügung stehenden Untersuchungszeitraums noch nicht festgestellt werden. Erste Hinweise hierfür könnte die Zunahme der Artenzahlen und das Höherwandern einiger Arten seit 1995 liefern, welche mit der positiven Tendenz der Jahresmitteltemperaturen, einer kürzeren Schneedeckendauer sowie einer verlängerten Vegetationsperiode zu korrelieren scheinen. Erst aber die geplante Initiierung eines langfristigen Monitorings der Vegetation auf Dauerbeobachtungsflächen dürfte auf diese Fragestellung sowie auf die Frage nach dem tatsächlichen Ausmaß der anthropo-zoogenen Beeinflussung belastbare Ergebnisse liefern.

Die Vegetation des Zugspitzplatts wird durch endogene und exogene Faktoren beeinflusst. Beide Faktorengruppen spielen auf dem Zugspitzplatt eine wichtige Rolle, wobei zusätzlich für die Vergleiche mit den Aufnahmen von ZÖTTL (1951) und CREDNER (1995) methoden- und bearbeiterbedingte Fehlerquellen vorhanden sind. Die Vergleiche mit den historischen

Daten erfolgen an Quasi-Dauerflächen (FISCHER 1999) ohne exakte Lageübereinstimmung der Flächen. Für das zukünftige Monitoring der Plattvegetation wird dieser Mangel jedoch durch die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen behoben.

Ohne eine direkte Ursache-Wirkungsbeziehung aus dem bisherigen Datenbestand ableiten zu können, scheinen die tendenziell nachweisbaren Vegetationsveränderungen multikausalen Ursprungs zu sein. Autogene Vegetationsveränderungen, besonders die progressive Sukzession, spielen auf dem Zugspitzplatt eine Rolle. Doch überwiegen äußere Einflussfaktoren. Neben dem Eintrag und der Verbreitung von Arten sowie Standortveränderungen durch Schafe und Touristen werden auch gänzlich neue Standorte im Umfeld der touristischen Infrastruktureinrichtungen geschaffen (Landnutzungswandel). Des weiteren erfolgt eine Änderung der Art und Frequenz von Störungen und biotischer Faktoren, die artspezifische Reaktionen hervorrufen. Schließlich ist der Klimawandel mit großer Wahrscheinlichkeit ein wichtiger direkter und indirekter Grund für den Floren- und Vegetationswandel der letzten sechzig Jahre auf dem Zugspitzplatt.

8. Ausblick

Im Zuge des im Jahre 2009 begonnenen Projekts HöhenZug soll eine detaillierte Vegetationskarte des Zugspitzplatts auf der Grundlage eines hochauflösenden Geländemodells erstellt werden. Eine vergleichende Kartierung und ein Monitoring unterschiedlich stark anthropozogen beeinflusster Standorte wurden gestartet, wie auch weitere geländeklimatologische Messungen und ein Vergleich der Vegetationsentwicklung mit Klimadaten des Schneefernerhauses (seit 2000). Des weiteren wird die Rekonstruktion der Dynamik der Krummholzgrenze seit 1942 bearbeitet und in ein zukünftiges Monitoring aufgenommen. Schließlich wird mit einem langfristigen Monitoring der Zugspitzplatt-Vegetation auf Dauerbeobachtungsflächen begonnen.

9. Zusammenfassung

Die mitgeteilten Untersuchungen resultieren aus dem 2009 begonnenen Verbundprojekt KlimaGrad sowie dem darin eingebundenen Teilprojekt HöhenZug, das eine langfristige Beobachtung der Zugspitzplattvegetation zum Ziel hat. Hierzu wird das Untersuchungsgebiet Zugspitzplatt und die dort aktuell vorkommende Vegetation beschrieben und analysiert. Ein Hauptaugenmerk liegt hierbei in einer Aufgliederung in floristische Höhenstufen sowie der dort jeweils anzutreffenden Pflanzengesellschaften. Diese aus einer im Sommer 2009 durchgeführten Kartierung gewonnenen Daten werden im Anschluss mit zwei älteren Vegetationskartierungen von ZÖTTL (1951) und CREDNER (1995) verglichen sowie die Ergebnisse aus diesem Vergleich diskutiert. Weiter wird auf die festgestellte anthropo-zoogene Beeinflussung des Zugspitzplatts sowie die Entwicklung wichtiger Klimaparameter der Gipfelstation Zugspitze seit Beginn des 20. Jahrhunderts eingegangen. Abschließend werden die im weiteren Projektverlauf geplanten Arbeiten im Untersuchungsgebiet vorgestellt.

Danksagung

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit für die Förderung der Untersuchungen und der Umweltforschungsstation Schneesfernerhaus (UFS) für die logistische Unterstützung.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl., 865 S. – Springer Verlag, Wien, New York.
- BRAUN-BLANQUET, J. & H. JENNY (1926): Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. – Denkschrift der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft **63**: 183-349. Zürich.
- BZB (2010): Bayerische Zugspitzbahn Bergbahn AG. URL: <http://www.zugspitze.de>
- CREDNER, B. (1995): Vegetations- und Bodenentwicklung im Bereich des Zugspitzplatts (Wettersteingebirge). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, LMU München, 101 S., München.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2010): Klimadaten im KL-Standardformat. URL: <http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw>
- ELLENBERG, H., WEBER, H. E., DÜLL, R., WIRTH, V. & W. WERNER (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – Scripta Geobotanica **18**, 262 S., Göttingen.
- FISCHER, A. (1999): Sukzessionsforschung: Stand und Entwicklung. – Ber. d. Reinh. Tüxen-Ges. **11**: 157-177.
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & PAULI, H. (1994): Climate effects on mountain plants. – Nature **369**: 448.
- HAEUPLER, H. & T. MUER (2007): Bildatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. 789 S. – Ulmer Verlag, Stuttgart.
- HIRTLEITER, G. (1992): Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Wettersteingebirge und seiner Umgebung. – Münchner Geographische Abhandlungen B (**15**), 153 S., München.
- HÜTTL, C. (1999): Steuerungsfaktoren und Quantifizierung der chemischen Verwitterung auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge, Deutschland). – Münchner Geographische Abhandlungen B (**30**), 171 S., München
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The physical science basis. Summary for policy makers. 18 S. – IPCC, Genf.
- KFG (2010): Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. URL: <http://www.bayerische-gletscher.de>
- KUDERNATSCH, T. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf die alpinen Pflanzengemeinschaften im Nationalpark Berchtesgaden. – Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden **52**, 101 S., Berchtesgaden.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., REITER, K., KLETTNER, C. & GRABHERR, G. (2007): Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. – Global Change Biology **13**: 147-156.
- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. 2. Aufl., 622 S. – Ulmer Verlag, Stuttgart.
- RAUH, W. (1939): Über polsterförmigen Wuchs, ein Beitrag zur Kenntnis der Wuchsformen der höheren Pflanzen. – Nova Acta Leopoldiana **7**: 268-508. Halle.
- REICHELT, G. & O. WILMANN (1973): Vegetationsgeographie. Das Geographische Seminar-Praktische Arbeitsweisen. 210 S. – Georg Westermann Verlag, Braunschweig.
- REISIGL, H. & R. KELLER (1994): Alpenpflanzen im Lebensraum: Alpine Rasen, Schutt- und Felsvegetation. 2. Aufl., 149 S. – Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- SEILER, W. (2004): Der globale Klimawandel: Ursachen, Auswirkungen und Maßnahmen. – Jahrbuch des Ver. z. Schutz d. Bergwelt **68/69**: 93-105, München.
- THEURILLAT, J.-P. & GUIBAN, A. (2001) Potential Impact of Climate Change on Vegetation in the European Alps: A Review. – Climatic Change **50**: 77-109.
- TZB (2010): Tiroler Zugspitzbahn. URL: <http://www.zugspitze.at>
- UHLIG, H. (1954): Die Altformen des Wettersteingebirges mit Vergleichen in den Allgäuer und Lechtaler Alpen. – Forsch. z. deutsch. Landeskunde **79**: 1-103, Remagen.

- WALTHER, G-R., BEISSNER, S. & BURGA, C.A. (2005) Trends in upward shift of alpine plants. – *J. Vegetation Science* **16**: 541–548.
- ZÖTTL, H. (1950): Die Vegetationsentwicklung auf Felsschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. – Diss. Naturwiss. Fak. Univ. München, München.
- ZÖTTL, H. (1951): Die Vegetationsentwicklung auf Felsschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. – *Jahrbuch Ver. z. Schutz d. Alpenpfl. u. -Tiere* **16**: 10-74. München.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Arne Friedmann und Dipl.-Geogr. Oliver Korch, Institut für Geographie, Arbeitsgruppe Biogeographie, Universität Augsburg, Universitätsstr. 10, D-86135 Augsburg.

email: friedmann@geo.uni-augsburg.de, oliver.korch@geo.uni-augsburg.de

Hinweise für Autoren

In den Berichten der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft werden Originalarbeiten, thematische Übersichten und Zusammenfassungen, wissenschaftliche Ergebnisse unserer Stipendiaten sowie die Vorträge der Rintelner Symposien publiziert.

Druckfertige **Manuskripte** sind an den Herausgeber zu schicken. Sie werden von zwei unabhängigen Gutachtern anonym referiert.

Der **Text** soll in normaler Maschinenschrift (ohne Unterstreichungen und Versalien bei Autorennamen und im Literaturverzeichnis) vorliegen und außerdem als Datei auf CD oder Diskette (MS-DOS oder MAC, gängiges Programm, etwa WORD) eingereicht werden. Alle Auszeichnungen für besondere Schriftformen (kursiv, fett, Kapitalchen ...) in der Datei erfolgen durch die Schriftleitung.

Aufbau und Form des Manuskriptes:

1. Überschrift (kurz und prägnant; in normaler Schrift in Groß- und Kleinbuchstaben).
2. Ausgeschriebener Vor- und Nachname des Autors; Wohnort.
3. Zusammenfassung (Abstract) in Englisch.
4. Text:
 - Normalschrift auf DIN-A4-Seiten; 1 $\frac{1}{2}$ -zeilig, links 4 cm Rand
 - Gliederung im Dezimalsystem
 - Zitate mit Autor und Jahreszahl; zwei Autoren durch „&“ verbunden; bei mehreren Autoren nur erster Autor mit „et al.“ (ausführlich nur im Literaturverzeichnis)
 - Vorschläge für besondere Schriftformen mit den üblichen Auszeichnungen nur in der ausgedruckten Version (nicht in der Datei)
5. Zusammenfassung in Deutsch.
6. Literaturverzeichnis: Autoren in alphabetischer Reihenfolge; Arbeiten chronologisch geordnet. Zeitschriftentitel in den üblichen Abkürzungen mit Angabe von Band und Seitenzahlen, Erscheinungsort; bei Büchern Verlag und Erscheinungsort. Beispiele:
BURRICHTER, E. (1969): Das Zwillbrocker Venn, Westmünsterland, in moor- und vegetationskundlicher Sicht. (Abh. a. d. Landesmus. f. Naturk. Münster/Westf. **31** (1).) 60 S. – Münster.
ELLENBERG, H. (1982): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., 1095 S. – Ulmer-Verlag, Stuttgart.
BARKMAN, J.J., J. MORAVEC & S. RAUSCHERT (1986): Code der pflanzensoziologischen Literatur. – *Vegetatio* **67**: 147-195. Dordrecht.
7. Name, Titel und Anschrift des Autors; e-mail-Adresse.
8. Tabellen: durchnummeriert, mit Überschrift; Datei und guter, reproduzierbarer Ausdruck auf separaten Blättern; Abmessungen am Satzspiegel orientiert (12,5 x 20,2 cm).
9. Abbildungen: als Schwarzweiß- oder Farb-Vorlagen; Beschriftungen und Signaturen sind in die Abbildungen zu integrieren und müssen bei Verkleinerung auf Satzspiegelmaße lesbar sein. Jede Abbildung als separate Datei einreichen, möglichst als Original-Dateie (z.B. *.cdr, *.tif ...) mit Angabe der verwendeten Schrift (Typ1, TTF).
Abbildungsunterschriften in numerischer Reihenfolge auf separatem Blatt.

Korrekturfahren werden dem Autor einmalig zugestellt; Korrekturen gegen das Manuskript gehen zu Lasten des Autors.

