



SCHRIFTENREIHE AUS DEM NATIONALPARK HARZ - BAND 14

# 125 Jahre Brockengarten

Festsymposium 2015 in Drübeck

Nationalpark  
Harz



# 125 Jahre Brockengarten

Festsymposium 2015 in Drübeck

Herausgegeben von der  
Nationalparkverwaltung Harz

Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz

Band 14

**Zitiervorschlag:**

NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2016): 125 Jahre Brockengarten. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 14. 82 Seiten.

**Impressum**

**Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz**

ISSN 2199-0182

**Herausgeber:**

Nationalparkverwaltung Harz

Lindenallee 35

38855 Wernigerode

[www.nationalpark-harz.de](http://www.nationalpark-harz.de)

Für den Inhalt der Artikel sind ausschließlich die jeweiligen Autoren verantwortlich.

**Redaktion:**

Nationalpark Harz

Dr. Andrea Kirzinger

**Titelfoto:** Dr. Gunter Karste

1. Auflage 2016

# Inhalt

|   |    |
|---|----|
| Vorwort   | 4  |
| HANS-ULRICH KISON<br>Der Nationalpark Harz und sein Brockengarten   | 5  |
| CHRISTIAN KÖRNER<br>Die Baumgrenze im Gebirge, der alpine Lebensraum und der Wert von Alpengärten für die biologische Forschung | 14 |
| JOACHIM KADEREIT<br>Evolution der Europäischen Hochgebirgsflora   | 21 |
| MATTHIAS H. HOFFMANN<br>Evolution der arktischen Flora  | 27 |
| ELVIRA HÖRANDL<br>Evolution von Hochgebirgsarten in der Gattung <i>Ranunculus</i>   | 35 |
| ANDREAS GROEGER<br>Zur Geschichte der Alpengärten in Europa   | 42 |
| GUNTER KARSTE<br>Der Brockengarten und sein Einfluss auf die Artenzusammensetzung und Entwicklung der Brockenvegetation         | 52 |
| NADA PRAPROTNIK<br>The alpin botanical garden „Juliana“ in the Triglav National Park  | 61 |
| GERHARD TROMMER<br>Alpinum, Steingarten und Brockengarten in der Umweltbildung  | 67 |

# Vorwort

Der Botanische Garten auf der Brockenkuppe, kurz der Brockengarten, konnte im Jahr 2015 auf immerhin 125 Jahre einer sehr wechselvollen Geschichte zurückblicken. Verglichen mit den „klassischen“ botanischen Gärten, die ihren Ursprung meist in den so genannten „Medizingärten“ (horti medici) haben, ist er relativ jung. Aber unter den sehr speziell ausgerichteten alpinen und arktischen Gärten Europas ist er einer der ältesten und bis heute mit wichtigen Naturschutzaufgaben betraut.

Arktisch-alpine Gärten stehen für den Erhalt der einzigartigen Hochgebirgsflora. Die meisten Gärten dieser Art wurden deshalb, wie der Brockengarten auch, in den Hochlagen der Gebirge eingerichtet, wo auch die seltenen Hochgebirgspflanzen zu Hause sind.

Die Tagung am 8. Juni 2015 in Drübeck anlässlich des 125jährigen Bestehens des Brockengartens verdeutlichte, dass der Brockengarten mit seiner lokalen Aufgabenstellung im Harz, im Nationalpark und als wichtiger Korrespondenzstandort zu den Botanischen Gärten der Universitäten Göttingen und Halle ein Teil dieser internationalen Gemeinschaft botanischer Gärten ist und ein breites Spektrum verschiedener Betätigungsfelder hat. So wurde bei der Tagung im Kloster Drübeck über die Biodiversität und Ökologie der Hochgebirge, über die Evolution der hochgebirgs- und arktischen Flora, über die Geschichte von Alpengärten in Europa, über die Umweltbildung in alpinen Gärten und über den Einfluss des Brockengartens auf die Artenzusammensetzung und Entwicklung der Brockenvegetation referiert.

Der Brockengarten, der 1890 von Prof. Albert Peter aus Göttingen gegründet wurde, entwickelte sich erst allmählich vom Schau- und Versuchsgarten zum „Naturschutzgarten“. Diente er bis 1989 bedrohten Pflanzenarten der Brockenkuppe als Refugium, so wurde er ab 1990 zum Promotor für die Renaturierung der Brockenkuppe. Wohl das umfangreichste Renaturierungsprogramm in einem einzigartigen und sensiblen Naturraum, das nach militärischer Devastierung je im Harz stattfand, wäre ohne die Vorarbeiten und die Begleitung durch die Arbeit des Brockengartens so erfolgreich kaum möglich gewesen.

Als Bestandteil des Nationalparks Harz wird er auch perspektivisch eine Stätte der Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit, der Forschung und des Naturschutzes sein.

Allen Referentinnen und Referenten, die zum Entstehen des Tagungsbandes anlässlich des 125jährigen Bestehens des Brockengartens beigetragen haben, sei hier an dieser Stelle herzlich gedankt.

Im Namen der Nationalparkverwaltung Harz  
Dr. Gunter Karste

HANS-ULRICH KISON, Wernigerode

# Der Nationalpark Harz und sein Brockengarten

## Zusammenfassung

Der 125 Jahre bestehende Brockengarten ist Teil des Nationalparks Harz und hat neben wissenschaftlichen und Bildungsaufgaben auch die Aufgabe des praktischen Naturschutzes beim Erhalt der gefährdeten Brockenflora. Nach einem kurzen geschichtlichen Abriss der Integration des Gartens in den Nationalpark werden Besonderheiten des Harzes und seines höchsten Gipfels beschrieben. Dazu gehören die nördliche Prägung der Pflanzenwelt, das Fehlen der Tanne und anderer Mischbaumarten, die höhenklimatische Waldfreiheit der Brockenkuppe und ihre extrazonale Vegetationsausstattung. Die Bemühungen um den Schutz des Brockens werden im historischen Rückblick und mit den aktuellen Aufgabenstellungen kurz skizziert.

## 1. Einleitung

Der 1890 begründete Brockengarten ist einer der ältesten botanischen Gärten, der auf die Präsentation von Hochgebirgspflanzen spezialisiert ist; zweifelsfrei kann das in seiner Bestimmung als Schau- und Versuchsgarten in enger Verbindung mit einer wissenschaftlichen Institution und Aufgabenstellung, in diesem Falle der Universität Göttingen, gelten (RICHTER & KISON 2009). Darüber hinaus sind weitere solcher Gärten an verschiedenen Stellen und mit verschiedener Ausrichtung entstanden. Nach einer wechselvollen Geschichte (HARTMANN 1961) vor allem in den Jahren der beiden Weltkriege und der militärischen Abriegelung der Brockenkuppe zwischen 1961 und 1989 wurde der Brockengarten 1989/90 in die Entwicklungskonzeption des Nationalparks Hochharz integriert. Spätestens seit dem 1.9.2001 ist er auch zweifelsfrei ein flächenhafter Bestandteil des Nationalparks, damals in die so bezeichnete „Bildungs- und Erholungszone (Brocken)“ (NlpG LSA vom 6.7.2001) gestellt. Davor gab es aufgrund einer kuriosen kartografischen Darstellung in der „Verordnung über die Festsetzung des Nationalparks Hochharz“ (1990) immer wieder Diskussionen über die Zugehörigkeit der gesamten Brockenkuppe zum Nationalpark. Diese wurden endgültig erst mit dem NlpG LSA (2001) beigelegt. Unabhängig davon begann aber unmittelbar nach der Freigabe des Brockens und der Festsetzung des Nationalparks der Wiederaufbau des Gartens unter Leitung der Nationalparkverwaltung und fachlichen Begleitung durch die Universitäten

in Halle und Göttingen. Dieser Wiederbeginn ist z.B. bei EBEL et al. (1999) ausführlich beschrieben. Inzwischen hat sich der Brockengarten zu einem festen Bestandteil der Forschungs- und Umweltbildungsarbeit des Nationalparks entwickelt. Auch sein Erscheinungsbild hat sich gegenüber dem historischen Vorbild und dem Aussehen während der militärischen Inanspruchnahme sehr geändert. Damit haben sich neben vielen Mitstreitern vor allem Wolfgang Strumpf und Dr. Gunter Karste ein Denkmal gesetzt (Abb. 1).



Abb. 1: Der Brockengarten von der Wetterwarte aus betrachtet.

Wenn landläufig von einer „Renaturierung“ oder auch Sanierung der Brockenkuppe gesprochen wurde (KARSTE et al. 2001), so ist damit eigentlich die Beräumung der flächenmäßig kleinen Gipfelregion von militärischen und sonstigen Altlasten zu verstehen. Danach wurde der Weg frei für eine pflanzliche Wiederbesiedlung, die noch über viele Jahrzehnte die Prägemaße der ehemals völligen Entfremdung des Berges tragen wird. Dennoch ist es gelungen, der Natur auf der relativ kleinen Brockenkuppe wieder zu ihrem Recht zu verhelfen. Viele Voruntersuchungen für die Neugestaltung der Brockenkuppe, einer der wertvollsten extrazonalen Lebensräume im Nationalpark, liefen im Brockengarten ab. Die waldfreie Kuppe des Brockens ist die einzige Erhebung unter den deutschen Mittelgebirgen, die eine natürliche und höhenklimatisch bedingte Waldgrenze aufweist. Im Zusammenspiel mit der nördlichen Exposition des Harzes

ergeben sich weitere Besonderheiten, die aus Sicht der Ökologie, der Vegetationskunde, der Pflanzensoziologie und Floristik, der Geographie, Geologie, um nur einige zu benennen, betrachtet und beschrieben wurden. Hier soll zunächst eine kurze Zusammenfassung unter ökologischem Blickwinkel erfolgen und im Anschluss daran die Geschichte der Naturschutzbemühungen um den Brocken skizziert werden.

## 2. Besonderheiten des Harzes

Der Nationalpark Harz nimmt eine Fläche von 24.732 ha ein, damit etwa ein Zehntel der Fläche des gesamten Mittelgebirges. Er liegt im durch subatlantische Bedingungen geprägten Westteil des Harzes. Dabei umschließt er die höchsten Lagen des Mittelgebirges und erstreckt sich transsektartig über den Harz, von der kollinen Stufe im Norden und Süden bis zur supramontanen Brockenkuppe. Mit rund 97 % Waldbedeckung gehört er zu Deutschlands größten Waldnationalparks. Aus vegetationskundlicher Sicht ist im Folgenden eine Reihe von Besonderheiten herauszustellen:

### 2.1 Der Harz ist das nördlichste deutsche Mittelgebirge

Als nördlichstes deutsches Mittelgebirge zwingt der Harz die von Westen einströmenden atlantischen Luftmassen zum Aufsteigen und Abregnen. So ergibt sich im Westen eine subatlantische Prägung und bereits hinter dem Brockenmassiv bildet sich ein „Regenschatten“ aus, der im östlichen Unterharz zu subkontinentaler Tönung des Klimas führt. Eine besondere Stellung nimmt dabei der Hochharz ein, der im Großen und Ganzen eine stark nördliche Prägung in seiner Vegetation erkennen lässt (KISON & WERNECKE 2004). Diese Erkenntnis reifte bereits im 19. Jahrhundert heran und PETER (1899) fasst sie sehr anschaulich in folgendem Zitat zusammen:

„...der Oberharz mutet uns an wie ein nach Deutschland versetztes Stück der skandinavischen Gebirge mit alpin-nordischen Pflanzenarten in einförmigem Fichtenwald, doch nur unter Andeutung einer subalpinen Region.“

### 2.2 Der Harz liegt außerhalb der rezenten Tannenverbreitung

Die Lage des Harzes außerhalb des Tannenareals ist eine seiner pflanzengeografischen Besonderheiten, um nicht zu sagen, sein Alleinstellungsmerkmal, das ihn von den anderen herzynischen Mittelgebirgen deutlich abgrenzt. Er stellt das einzige Mittelgebirge vom „herzynischen Typ“ ohne Vorkommen der Tanne dar (HAEUPLER 1970). Damit entfällt eine wichtige Mischbaumart in der Berglandstufe. In den unteren Lagen dominieren die Buchen (in der kollin-submontanen Stufe mit raubeneiche), darüber schließen die Fichten an. Beide Hauptbaumarten des Harzes

neigen aufgrund ihrer Konkurrenzkraft auf ihnen zusagenden Standorten zur Ausbildung monotypischer Waldgesellschaften, in denen nur wenige Nebenbaumarten zu finden sind. Aufgrund der Bodenverhältnisse über saurem Grundgestein tritt z.B. der Bergahorn weit weniger in Erscheinung als in den südlicheren Gebirgen (Allgäu, Schwarzwald, Bayerischer Wald). Die Lärche und Kiefernarten fehlen mit Ausnahme der Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), die an den Hängen der Durchbruchstäler (z.B. Ilsetal, Abb. 2) noch natürliche Vorkommen hat (STÖCKER 1965c). Durch die Nutzungsgeschichte der Harzwälder und die Befriedigung eines immensen Holzbedarfs im „hölzernen Zeitalter“ sind die Wälder zu dem sehr auf den „Brotbaum“ Fichte ausgerichtet worden. Damit ist das Spektrum an verfügbaren Waldbaumarten im Nationalpark Harz sehr eingengt. Hauptanliegen der Waldentwicklungsmaßnahmen in den ersten Jahrzehnten im Nationalpark Harz ist die Förderung der Rotbuche (*Fagus sylvatica*), die gegenwärtig noch stark unterrepräsentiert ist. Nur etwa ein Fünftel der Fläche ist mit Buchenwald bedeckt, von ihrem Potenzial her sollte die Rotbuche gut zwei Drittel des Nationalparks einnehmen (Abb. 3).



Abb. 2: Natürliche Vorkommen der Waldkiefer im Ilsetal.



Abb. 3: Voranbau der Rotbuche unter dem Schirm des Fichtenforstes.

### 2.3 Die Höhenstufen der Vegetation sind gegenüber südlicheren Gebirgen stark „gestaucht“

Dieser Umstand ist ebenfalls primär der nördlichen Lage des Harzes geschuldet, aber es spielen auch andere Faktoren noch eine Rolle, worauf insbesondere Haeupler verwies: Je mehr ein Gebirge dem atlantischen Klima Westeuropas ausgesetzt ist, desto mehr werden die Höhengrenzen herabgedrückt; bei der etagealen Gliederung spielen neben Großklima auch lokale, edaphische und orographische Gegebenheiten eine Rolle (HAEUPLER 1970). In der Literatur im Allgemeinen sowie zum Brocken im Besonderen sind die Darstellungen zur Höhengliederung oft verwirrend. Das beruht zum einen in der Vielfalt der Begrifflichkeiten, zum anderen darin, dass ökologische und vegetationskundliche Ansätze in der Interpretation vermischt werden (SCHRÖDER 1998) oder aus Vergleichen zu anderen Mittelgebirgen unzulässige Schlüsse gezogen werden (SCHMIDTHÜSEN 1961). Im Hinblick auf seine Höhenstufung ist jedes Mittelgebirge für sich zu betrachten.

An dieser Stelle sollen nur die höchsten Lagen um den Brocken näher betrachtet werden. Dabei wird von Grundsätzen ausgegangen, die SCHRÖDER (1998) und DIERSCHKE & KNOLL (2002) formulierten. Aufgrund neuer Befunde zur Situation am Brocken können die Aussagen aktualisiert und auch etwas mehr im Detail gefasst werden. Die montane Stufe entspricht im Harz weitgehend der „Buchenstufe“, die hochmontane oder oreale Stufe bleibt der Fichte vorbehalten. Davon unberührt ist, dass die Fichte in Kaltluftkanälen (z.B. Eckertal, Ilsetal) auch bis in die submontane Stufe und darüber hinaus vordringen kann. Die Übergangszone von den Buchenwäldern zu den Fichtenwäldern dürfte eher schmal ausfallen. Ein Harzer „Mengwald“, wie ihn DRUDE (1902) als Buchen-Fichten-Mischwald benannte, dürfte wohl mehr ein Produkt forstlicher Kultur als wirklich der höhenklimatischen Ausformung sein. Gerade diese mittleren Höhenlagen sind forstlich vollkommen verändert worden. Indem wir heute kaum noch Waldbestände finden, die wir dem natürlichen Mischwaldtyp zuordnen können, fehlt die Anschauung dazu. Folgerichtig wird in den Karten der potenziell natürlichen Vegetation für Niedersachsen von „montanen Fichten- und Fichten-Buchenwäldern“ gesprochen, ohne darin eine flächenmäßige Differenzierung vorzunehmen (KAISER & ZACHARIAS 2003). Gleichsinnig wird in Sachsen-Anhalt verfahren, wobei eine grobe Differenzierung der Flächen von Buchen- und Fichtenwäldern vorgenommen wird (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 2000). Das darf aber nicht den Eindruck erwecken, dass die nur indifferent darstellbare Übergangssituation von Buchenwäldern zu den Fichtenwäldern tatsächlich einen breiten Gürtel einnehmen würde. Es ist nach der Konkurrenzsituation zwischen Buchen und Fichten eher vorstellbar, dass der Übergang sich über eine kurze Distanz vollzieht, aber die Reliefierung des Gebirges ein Oszillieren über eine scheinbar eigene und breitere Höhenstufung erzeugt.

### 2.4 Die extrazonale Brockenkuppe

Die Auflösung der Fichtenwälder und der Übergang zur baumfreien Brockenkuppe (Abb. 4) verdient eine ausführlichere Betrachtung. DIERSCHKE & KNOLL (2002) fassen diesen Bereich sehr richtig unter „supramontane“ Stufe zusammen. An anderer Stelle wurde formal der Begriff „subalpin“ eingeführt (SCHRÖDER 1998), der aber speziell im Harz und am Brocken noch keine wirkliche Berechtigung hat. Es machte sich immer die Einschränkung „tief-subalpin“ erforderlich. Darauf machen im Grunde bereits VOIGTLÄNDER-TETZNER (1895) und PETER (1899) sehr überzeugend aufmerksam, während DRUDE (1902) in diesem Punkt weit weniger klar formulierte. Das Werk von VOIGTLÄNDER-TETZNER (1895) ist vermutlich wegen des Erscheinens in einem nur lokal verbreiteten Heft des Naturwissenschaftlichen Vereins des Harzes in Wernigerode und der Unsicherheiten einer ganzen Reihe von Artangaben in summa abgetan worden, ohne den eigentlich bedeutsamen Kern zur Kenntnis zu nehmen. Voigtländer-Tetzner sieht auf der Brockenkuppe einige Arten und Vegetationsformen, die der subalpinen Stufe zwar formal zuzuordnen wären, die sich aber hier noch nicht zu den typischen Verbänden fügen. Insofern ergänzt PETERS (1899) Formulierung „nur unter Andeutung einer subalpinen Region“ sehr treffend. Andere Autoren führten wegen des Vorkommens solcher Verhältnisse Begriffe für die Bezeichnung von Vegetationsverbänden ein, die so auf dem Brocken gar nicht vorkommen, aber sich hartnäckig durch fast die gesamte Brockenliteratur ziehen, z.B. den der Mattenvegetation (STÖCKER 1965 a, b, WEGNER 2002, LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 2000 usw.), „Alpenmatten“ oder „Urwiesen“ im Sinne von ELLENBERG (1996) und von SCHUBERT & WAGNER (1961) kommen auf dem Brocken weder vor, noch ist der Begriff in Analogiebildung wirklich sinnvoll.

Es war lange Zeit unklar, ob die Waldfreiheit der Brockenkuppe als natürlich zu sehen ist, oder ob die anthropogene Komponente überwiegt (vgl. z.B. BEUG et al. 1999). HERTEL & SCHÖLING



Abb. 4: Baumfreie Brockenkuppe vom Königsberg.



(2011 a und b) untersuchten dazu ein Transekt von Probeflächen an der Nordseite des Brockens. Sie konnten dabei finden, dass in 10 cm Tiefe des Oberbodens an der Waldgrenze eine durchschnittliche Temperatur von 6,7°C vorliegt. Dieser kritische Wert wurde so auch in anderen Wald-Grenzlagen gefunden, woraus geschlussfolgert wird, dass Beeinträchtigungen des Feinwurzelsystems sich direkt und negativ auf die Wüchsigkeit der Bäume auswirken und so die Waldgrenze bedingen. Somit können wir davon ausgehen, dass die Waldfreiheit der Brockenkuppe zumindest eine sehr starke höhenklimatische Komponente hat. Auch bisherige eigene Interpretationen (WEGENER & KISON 2002) zogen die hohe Windlast auf der Brockenkuppe für die Erklärung der Waldfreiheit heran bzw. gehen von einer anthropogenen Ursache aus (HEYNERT 1970). Zweifelsohne spielt hier ein Faktorenkomplex zusammen, der aber im genannten Höhenklima mit der kritischen Bodentemperatur seinen entscheidenden Faktor haben dürfte. Grenzbaumart ist am Brocken allein die Fichte, nur selten gesellt sich ihr die Eberesche bei, die durch Wildverbiss stets stark dezimiert wird. Es bedarf übrigens einer eindeutigen Bestätigung, dass hier tatsächlich *Sorbus aucuparia* subsp. *glabrata*, wie verschiedentlich in der Literatur angegeben ist, vorkommt. Andere Grenzsituationen neben der höhenklimatischen Grenze sind im Harz die Grenzlagen der Fichtenwälder zu den Mooren, wo sich der Moor-Fichtenwald (*Vaccinio uliginosi-Piceetum*) ausbildet sowie die Grenzlagen zu den Klippen und Blockfeldern, wo der Karpatenbirken-Fichtenwald (*Betulo carpaticae-Piceetum*), in manchen Bereichen auch das Fichten-Vogelbeer-Gebüsch (*Piceo-Sorbetum aucupariae*) sich einstellen (vgl. KARSTE et al. 2011). STÖCKER (1965a) beschrieb gerade diese Bereiche näher, indem er auch das Sukzessionsgeschehen, die Rolle von „Saumgesellschaften“ und die Verzahnung von Phanerogamen- und Kryptogamengesellschaften beleuchtete. STÖCKER (1965b) gliederte hier noch eine Alpenhabichtskraut-Beerstrauchheide (*Hieracio alpini-Vaccinietum* ass. nov.) für die Brockenkuppe aus. Sie soll zwischen und auf den Blöcken der Blockmeere auftreten.

Vergleicht man die Verhältnisse auf der Brockenkuppe z.B. mit denen im Riesengebirge, so wird deutlich, dass sich im Bereich der Waldgrenze die etageale Gliederung am Brocken sehr einfach darstellt. Man kann im Riesengebirge die Abfolge etwa so beschreiben: Fichtenwald-Waldgrenze-Kampfzone der Fichte-Baumgrenze-Knieholzzone-Zwergstrauchheide, letztere verzahnt mit Borstgrasfluren (Abb. 5). Am Brocken ist dagegen eine recht abrupte Auflösung des Fichtenwaldes zu beobachten, die durch das Zusammenfallen von Wald- und Baumgrenzen gekennzeichnet ist. Dass es neben der Waldgrenze keine eigentliche Baumgrenze mehr gibt, haben bereits WEIGEL (1957) und HEYNERT (1970) ausführlich kommentiert. Damit entfiel definitionsgemäß (HEYNERT 1970) auch eine „Kampfzone“ der Fichte. Die Knieholzzone fehlt vollständig, denn die Latschen-



Abb. 5: Höhenzonierung der Vegetation an der Schneekoppe im Riesengebirge.

kiefer (*Pinus mugo*) kommt im Harz natürlicherweise gar nicht vor. Teilweise wurde an der Waldgrenze eine solche „Knieholzzone“ gesucht und in einer Kartendarstellung auch so vermerkt (WEIGEL 1957). Tatsächlich gibt es sie aber nicht. Was hier so benannt wird, sind lediglich die krüppelartigen Fichten, die den oberen Saum des Fichtenwaldes bilden. Dann schließt sich die waldfreie Brockenkuppe an. STÖCKER (1965b) verwendet als Bezeichnung für die baumfreien Kuppenregion des Brockens u.a. den Begriff „Bergheide“, wie er so auch bei DRUDE (1902) schon zu finden ist. Als zwar nicht scharf definierter Begriff erscheint diese Bezeichnung aber sehr sinnvoll, da hier auch die Folgen der Beweidung, die mindesten seit 1800 dort betrieben wurde, integriert werden.

Somit ist der Vorschlag von DIERSCHKE & KNOLL (2002) in jeder Hinsicht sinnvoll für derartige Grenzlagen der Mittelgebirge den Begriff „supramontan“ zu verwenden. Das entspricht auch den Darlegungen in ROTHMALER (Grundband 2011) und WIRTH et al. (2013).

Mit der Beschreibung der Maßnahmen des Nationalparks auf der Brockenkuppe wird diese als extrazonale Erscheinung oberhalb der Waldgrenze angesehen (NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ 2011). Das stimmt überein mit DIERSSEN (1996), indem sich solche extrazonalen Formationen höhenstufenmäßig an die zonalen anschließen können. Da auch die Fichten-Bergwälder als extrazonale „Ableger“ der borealen Zone gesehen werden (FISCHER 2003), wird die nördliche Prägung der höheren Harzlagen damit im Besonderen unterstrichen.

Die tschechischen Kollegen vom Riesengebirgs-Nationalpark (Krkonošský Národní Park) verwenden sogar in ihren Informationsbroschüren für die höchsten Lagen der Schneekoppe den Begriff „Tundra“ (ŠTURSA 1999), wie es in ganz konsequenter

Weise auch von SCHRÖDER (1998) mit „Tundra (sensu latissimo)“ und PÖRNER (1959) für den Brocken getan wird. Der Begriff „Tundra“ wird hier nicht im streng geografischen Sinne gebraucht, sondern gewissermaßen als Analogie im vegetationskundlichen Sinn. SCHUBERT (1966) beschreibt die Situation folgendermaßen: „Viele Pflanzen der arktischen Vegetation weisen einen zweiten Verbreitungsschwerpunkt in entsprechenden Vegetationstypen der höheren Gebirge der südlicheren Breiten auf. Diese Ähnlichkeit der arktischen und der Gebirgsvegetation hat ihren Grund in der Durchmischung, die beide während der Glazialzeiten erfahren haben.“ Ohne das Thema hier weiter vertiefen zu wollen, wird sichtbar, dass zumindest die genannte Analogie zur Tundrenregion auch auf dem Brocken gegeben ist, die hier durch das vorliegende Arteninventar weiter unterstrichen wird.

Die so gefasste Vegetation oberhalb der Waldgrenze kann in Abhängigkeit von zahlreichen Faktoren, so auch der Kulturtätigkeit durch den Menschen, ganz unterschiedlich gestaltet sein. Sie kann aus einem gemischten Grasland, einer reinen Grasflur, Heide, Staudenflur oder Moos- und Flechtenvegetation bestehen (SCHRÖDER 1998). Auf der flächenmäßig sehr kleinen Brockenkuppe zeigt sich heute eine stark durch menschlichen Einfluss geprägte Vegetation. Auf an Feinerde armen Standorten der Brockenkuppe sieht SCHUBERT (1960) eine von ihm als Brockenanemone-Heidekrautheide (*Anemone micranthae-Callunetum*) beschriebene Gesellschaft als von jeher natürlich an. Solche Standortbedingungen ergeben sich im Umfeld großer Blöcke und im Kuppenbereich, wo Erosion zu Feinerdearmut führt. Auch an vom Menschen geschaffenen feinerdearmen Stellen (z.B. durch intensives Betreten) siedelt die Gesellschaft (Abb. 6, 7). In dieser Form wird die Brockenanemone-Heidekrautheide als ein Unikat des Brockens gesehen (SCHUBERT et al. 2001), das zwar Ähnlichkeiten zum Schwarzwald oder Riesengebirge erkennen lässt, aber insgesamt einer Abtrennung von dort auftretenden Verbänden bedarf.



Abb. 6: Vegetationsfreie Bereiche durch intensives Betreten auf der Brockenkuppe (Postkarte um 1910).

Unter den aktuellen Bedingungen strebt die Brockenvegetation einem recht uniformen Grasland zu (WEGENER 2002, KARSTE 2014). Daran haben besonders die Nährstoffeinträge aus der Luft einen großen Anteil. Hingegen weisen Angaben der älteren Literatur auf Vorkommen konkurrenzschwacher Arten (*Selaginella selaginoides*, *Alectoria ochroleuca*, *Cetraria nivalis*, *Thamnolia vermicularis* usw.), die heute kaum noch Standortbedingungen vorfinden dürften. Sie zeigen aber, dass hier einst offene Vegetationsverbände existierten (Abb. 5), wie sie heute noch auf der Schneekoppe im Riesengebirge zu beobachten sind.



Abb. 7: Brockenkuppe kurz vor der Sperrung 1961 (Foto: H. Eckhardt).

**3. Der Schutz der Brockenvegetation und der Brockengarten**  
Mit der Eingliederung der Brockenkuppe in den Nationalpark rückte der Schutz der Brockenvegetation ins Blickfeld, besonders unter dem Aspekt eines Massentourismus, der bis heute ungebrochen ist. Der Interessenausgleich zwischen Tourismus und Naturschutz auf dem Brocken erwies sich als unerlässlich, um beiden Seiten Entfaltungsmöglichkeiten zu geben. Schon HARTMANN (1961) schrieb zu den Aufgaben des Gartens: „Der Garten dient vor allem wissenschaftlichen Zwecken, hat aber noch eine dritte, sehr wesentliche Aufgabe zu erfüllen: Schutz der heimischen Brockenflora vor gänzlicher Ausrottung. Er ist zugleich ein Zufluchtsort für die schwer bedrohte ursprüngliche Brockenflora und dient damit dem Naturschutzgedanken.“

Bereits HERMANN LÖNS (1910) charakterisierte den Brockentourismus mit seiner speziellen Erscheinungsform nach Inbetriebnahme der Brockenbahn sehr treffend. Daran hat sich wohl im Laufe der Zeit insgesamt wenig geändert, abgesehen davon, dass, „... man reißt Brockenanemonen haufenweise ab; ...“ heute nicht mehr stattfindet. Auch SCHRÖDER (1785) war schon sehr besorgt um den Fortbestand der Charakterpflanze des Brockens und beschwor alle Reisenden „sie sollten keine Brocken-Anemonen mehr pflücken“. KOHL (1866) sah die Art dagegen noch so

häufig, „daß sie zuweilen in ihrer Hauptblütezeit der Brockenwiese einen weißlichen Schimmer verleiht“.

Notwendigkeit eines Schutzes „vor gänzlicher Ausrottung“ ist eine wohl korrekte Wiedergabe der Situation 1961. In dieser Zeit war Ernst Pörner (1886-1965) Kreisnaturschutzbeauftragter in Wernigerode (BEHRENS 2006). PÖRNER (1959) schrieb in der dritten Folge eines entstandenen Naturschutzheftes für den Bezirk Magdeburg: „Das Verständnis für die Notwendigkeit der Erhaltung der natürlichen Gegebenheiten unserer Heimatlandschaft mit ihren vielgestaltigen Lebensformen als der Grundlage unserer Lebensmöglichkeiten und eine gewisse Ehrfurcht für ihre Schönheit müssen Gemeingut aller Bevölkerungskreise werden. Sonst könnten leicht im Banne einer falsch verstandenen Zivilisation durch übereilte und in ihren Folgen nicht genügend durchdachte Eingriffe im Zuge fortschreitender Technisierung die letzten Werte kurzfristig geopfert werden. Wo kann dann noch der moderne und im Berufsleben stehende Mensch Erholung und Entspannung finden? Gerade aus der Sorge um den schaffenden Menschen ist das Naturschutzgesetz unserer DDR entstanden.“ Zuvor hatte er auf Hermann Löns Bezug genommen und dessen Mahnung „Mehr Schutz dem Brocken!“ übernommen. Etwas deutlicher formuliert er dann: „Leider verhalten sich viele dieser Brockenbesucher nicht so, wie die erhabene Natur es dort erfordert. Mit welchem Unverstand werden oft die seltene Brockenanemone und andere seltene Blumen vernichtet. ... Papier, Flaschen und andere Gegenstände liegen dann am Abend in großen Mengen zwischen den Klippen und auf den Matten.“ Man wird vor allem den ersten Teil des Textes als vielleicht „eigenartig“ sehen, muss sich aber bewusst machen, dass es durchaus „mutige“ Formulierungen waren, denn noch herrschte der recht rigide Geist der Stalinzeit. Was Pörner also mehr verklausuliert sagt, brachte HERMANN MEUSEL (1957) auf den Punkt: „Um die auf dem beschränkten Raum des Gipfels hart aufeinanderstoßenden Interessen zu regeln, ...“ Meusel unterbreitete einen Vorschlag, der u.a. enthielt: Teile des Gipfels einzuzäunen, die Bebauung nicht auszudehnen, Autoverkehr nur bis Schierke ... Er nannte die Feldbergkuppe im Taunus in Westdeutschland als mahnendes Beispiel und wollte abwenden, dass „alles geopfert werden muß für umstrittene Zivilisationsfreunden.“

Zweifellos hatte sich die Situation des Brockentourismus sehr zugespitzt. Dieser schon früher karikierte Massentourismus mit seinen „Merkwürdigkeiten“ war kaum mehr beherrschbar. Es mag heute wohl etwas befremdlich erscheinen, wenn von den Naturschutzakteuren um Ernst Pörner die Grenzschließung am 13.8.1961, verbunden mit der kompletten Schließung des Brockens für jeglichen Tourismus, auch und sogar als eine Art „Befreiung“ empfunden wurde (BARTSCH pers. Mitt.).

In die wechselvolle Geschichte des Brockengartens gehört auch die Schaffung eines „Mattengartens“ an der Großen Zeterklippe,

der 1976 angelegt und bis 1982 bepflanzt wurde. Hierher wurden wichtige Aufgaben des nicht zugänglichen Brockengartens ausgelagert. Da die hermetische Abriegelung der Brockenkuppe auch eine gärtnerische Betreuung der Anlagen des Brockengartens nicht zuließ, wurde dieser Weg beschritten. Sowohl die Anlage als auch die Unterhaltung dieses Ersatzgartens waren mit vielen Mühen verbunden. Die klimatisch nicht optimalen Bedingungen mit absoluter Gräserdominanz führten zu extrem hohem Pflegeaufwand. Wie schwierig sich das gestaltete, wird daran erkennbar, dass 1991, zwei Jahre nach der Aufgabe des Gartens, 80-90 % der Flächen bereits wieder von der natürlichen Vegetation überwachsen waren (WEGENER 2002, WEGENER & KARSTE 2003).

#### 4. Der gesetzliche Schutz der Brockenkuppe im Nationalpark

Solche Verordnungen zum Schutz des Brockenwaldes wie die von 1718 (vgl. WEGENER & HLAWATSCH 1994) oder zur Verhinderung eines übermäßigen Baugeschehens auf dem Brocken durch das Haus Stolberg-Wernigerode können wir kaum als Naturschutzbemühungen im heutigen Sinne verstehen (BEHRENS 2006). Hier dürfte die Sicherung von Eigentumsrechten im Vordergrund gestanden haben.

Eine erste, wenn auch einstweilige Unterschutzstellung des Brockengebietes im weiteren Sinne liegt vom 10.7.1937 vor. Am 11.9.1967 wurden dann 1.980 ha als NSG „Oberharz“ unter Schutz gestellt (HENTSCHEL et al. 1983). 1985 wurden noch ein Totalreservat mit einer Größe von 238 ha und eine „Pufferfläche“ mit eingeschränkter Nutzung (300 ha) eingerichtet (WEGENER & HLAWATSCH 1994). Immer in den Grenzen der damaligen Möglichkeiten des Naturschutzes war zumindest dokumentiert, dass der „Brockenurwald“ erhalten werden sollte. Nach turbulenten Vorbereitungen in der „Wendezeit“ (WEGENER & HLAWATSCH 1994) kam es am 12. September 1990 zur „Verordnung über die Festsetzung des Nationalparkes Hochharz“ (Gesetzblatt der DDR SD 1469 vom 1.10.1990). Wie schon erwähnt, ergaben sich wegen der besonderen Interessen zur touristischen Vermarktung der Brockenkuppe immer wieder Diskussionen um die Zugehörigkeit der baumfreien Kuppe zum Nationalpark. Eine in der Strichstärke den Außengrenzen gleichende Markierung um die Brockenkuppe in der Kartendarstellung des Nationalparks war dafür Anlass. Mit dem „Gesetz über den Nationalpark Hochharz des Landes Sachsen-Anhalt (NlpG LSA)“ vom 6.7.2001 (GVBl. LSA 12 Nr. 33 vom 3.8.2001) wurden diese Unklarheiten endgültig ausgeräumt. Die Brockenkuppe wurde in die „Bildungs- und Erholungszone“ eingegliedert, für die eine eigene Kartendarstellung erfolgte (Abb. 8). Danach war die Brockenkuppe in Flächen „mit Betretungsrecht“, „ohne Betretungsrecht“ sowie den Brockengarten und die Gebäude gliedert. Zusätzlich zu den allgemeinen Bestim-



Abb. 8: Separation von Flächenschutz- und Betretungsbereichen auf der Brockenkuppe mit dem Nationalparkgesetz von 2001.

mungen wurde noch eine „Verordnung...“ erlassen (GVBl. LSA Nr. 39/2001 vom 24.8.2001), die die wirtschaftliche Tätigkeit auf der Brockenkuppe regeln sollte, aber tatsächlich nur wenig Wirkung entfaltete.

Immerhin brachte das NlpG LSA von 2001 erstmals eine gesetzlich klare Handlungsrichtlinie für die Brockenkuppe. Die Separation von touristischen Bereichen und Naturbereichen ermöglichte eine räumliche Abgrenzung und die Brockenkuppe wurde zum Ort der Nagelprobe, ob Massentourismus und Naturschutzbelange auf kleiner Fläche miteinander vereinbar sind und ihre Ziele verfolgen können, ohne die andere Seite zu beeinträchtigen. Der Brockengarten fand eine gesetzliche Verankerung „als Schau- und Versuchsgarten sowie zur Erhaltung bestandsbedrohter oder besonders geschützter Arten“ (§ 10 (1) Nr. 3 NlpG LSA).

Mit der Fusion der beiden Harzer Nationalparke zum 1.1.2006 erfolgte auch eine Neufassung und Angleichung der beiden Nationalparkgesetze. Das „Gesetz über den Nationalpark Harz (Sachsen-Anhalt)“ vom 20.12.2005 (GVBl. LSA Nr. 68/2005 vom 30.12.2005) übernahm die Grundsätze der Behandlung der Brockenkuppe, auch wenn einige Aspekte nicht mehr explizit erwähnt wurden. Die Brockenkuppe wurde danach insgesamt in die Nutzungszone und hier in die Pflegezone übernommen. Der Nationalparkplan sieht für die extrazonale Vegetation der Brockenkuppe mit aktuell sehr hohen Stickstoffeinträgen

Artenschutzmaßnahmen vor. Zum einen ist die Vegetation der Brockenkuppe durch die militärische und sonstige Nutzung nachhaltig gestört und verändert. Längerfristig unberührte Flächen finden sich, wenn überhaupt noch, zumeist entlang der Waldgrenze. Die enormen Stickstoffeinträge führen zu einer starken Bevorzugung der Gräser gegenüber den Zwergsträuchern. Das erfordert für die Erhaltung konkurrenzschwächerer Arten Pflege- und Schutzmaßnahmen, die unter Einbeziehung des Brockengartens tatsächlich und sehr erfolgreich stattfinden (KARSTE 2014).

#### Literatur

- BEHRENS, H. (2006): Lexikon der Naturschutzbeauftragten. Band 2 Sachsen-Anhalt. Hrsg. Inst. Umweltgeschichte Reg.-Entw. e.V., Neubrandenburg, 358 S.
- BEUG, H.-J., HENRION, I. & SCHMÜSER, A. (1999): Landschaftsgeschichte im Hochharz. Die Entwicklung der Wälder und Moore seit dem Ende der letzten Eiszeit. Clausthal-Zellerfeld, 454 S.
- DIERSSEN, K. (1996): Vegetation Nordeuropas. Stuttgart, 838 S.
- DRUDE, O. (1902): Der hercynische Florenbezirk. Leipzig, XIX+671 S.

- EBEL, F., KARSTE, G., KÜMMEL, F., RICHTER, W. & STRUMPF, W. (1999): Der Brockengarten. Ein Schau- und Versuchsgarten. Studio Volker Schadach (Hrsg.), Goslar, 96 S.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., Stuttgart, 1.095 S.
- FISCHER, A. (2003): Forstliche Vegetationskunde. Stuttgart, 421 S.
- HAEUPLER, H. (1970): Vorschläge zur Abgrenzung der Höhenstufen der Vegetation im Rahmen der Mitteleuropakartierung. Göttinger Flor. Rundbr. 4: 3-15.
- HARTMANN, W. (1961): Der Alpenpflanzgarten auf dem Brocken. Unterm Brocken 3/1961: 79-83.
- HENTSCHEL, P., REICHHOFF, L., REUTER, B. & ROSSEL, B. (1983): Handbuch der Naturschutzgebiete der Deutschen Demokratischen Republik. Band 3, Leipzig, Jena, Berlin, 312 S.
- HERTEL, D. & SCHÖLING, D. (2011a): Below-ground response of Norway spruce to climate conditions at Mt. Brocken (Germany) - A re-assessment of Central Europe's northernmost treeline. *Flora* 206: 127-135.
- HERTEL, D. & SCHÖLING, D. (2011b): Norway Spruce Shows Contrasting Changes in Below-Versus Above-Ground Carbon Partitioning towards the Alpine Treeline: Evidence from a Central European Case Study. *Arctic, Antarctic, and Alpine Res.* 43: 46-55.
- HEYNERT, H. (1970): Blühende Bergheimat. Leipzig, Jena, Berlin, 228 S.
- KAISER, T. & ZACHARIAS, D. (2003): PNV-Karten für Niedersachsen auf der Basis der NÜK 50. *Inform. Naturschutz Niedersachs.* 23: 2-60.
- KARSTE, G. (2014): Die Entwicklung der Vegetation auf dem Brocken innerhalb der Brockenmauer von 1993-2013. *Mitt. Flor. Kart. Sachsen-Anhalt* 19: 11-17.
- KARSTE, G., SCHUBERT, R., KISON, H.-U. & WEGNER, U. (2001): Vegetationsentwicklung nach Sanierung des Militärgeländes auf der Brockenkuppe im Nationalpark Hochharz. *Arch. Natursch. Landschaftsforsch.* 40: 29-57.
- KARSTE, G., SCHUBERT, R., KISON, H.-U. & WEGENER, U. (2011): Die Pflanzengesellschaften des Nationalparks Harz (Sachsen-Anhalt). Eine kommentierte Vegetationskarte. *Schr.-R. Nationalpark Harz* 7: 60 S.
- KISON, H.-U. & WERNECKE, J. (2004): Die Farn- und Blütenpflanzen des Nationalparks Hochharz. *Forschungsbericht, Wernigerode*, 184 S.
- KOHL, J. G. (1866): Deutsche Volksbilder und Naturansichten aus dem Harze. Hannover, 436 S.
- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (2000): Karte der potentiellen natürlichen Vegetation von Sachsen-Anhalt. *Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 1/2000*, 1-230 S.
- LÖNS, H. (1910): Auf der Brockenbahn. Wernigerode, 11 S.
- MEUSEL, H. (1957): Vorschläge für den Schutz der Brockenkuppe. *Natur und Heimat Heft 5*: 153.
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2011): Nationalparkplan für den Nationalpark Harz 2011-2020. Wernigerode, 132 S.
- NLPG LSA vom 6.7.2001: Gesetz über den Nationalpark Hochharz des Landes Sachsen-Anhalt. *GVBl. Land Sachsen-Anhalt* 12 Nr. 33 vom 3.8.2001: 304-310.
- PETER, A. (1899): Die Flora des Harzes. In: HOFFMANN, H.: *Der Harz*. Leipzig (Nachdruck Würzburg 1996): 22-38.
- PÖRNER, E. (1959): Mehr Schutz dem Brocken! *Naturschutz und Landschaftsgestaltung im Bezirk Magdeburg*, 3. Folge: 11-19.
- RICHTER, W. & KISON, H.-U. (2009): 120 Jahre Brockengarten. *Geschichte und Geschichten um den Alpenpflanzgarten auf dem Brocken*. *Abh. Ber. Museum Heineanum* 8: 101-112.
- ROTHMALER, W. (2011): *Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband*. Hrsg.: E. J. Jäger. Heidelberg, 930 S.
- SCHMIDTHÜSEN, J. (1961): *Allgemeine Vegetationsgeographie*. Berlin, 262 S.
- SCHRÖDER, C. F. (1785): *Abhandlung vom Brocken und dem übrigen alpinischen Gebürge des Harzes*. Dessau. Reprint: Wernigerode 2014.

- SCHRÖDER, F.-G. (1998): Lehrbuch der Pflanzengeographie. Wiesbaden, 457 S.
- SCHUBERT, R. (1960): Die zwergstrauchreichen azidiphilen Pflanzengesellschaften Mitteldeutschlands. Jena, 235 S. und Tafeln.
- SCHUBERT, R. (1966): Pflanzengeographie. Berlin, 296 S.
- SCHUBERT, R., HILBIG, W. & KLOTZ, S. (2001): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands. Heidelberg & Berlin, 472 S.
- SCHUBERT, R. & WAGNER, G. (1961): Pflanzennamen und botanische Fachwörter. Radebeul, 662 S.
- STÖCKER, G. (1965a): Vegetationskomplexe auf Felsstandorten, ihre Auflösung und Systematisierung der Komponenten. Feddes Rep. Beiheft 142: 222-236.
- STÖCKER, G. (1965b): Eine neue Zwergstrauch-Gesellschaft aus dem Naturschutzgebiet „Oberharz“. Arch. Naturschutz Landschaftsforschung 5: 111-113.
- STÖCKER, G. (1965c): Das Reliktvorkommen der Kiefer am nördlichen Harzrand. Naturschutz naturkd. Heimatforsch. Bez. Halle Magdeburg 2: 51-60.
- STÖCKER, G. (1990): Vegetationseinheiten der Höhenstufen des Harzes. In: KRAFTZWERG e.V. (Hrsg.): Tourismus und Nationalpark im Harz. Tagungsbericht, Die Hefte Nr. 7: 16-24.
- ŠTURSA, J. (1999): Die Blumen des Riesengebirges. Vrchlabí, 32 S.
- Verordnung über die Festsetzung des NationalparkesHochharz vom 12.9.1990. Gesetzblatt der DDR, Sonderdruck 1469 vom 1.10.1990: 1-3.
- VOIGTLÄNDER-TETZNER, W. (1895): Pflanzengeografische Beschreibung der Vegetationsformationen des Brockengebietes. Schr. Naturwiss. Ver. Harz 10: 87-115.
- WEGENER, U. (2002): Untersuchungen zur Gräserkonkurrenz in hochmontanen Matten (Harz). Arch. für Naturschutz Landschaftsforsch. 41: 111-124.
- WEGENER, U. & HLAWATSCH, H. (1994): Die Entstehungsgeschichte des Nationalparks. In: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Der Nationalpark Hochharz. Naturschutz Sachsen-Anhalt 31, Sonderheft, 72 S.
- WEGENER, U. & KARSTE, G. (2003): Sukzessionsuntersuchungen bei der Anlage, während des Betriebs und nach Auffassung eines Mattengartens im Hochharz. Hercynia N.F. 36: 197-216.
- WEGENER, U. & KISON, H.-U. (2002): Die Vegetation des Brockens im Nationalpark Hochharz. Tuexenia 22: 243-267.
- WEIGEL, W. (1957): Beobachtung über die Wuchshöhe der gemeinen Fichte im Brockengebiet in ihrer Abhängigkeit von der Meereshöhe und der Exposition. Geogr. Ber. 2: 81-88.
- WIRTH, V., HAUCK, M. & SCHULTZ, M. (2013): Die Flechten Deutschlands. Bd. 1, Stuttgart, 672 S.

**Anschrift des Verfassers:**

Dr. Hans-Ulrich Kison  
 Nationalpark Harz  
 Lindenallee 35  
 38855 Wernigerode  
 kison@nationalpark-harz.de

CHRISTIAN KÖRNER, Basel

# Die Baumgrenze im Gebirge, der alpine Lebensraum und der Wert von Alpengärten für die biologische Forschung

Der Festanlass zum 125jährigen Bestehen des Alpengartens auf dem Brocken, der höchsten Erhebung des Harzgebirges (1.141 m ü. NHN), bot Gelegenheit, die Besonderheiten dieses Mittelgebirges in Bezug auf die Baumgrenze und den alpinen Lebensraum in einem globalen Kontext zu beleuchten. Anschließend diskutiere ich den Wert von Alpengärten für die wissenschaftliche Forschung.

Die alpine Stufe ist der natürlicherweise baumfreie Lebensraum oberhalb der alpinen Baumgrenze. Viele Generationen von Botanikern und Geographen befassten sich mit der auffälligen Obergrenze des Waldes in den Gebirgen der Erde, über die sich auch die Besonderheit des alpinen Lebensraumes definiert. Das Gipfelplateau des Brocken erreicht knapp diese Grenze, trotz seiner niedrigen Höhe über Meer. Was können alpine Pflanzen besser oder anders als Bäume? Verfügen Bäume über eine mangelhafte physiologische Anpassung an Kälte, die es ihnen nicht erlaubt, dort zu leben, wo hunderte von Blütenpflanzenarten bestens gedeihen? Wie kommt es, dass auf die alpine Stufe aller Gebirge weltweit nur 2,6 % der Landfläche (ohne Antarktis) entfallen, dort aber etwa 4 % aller bekannter Blütenpflanzenarten vorkommen (KÖRNER 2004), obwohl der Lebensraum als lebensfeindlich und stressreich gilt? Die Beantwortung dieser Fragen führt auch zur Beantwortung der Frage, ob die Baumgrenze am Brocken natürlich ist, und der Lebensraum darüber, wo sich der Alpengarten befindet, alpinen Bedingungen entspricht.

## Die alpine Baumgrenze definiert die untere Grenze der alpinen Stufe

Lebensräume definieren sich über ihre Grenzen. Klimatische Baum- oder Waldgrenzen sind ein globales Phänomen. Gemäss gängiger Konvention beschreibt die Waldgrenze (engl. forest line) die Grenze des geschlossenen Bergwaldes oder des polaren Randes des borealen Waldes. Die Baumgrenze (engl. treeline), knapp darüber oder nördlich davon, ist mit der Waldgrenze eng assoziiert, beschreibt die Verbindungslinie oberster oder nörd-

lichster Gruppen von Bäumen die mindestens 3 m hoch sind und deshalb die Wirkung der freien Luftzirkulation voll erfahren. Damit wird die Verbreitungsgrenze kleiner Baumsämlinge oder von verkrüppelten, strauchartigen Individuen (Krummholz) explizit von der Definition ausgeschlossen.

Das Konzept natürlicher alpiner oder arktischer Baumgrenzen macht nur Sinn, wenn es sich auf das grundsätzliche, biologische Potential von Baumwachstum abstützt, unabhängig davon, ob vor Ort tatsächlich Bäume anzutreffen sind. Dies ist ein zentraler Punkt, dessen Vernachlässigung in der Vergangenheit viel Verwirrung stiftete. Eine anwendbare Theorie der globalen Baumgrenzen kann sich nur auf das biologische Potential der Lebensform beziehen, und nicht darauf, ob an bestimmten Stellen in der Landschaft Feuer, Weidewirtschaft, Holzgewinnung, Steinschlag, Lawinen, Vernässung oder Erosion für das Fehlen von Bäumen verantwortlich sind. Daher gibt es auch keine „abgesenkten“ Wald- oder Baumgrenzen, über die in der Literatur viel diskutiert wird. Der Wald kann nur dann natürlicherweise in tieferen Lagen seine biologische Verbreitungsgrenze finden, wenn auch die massgeblichen, biologischen und klimatischen Faktoren in geringerer Höhe über Meer wirksam werden, wie das am Brocken, schon knapp unterhalb der Gipfel-Kuppe zutrifft (Abb. 1). Eine gemeinsame Erklärung für das globale Baumgrenzphänomen kann also nur gefunden werden, wenn lokale Störungen ausgeklammert werden, so wichtig ihre ökologischen Folgen im Einzelfall auch sein mögen. Solche Störungen sind nicht waldgrenzspezifisch, sondern können überall auf der Welt dazu führen, dass Bäume dort fehlen, wo sie natürlicherweise gedeihen könnten. Es spielt dabei keine Rolle, ob diese Störungen „natürlich“ oder anthropogen sind (KÖRNER 2007, 2012).

Es ist heute unbestritten, dass die globale, alpine oder arktische Baumgrenze eine Lebensformgrenze darstellt (unabhängig von der Baumart) und dass diese Grenze mit Temperatur assoziiert ist, womit jedoch die Art der Temperaturwirkung noch offen ist. Sowohl umfangreiche Temperaturmessungen an Baumgrenzen



Abb. 1: Die Baumgrenze knapp unter der Brockenkuppe in ca. 1.138 m ü. NHN.

aller Kontinente (KÖRNER & PAULSEN 2004), als auch mittels geographischer Informationssysteme gewonnene Beziehungen zwischen Baumgrenze und Klima (PAULSEN & KÖRNER 2014), belegen eine erstaunlich konsistente, globale Baumgrenz-Isotherme der durchschnittlichen Lufttemperatur während der Wachstumsperiode („Saison“) von etwa 6,5 °C mit einer Standardabweichung von etwa 10 %. Die Baumgrenze am Brocken passt genau auf diese Isotherme (HERTEL & SCHÖLING 2011a, b). Bioklimatisch ist die Baumgrenze am Brocken also an der „richtigen“ Stelle, also im Rahmen der Unschärfe solcher Korrelationen in der dem Lokalklima entsprechenden Meereshöhe (Abb. 1). Damit ist auch der Lebensraum darüber alpin. Solche Temperaturmittelwerte errechnen sich über eine ebenfalls thermisch definierte Saisonlänge (z.B. Summe aller Tage mit einer Durchschnittstemperatur über 1 °C), die mindestens drei Monate dauert, damit Bäume ihr saisonales Wachstum vollenden können. Die globale Baumgrenz-Isotherme spiegelt also die Wechselwirkung dreier thermischer Einflüsse wider: Dauer und Basistemperaturschwelle der Saison und das sich über diese Zeit ergebende Mittel der Temperatur. Die Fähigkeit neues Gewebe zu bilden, ist erwiesenermassen die kritische Grösse auf welche die Temperatur wirkt. Seit langem ist bekannt, dass die pflanzliche Gewebebildung bei etwa 5 °C zum Stillstand kommt. Für Wintergetreide ist das besonders gut untersucht. Bei dieser Temperatur erreicht die photosynthetische CO<sub>2</sub>-Aufnahme kalteadaptierter Pflanzen aber noch 60-70 % der maximal möglichen, was ausschliesst, dass die Baumgrenze durch unzureichende Kohlenstofffixierung begründet werden kann (KÖRNER 2003, 2012). Es war eine der wichtigen Erkenntnisse der letzten Jahre, dass untere Temperaturgrenzen des Pflanzenwachstums nicht mit mangelnder photosynthetischer Leistung erklärt werden können. Im Folgenden erkläre ich, warum Bäume Kältengrenzen erreichen, lange bevor dies für kleinwüchsige Pflanzen, Zwergsträucher, Gräser und Kräuter zutrifft.

### Pflanzenleben in der alpinen Stufe

Der Grund für die obere Verbreitungsgrenze von Bäumen im Gebirge liegt in der Baumgestalt, im aufrechten Wuchs, der es Bäumen nicht erlaubt sich thermisch von der freien Luftzirkulation zu entkoppeln. Im Gegensatz dazu schaffen sich alpine Pflanzen in der bodennahen Luftschicht bei Sonnenbestrahlung ein warmes Mikroklima, indem sie den Abtransport von Wärme durch den Wind bremsen. So entsteht die paradoxe Situation, dass Bestände alpiner Pflanzen wärmer sind als Baumkronen an der Waldgrenze (SCHERRER & KÖRNER 2010, KÖRNER 2012). Abhängig von der Topographie (Orientierung und Steilheit von Hängen, Luv- oder Lee-Bedingungen), kann die Durchschnittstemperatur während der Wachstumsperiode im Bereich der Bildungsgewebe der Pflanzen (an oder knapp unter der Bodenoberfläche) 4-8 Grad wärmer sein als die an einer Wetterstation gemessene Lufttemperatur auf gleicher Meereshöhe. Dieser Temperaturunterschied entspricht einer 700 bis 1.400 m tieferen Höhenlage (0,55 Grad pro 100 Höhenmeter). Dies erklärt auch warum Sämlinge von Waldgrenzbäumen hoch über der Waldgrenze vorkommen. Eingebettet in alpine Rasen- oder Zwergstrauchgesellschaften, leben sie in einem günstigen Mikroklima. Wenn sie dem entwachsen, führt dies zu verkrüppeltem, strauchartigem Wuchs (Krummholz), der wiederum den Wind abhält und Erwärmung gegenüber der Luft ermöglicht, aber nicht zur aufrechten Baumform führt.

Gebirgspflanzen sind also nicht deshalb klein, weil ihre Wachstumskraft es verunmöglicht grösser zu wachsen, sondern sie sind „small by design“. Sie entwickeln also eine Körpergestalt, mit der sie ein warmes Kleinklima erzeugen können. Zerstört man diese aerodynamisch geschützte Zone (zum Beispiel in dem man alle Nachbarn rund um ein Individuum wegschneidet), verschwindet der mikroklimatische Vorteil und damit die Lebensgrundlage. Das ist übrigens nicht nur im Gebirge so. Auch freigestellte Waldbäume haben bekanntlich ein Problem und sei es nur, dass sie dem Sturm nicht standhalten.

Die ausgeprägteste Entkoppelung von der Lufttemperatur zeigen Polsterpflanzen, in deren Blattschicht die Temperaturen bei schönem Wetter regelmässig über 30 °C steigen. Sie besiedeln weltweit windige, kalte Regionen mit schwacher oder fehlender Bodenbildung. Die Erwärmung unter Sonnenbestrahlung kann bei Polsterpflanzen so weit gehen, dass Teile absterben. An der Silikat-Polsternelke (*Silene exscapa*), von der auch im Brockengarten große Exemplare existieren, kann man sich in den Alpen an „Brandflecken“ orientieren, wenn man ohne Kompass in Nebel gerät. Sie sind immer auf der Südseite des Polsters. Warum dann dieser extrem kompakte Wuchs? Er hat in dem Fall weniger mit Wärmegewinn zu tun, sondern garantiert, dass der Wind abgestorbene Pflanzenteile nicht verbläst, sodass diese, wie in einem Komposthaufen, innerhalb des Polsters verbleiben



und damit die einmal dem kargen Boden entrissenen Nährstoffe für die Pflanze verfügbar bleiben (KÖRNER 1993). Der Preis dafür ist gelegentliche Überhitzung. Am kältesten Standort, an dem bis heute eine Blütenpflanze entdeckt werden konnte, in 4.505 m ü. NHN am Dom in den Schweizer Alpen, wächst einzig der gegenblättrige Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia*), der dank seines polsterförmigen Wuchses hoch über den Gletschern noch genügend Wärme ansammeln kann (KÖRNER 2011).

Abgesehen von Überhitzungseffekten an Polsterpflanzen, trägt der gedrungene Wuchs alpiner Pflanzen immer zu einer günstigen Erwärmung gegenüber der Luft bei, selbst bei trübem Wetter und schwacher Sonnenstrahlung. Alpine Pflanzen leben somit in einer viel wärmeren Welt als Bäume an der Baumgrenze (KÖRNER et al. 2003).

Die biologische Leistungsfähigkeit alpiner Pflanzen ist in jeder Hinsicht erstaunlich. Sie verfügen über eine im Schnitt höhere Leistungsfähigkeit der Photosynthese (weshalb schon relativ wenige Blätter ausreichen ein grosses Wurzelsystem zu versorgen), ihre Blätter enthalten mehr Stickstoff und somit mehr Eiweiss als bei verwandten Arten im Tal, sie haben eine hohe Frosthärte und sind in ihrer Entwicklung sehr flexibel. Ihr klonaler Wuchs garantiert eine erfolgreiche Verbreitung auch ohne Samen, und sollte es passieren, dass einen Sommer lang der Schnee nicht wegschmilzt, ist das für die Mehrheit der Pflanzen kein Problem, es wurden ausreichend Reserven gespeichert (KÖRNER 2003).

Es ist also keineswegs so, dass alpine Pflanzen „arme, gestresste“ Lebewesen sind. Ein Leben im Tal wäre für sie sogar sehr bedrohlich. Dies weist auf eine weitverbreitete Missdeutung von Lebensbedingungen, die sich an den Bedürfnissen des Menschen orientiert. Weder sind Alpenpflanzen kältelimitiert, noch Pflanzen der Sahara trockenheitslimitiert. Diese Bedingungen sind die Voraussetzung für ihre Existenz. Eine Erwärmung oder, im Fall der Sahara, andauerndes Wasserangebot, würde das Ende ihrer Existenz herbeiführen. Es würden andere Arten über sie wuchern. Natürliche Pflanzenvorkommen spiegeln den Selektionsprozess der Natur. Standorte die uns unwirtlich erscheinen, sind für die dort beheimateten Pflanzen „normal“ oder gar ideal. Verpflanzt man alpine Pflanzen ins Tal, überleben das nur wenige. Die meisten können ihren auf Kälte eingestellten Stoffwechsel in der Wärme nicht „zurückdrehen“ und „verheizen“ so ihre Energie. Kew Gardens bei London richteten daher gekühlte Glashausrabatten ein, um dem Publikum Gletscherhahnenfuß (*Ranunculus glacialis*) vorzuführen. Stress- und Limitierungskonzepte aus der Landwirtschaft (mit Fokus auf Ertrag) sind gänzlich ungeeignet die Lebensbedingungen von Pflanzen an ihrem natürlichen Standort zu bewerten.

Es wäre deshalb auch falsch zu erwarten, dass eine allgemeine Klimaerwärmung in der alpinen Stufe das grosse Sterben auslösen wird. Für Berge, die hoch genug sind, also höher als der Brocken, sind alarmistische Aussterbeszenarien für die alpine Pflanzenwelt realitätsfern. Die erwähnte topographische Vielfalt und die damit verbundene, enorme Habitatvielfalt, ermöglicht den alpinen Pflanzen (und Tieren) über sehr kurze Distanz (von wenigen Metern) alternative Lebensbedingungen zu finden. Dies ist einer der Gründe, warum Gebirge so artenreich sind, und warum so viele alpine Arten in den Eiszeiten auf den Südflanken eisfreier Gipfel überlebten. Das erklärt auch, warum Berggebiete in erdgeschichtlichen Perioden rascher Klimaänderungen immer Rückzugsgebiete und damit Refugialräume waren. Darin liegt die grosse Bedeutung der Gebirge überall auf der Welt für den Naturschutz in einem sich ändernden Klima. Das Brockenplateau wird wohl auch in Zukunft ein offener Raum für alpine Pflanzen bleiben. Heftige Stürme halten solche exponierte Standorte baumfrei, auch wenn die Temperaturen steigen (Gipfelsyndrom) und die Gärtner des Alpengartens werden dafür sorgen, dass die oft sehr kleinen Alpenpflanzen nicht von Gras überwuchert werden, denn das ist ein Problem am Brocken. Warum?

Am Brocken werden, grossteils mit dem Niederschlag, in grosser Mengen lösliche Stickstoffverbindungen eingetragen (Stickstoffdeposition). Hier trifft das „einsame“ Plateau in einer industrialisierten Grosslandschaft der Zivilisationsabfall aus Verbrennungsprozessen und Landwirtschaft mit voller Wucht, ungebremst durch Vorgebirge (KÖHLER et al. 2014). Diese Eutrophierung erkennt man auf der Brockenkuppe am unnatürlich „saftigen“ Grün und am teilweise kniehohen Bewuchs mit Gras. Ungepflegte alpine Pflanzen würden rasch davon überwuchert. Dies ist auch einer der Gründe warum nach der Wiedereröffnung des kriegs- und nachkriegsbedingt, Jahrzehntlang gesperrten Alpengartens, im Jahr 1989 nicht mehr viel von den ursprünglichen Arten vorhanden war. Überlebt haben hauptsächlich hochstaudenartige nitrophile Arten, die der Graskonkurrenz gewachsen waren (SCHUBERT et al. 1990). Die Besonderheiten des Brocken, wie das natürliche Vorkommen arktischer oder alpiner Arten wie *Carex bigelowii* und *Pulsatilla alba* (KARSTE 1997) sind durch diese Eutrophierung ernsthaft gefährdet.

### Alpengärten als Ort biologischer Forschung

Im Prinzip ist jeder Garten ein „common garden“, also ein Ort mit gleichen Wachstumsbedingungen an dem unterschiedliche Arten ausgepflanzt sind. Das „common garden“ Konzept ist eines der wichtigsten Instrumente der Erforschung genetischer Eigenschaften von Pflanzen unterschiedlicher Herkunft unter gleichen Wuchsbedingungen und Gebirge waren der erste Anwendungsbereich dieses Konzeptes (REGEL 1856, KERNER 1864, BONNIER 1890). Lehrbuchklassiker der erfolgreichen An-

wendung solcher Verpflanzungsexperimente sind die Arbeiten von CLAUSEN et al. (1948) und CLEMENTS (1950). Letzterer verwies auch auf die grosszügig angelegten, aber wenig erfolgreichen Experimente mit Alpenpflanzen von C. Nägeli (ein Schweizer Botaniker) nach München, um die Mitte des 19. Jahrhunderts. Sie bewiesen, dass es Alpenpflanzen keineswegs besser geht, wenn man sie in eine warme Welt verpflanzt, und ein „Alpinum“ am besten in grosser Höhenlage angelegt wird.

Alpengärten haben dieselben Limitierungen wie jedes „common garden“ Experiment. Ein gleicher gemeinsamer Lebensraum ist für Arten aus unterschiedlichsten Lebensräumen biologisch alles andere als «gleich». So mag der Garten für die eine Art eher zu warm, für die andere eher zu kühl sein, und Analoges gilt für die Bodenbedingungen. Die Mehrzahl der alpinen Gärten versucht aktiv durch spezielle Massnahmen karge Bodenbedingungen zu schaffen und auch zu erhalten. Was in Alpengärten gegenüber wissenschaftlichen „common gardens“ ungünstig ist, ist die meist geringe Individuenzahl pro Art und die oft schlecht dokumentierten Herkünfte der Arten. Was solche Gärten hingegen auszeichnet, ist ihre vergleichsweise hohe Artenzahl. Ein weiterer Vorteil von Alpengärten ist, dass dort viele ausdauernde Alpenpflanzen in reifem Zustand seit vielen Jahren gedeihen, was in wissenschaftlichen Versuchsgärten kaum zu realisieren ist. Schliesslich bietet die Vielzahl solcher Gärten wertvolle Vergleichsmöglichkeiten, vor allem, wenn man die Schnittmenge gemeinsamer Arten verschiedener Gärten betrachtet.

Wissenschaftliche Arbeiten in Alpengärten sollten daher deren Artenreichtum nutzen, womit Aussagen über grosse Kollektive von Arten möglich werden, was der Theoriebildung über das Leben der Alpenpflanzen näher kommt als detaillierte Studien über einzelne Arten. Es versteht sich von selbst, dass wissenschaftliche Arbeiten in Alpengärten nicht destruktiv sein sollten. Es ist erstaunlich, wie viele Fragen der wissenschaftlichen Botanik, auch unter Einbezug moderner Technik, diesen Ansprüchen genügen (Abb. 2). Einige Beispiele liste ich unten. Schliesslich sind Alpengärten auch räumlich gesicherte, institutionalisierte Orte der Kontinuität, etwas was wissenschaftliche Versuchsgärten in der Regel nicht sind, weil ihre Betreiber wechseln. So können Alpengärten auch Areale einschliessen und ausweisen auf denen langfristige Experimente installiert werden können. Das beste Beispiel dafür sind die in den 30er Jahren auf der Schynige Platte im Berner Oberland von Lüdi eingerichteten Versuchsgärten, die nach Jahrzehnten des Vergessens, wiederentdeckt, unschätzbare Einsichten über die langfristige Wirkung der Bodenchemie auf alpine Pflanzen lieferten (HEGG 2005, dort weitere Literatur). Auch für ganz spezielle Verpflanzungsexperimente können Alpengärten eine gesicherte „Heimat“ darstellen (z.B. NEUFFER 1986). Für Studien zum Keimverhalten alpiner Arten unter

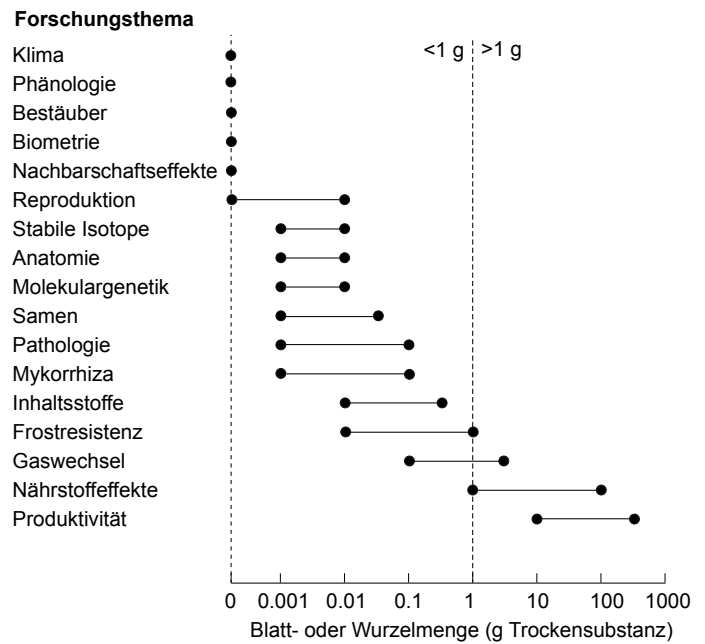


Abb. 2: Der Bedarf an Gewebeprobe für wissenschaftliche Arbeiten an Alpenpflanzen. Die Angaben in Gramm Trockensubstanz sind grobe Abschätzungen für Einzelproben. Für die meisten Fragen braucht es wesentlich weniger als 1 g. Achtung, die Skala ist logarithmisch. Studien der Produktivität pro Landflächeneinheit durch Beerntung beziehen sich auf geschlossene Pflanzenbestände auf Sonderflächen und wurden hier nur einbezogen, um einen oberen Schwellenwert aufzuzeigen (maximale Menge).

naturnahen Bedingungen sind Alpengärten ideal und auch für die Gartenbetreiber selbst wertvoll (z.B. MATHEZ 1980). Oft sind Alpengärten auch ideale Orte für technisch aufwändige Forschungsarbeiten in grosser Höhe oder als Bezugsquelle für Proben, weil sie Infrastruktur (z.B. Strom, Seilbahn) bieten und oft Wetterstationen betreiben. Der kleine Alpengarten am Patscherkofel in Innsbruck ist ein gutes Beispiel. Ihm verdanken wir die ersten Arbeiten über die Photosynthese von Bäumen an der Waldgrenze und die winterliche Erschwerung der Wasserversorgung an immergrünen Pflanzen ohne Schneeschutz (LARCHER 1957, 1966; PISEK & WINKLER 1958). Eine wunderbare Referenz für die Arten, die in Alpengärten kultiviert werden sind die Kataloge dieser Gärten. Die Alpine Garden Society (UK) gibt sogar ein Quarternary Bulletin heraus (siehe AGS). Mehr als Anregung, denn als erschöpfende Liste, erläutere ich im Folgenden einige Beispiele für erfolgversprechende Forschungsarbeiten, für die sich Alpengärten besonders eignen.

### Phänologische Beobachtungen

Austrieb und Blühen sind von Natur aus so eingestellt, dass Individuen derselben Art die für sie gefährlichen Frosttemperaturen vermeiden, ihren saisonalen Entwicklungszyklus vollenden können, und durch gleichzeitige Blüte die Fortpflanzung sicher gestellt ist. Dabei wirken ererbte (genetische) Faktoren, wie der Photoperiodismus (Tag/Nacht Längenverhältnis) und Tempe-

raturen artspezifisch zusammen. Arten eines Alpengartens tragen noch den aus ihrem ursprünglichen Lebensraum stammenden ‚Kalender‘ in sich, was spannende Artvergleiche ermöglicht (PRIMACK et al. 2009). Erst über mehrere Generationen von Populationen (wiederholte Aussaat) können sich solche genetische Prägungen ändern.

#### „Functional traits“

Arten tragen taxonomische Eigenschaften, die oft nur aus ihrer Evolutionsgeschichte zu verstehen und funktionell neutral sind. Sie tragen aber auch Eigenschaften, die ihren Wettbewerbserfolg und ihre Robustheit gegenüber Umwelteinwirkungen bestimmen. Solche funktionelle Merkmale schliessen Blattgröße, Blattlebensdauer, Behaarung, Blattanatomie, Blütenmerkmale (z.B. ZHU et al. 2010), spezifische Blattfläche (SLA) spezifische Feinwurzellänge (SRL), aber auch chemische Inhaltsstoffe von Blättern ein. Auch Entwicklungsmerkmale (wie Austriebs- und Blühzeitpunkt, Dauer der Fruchtreife; siehe oben) gehören dazu. Stabile Isotope der Elemente C, N, O, H finden sich in Pflanzen in charakteristischen Abweichungen von ihrer Umwelt und erlauben es, Einblicke in ihren Stoffwechsel anhand von wenigen Milligramm Gewebepollen zu gewinnen. An Arten eines gemeinsamen Gartens lassen sich genotypische von phänotypischen Unterschiede solcher Merkmale trennen (ZHU et al. 2010, YANG et al. 2015). Kataloge und Artenvergleiche solcher „functional traits“ erlauben es ganze Gemeinschaften von Arten oder eben ökologische Gemeinschaften, wie alpine Arten, zu charakterisieren.

#### Reproduktionsbiologie

Abgesehen von der Blühphänologie, gibt es spannende Fragen zum Bestäuberspektrum in solchen künstlichen Artengemeinschaften. Fragen der Blühdauer, der Fähigkeit zur Selbstbestäubung, die Geschwindigkeit der Frucht- und Samenreife (Embryogenese; z.B. WAGNER & TENGG 1993, AKHALKATSI & WAGNER 1996) oder die Dauer der Samenruhe sind weitere wichtige Themen. Auch die sehr konservativen Merkmale von Samen (Größe, Reservestoffe, äussere Struktur, innere Anatomie) lassen sich in einem Alpengarten an vielen taxonomischen Gruppen vergleichend studieren. Die Entwicklungsprozesse sind sehr klimabhängig, was zusätzliche Beobachtungsmöglichkeiten liefert.

#### Physiologische Studien

Unterschiedlichste Arten aus unterschiedlichsten alpinen Lebensräumen nebeneinander, unter gleichen Klimabedingungen verfügbar zu haben, öffnet Möglichkeiten der vergleichenden Stoffwechselphysiologie oder Ökophysiologie. Solche Analysen brauchen in der Regel sehr wenig Pflanzenmaterial. Gaswechselformen an Blättern, die erwähnten Isotopenanalysen, aber auch Fragen des Sekundärstoffwechsels (z.B. wirksamer Schutzstoffe), vergleichende Frostresistenzstudien und die gärtnerisch wichtige Frage nach dem Karbonat(pH)- oder Kalziumbedarf

von Alpenpflanzen, sowie generelle Fragen des Nährstoffbedarfs (z.B. Phosphat) sind Beispiele für solche Untersuchungen. Um den Besuchergarten durch solche, teilweise doch destruktive Beprobungen nicht zu stören, können auch separate Flächen für ausgewählte interessante Arten ausgewiesen werden. Viele Arten zeigen auch Selbstvermehrung und reichliches Vorkommen, was es erlaubt, einige Blätter der Forschung zu „opfern“.

#### Symbionten und Krankheiten

Pflanzen leben immer mit mikrobiellen „Freunden und Feinden“. Das Spektrum der Krankheiten von Alpenpflanzen, weit entfernt von ihren Herkunftsorten, würde aufzeigen, was „mitgebracht“ und lokal „aufgelesen“ wurde oder allgegenwärtig ist. Brachten die Pflanzen ihre pilzlichen Symbiosepartner mit? Sind sie auch im Alpengarten mykorrhiziert? Erwachen ärmliche Exemplare zu neuem Leben, wenn man sie mit einem Auszug aus alpiner „Heimaterde“ inokuliert? Allenfalls spielen hier auch generelle Nachbarschaftseffekte (z.B. Unverträglichkeiten zweier Arten) herein.

#### Genetische Untersuchungen

Aus den großen botanischen Lebendsammlungen von Alpengärten können evolutiv wertvolle Informationen aus der Erbsubstanz gewonnen werden. Konservative Merkmale, wie die Erbsubstanz der Chlorophyllkörner (Chloroplasten), erlauben es phylogenetische Verwandtschaftsbeziehungen aufzuklären. Ohne weite Reisen bieten Alpengärten Erbmaterial aus unterschiedlichsten Weltgegenden.

Zusammen mit den eingangs erwähnten Möglichkeiten für Versuchsgärten im geschützten Bereich von Alpengärten, bieten sich eine Fülle von Forschungsmöglichkeiten. Dies können Studien von engagierten Einzelforschern sein, aber auch Arbeiten im Rahmen von finanzierten Forschungsprojekten, welche auch Beiträge an die stets finanziell schwach ausgestatteten Alpengärten für Dienstleistungen und/oder Infrastruktur leisten können. Ein breites Feld für Laienforschung („citizen science“) bietet sich ebenfalls an. Was die Alpengärten dazu beitragen können, sind heute auch billig und automatisch zu erhebende Klimadaten (z.B. Lufttemperatur und sommerlicher Niederschlag), deren lange Zeitreihen es attraktiv machen für Forschende dort zu forschen, falls nicht ohnehin eine Wetterstation im Garten oder in unmittelbarer Nähe betrieben wird. Solche Daten erlauben es auch einen Alpengarten gegenüber den natürlichen Lebensbedingungen in der alpinen Stufe einzustufen (Vergleichsdaten für ganz Europa in KÖRNER et al. 2003). Für phänologische Beobachtungen sind solche Daten unabdingbar.

Dank: Ich danke Dr. Gunter Karste für die Einführung in die Welt des Brocken und Erika Hiltbrunner für Korrekturen und wertvolle Ergänzungen zum Text.

## Literatur

- AGS, ALPINE GARDEN SOCIETY (and deren Bulletin): [https://en.wikipedia.org/wiki/Alpine\\_Garden\\_Society](https://en.wikipedia.org/wiki/Alpine_Garden_Society).
- AKHALKATSI, M. & WAGNER, J. (1996): Reproductive phenology and seed development of *Gentianella caucasea* in different habitats in the Central Caucasus. *Flora* 191: 161-168.
- BONNIER, G. (1890): Cultures experimentales dans les hautes altitudes. *Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, Paris* 110: 363-365.
- CLAUSEN, J., KECK, D. D. & HIESEY, W. M. (1948): Experimental studies on the nature of species. III. Environmental responses of climatic races of *Achillea*. *Carnegie Inst Washington Publ* 581: 1-125.
- CLEMENTS, F. E., MARTIN, E. V. & LONG, F. L. (1950): Adaptation and origin in the plant world. The role of environment in evolution. Waltham, Mass, USA.
- HEGG, O. (1966): Das Blühen im Alpengarten. Jahresbericht Alpengarten Schynige Platte 40, Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern.
- HEGG, O. (2005): Das Langzeitgedächtnis der Vegetation. Neue Resultate aus der Versuchsweide von 1930 bis 2004 auf der Schynigen Platte (2.000 müM). *Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges.* 17: 41-54.
- HERTEL, D. & SCHÖLING, D. (2011a): Below-ground response of Norway spruce to climate conditions at Mt. Brocken (Germany) - A re-assessment of Central Europe's northernmost treeline. *Flora* 206: 127-135.
- HERTEL, D. & SCHÖLING, D. (2011b): Norway spruce shows contrasting changes in below- versus above-ground carbon partitioning towards the alpine tree line: evidence from a central European case study. *Arct Antarct Alp Res* 43: 46-55.
- KARSTE, G. (1997): Beobachtungen zur Populationsdynamik von *Pulsatilla alba* Rchb. Auf der Brockenkuppe im Harz. *Hercynia* 30: 273-283.
- KÖHLER, L., LEUSCHNER, C., HAUCK, M. & HERTEL, D. (2014): Cloud water interception and element deposition differ largely between Norway spruce stands along an elevation transect in Harz Mountains, Germany. *Ecohydrology*, DOI: 10.1002/eco.1563.
- KERNER, A. (1864): Die Cultur der Alpenpflanzen. Verlag der Wagner'schen Universitäts-Buchhandlung, Innsbruck.
- KÖRNER, C. (1993): Das „Ökosystem Polsterpflanze“: Recycling und Aircondition. *Biologie in unserer Zeit* 23: 353-355.
- KÖRNER, C. (2003): *Alpine plant life* (2. Aufl.). Springer, Berlin.
- KÖRNER, C. (2004): Mountain biodiversity, its causes and function. *Ambio Special Report* 13: 11-17.
- KÖRNER, C. (2007): Climatic treelines: Conventions, global patterns, causes. *Erdkunde* 61: 315-324.
- KÖRNER, C. (2011): Coldest places on earth with angiosperm plant life. *Alp Bot* 121: 11-22.
- KÖRNER, C. (2012): *Alpine Treelines*. Springer, Basel.
- KÖRNER, C. & PAULSEN, J. (2004): A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *J Biogeogr* 31: 713-732.
- KÖRNER, C., PAULSEN, J. & PELAEZ-RIEDL, S. (2003): A bioclimatic characterisation of Europe's alpine areas. In: NAGY, L., GRABHERR, G., KÖRNER, C., THOMPSON, D. B. A. (eds) *Alpine biodiversity in Europe*. *Ecol Studies* 167: 13-28, Springer, Berlin.
- LARCHER, W. (1957): Frosttrocknis an der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide auf dem Patscherkofel bei Innsbruck. In: *Veröff. des Museum Ferdinadeum. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck* 37: 49-81.
- LARCHER, W. (1963): Zur spätwinterlichen Erschwerung der Wasserbilanz von Holzpflanzen an der Waldgrenze. *Ber. Naturwiss.-Med. Verein Innsbruck* 53: 125-137.
- MATHEZ, H. (1980): Über die Keimdauer bei Alpenpflanzen. In: *Jahresbericht Alpengarten Schynige Platte* 54. Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern.
- NEUFFER, B. (1986): Transplantationsversuch Schynige Platte im Sommer 1985. Blühverhalten alpiner und skandinavischer Populationen von *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae). *Beilage. Jahresbericht Alpengarten Schynige Platte (Berner Oberland, Schweiz)* 60: 1-8.
- PAULSEN, J. & KÖRNER, C. (2014): A climate-based model to predict potential treeline position around the globe. *Alp Bot* 124: 1-12.

- PISEK, A. & WINKLER, E. (1958): Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte (*Picea excelsa* Link) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. *Planta* 51: 518-543.
- PRIMACK, R. B. & MILLER-RUSHING, A. J. (2009): The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 182: 303-313.
- REGEL, E. (1856): *Cultur der Pflanzen unserer höheren Gebirge sowie des hohen Nordens*. Ferdinand Enke, Erlangen.
- SCHERRER, D. & KÖRNER, C. (2010): Infra-red thermometry of alpine landscapes challenges climatic warming projections. *Global Change Biology* 16: 2602-2613.
- SCHUBERT, R., EBEL, F., QUITT, H., RICHTER, W., RÖTH, J., STOHR, G. & WEGENER, U. (1990): 100 Jahre Brocken-garten. *Hercynia* 27: 309-325.
- WAGNER, J. & TENGG, G. (1993): Phaenoembryologie der Hochgebirgspflanzen *Saxifraga oppositifolia* und *Cerastium uniflorum*. *Flora* 188: 203-212.
- YANG, Y., SIEGWOLF, R. T. W. & KÖRNER, C. (2015): Species specific and environment induced variation of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in alpine plants. *Frontiers in Plant Science*, June 2015, doi: 10.3389/fpls.2015.00423.
- ZHU, Y., SIEGWOLF, R. T. W., DURKA, W. & KÖRNER, C. (2010): Phylogenetically balanced evidence for structural and carbon isotope responses in plants along elevational gradients. *Oecologia* 162: 853-863.

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. em. Dr. Christian Körner  
 Universität Basel  
 Botanisches Institut  
 Schönbeinstraße 6  
 CH-4056 Basel  
 ch.koerner@unibas.ch

JOACHIM KADEREIT, Mainz

# Evolution der europäischen Hochgebirgsflora

## Zusammenfassung

Die Klimaoszillationen des Quartärs hatten einen großen Einfluss auf die Verbreitung und Evolution der europäischen Gebirgsflora. Um dies zu belegen, wird exemplarisch und unter Berücksichtigung der Flora des Harzes die Entstehung disjunkter Verbreitungsgebiete, die Realität des herzynischen Florenbezirks und die Veränderung der Substratpräferenz in Verbindung mit der Veränderung von Verbreitungsgebieten diskutiert.

## 1. Einleitung

Auch wenn der Harz offensichtlich kein Hochgebirge ist, scheint seine höchste Erhebung, der Brocken (1.141 m ü. NHN), natürlicherweise waldfrei zu sein. Die Waldgrenze ist weltweit mit einer durchschnittlichen Temperatur von 6,4 °C in der Wachstumsperiode korreliert, wobei diese Wachstumsperiode mindestens 94 Tage betragen muss (PAULSEN & KÖRNER 2014). Die relevante Temperatur beträgt auf dem Brocken 6,7 °C (HERTEL & SCHÖLING 2011) und kommt damit dem globalen Wert sehr nahe. Damit findet man dort einige Taxa, die selbst oder deren engste Verwandte ihre Hauptverbreitung in den europäischen Hochgebirgen haben, sodass eine Betrachtung des Harzes in Zusammenhang mit den europäischen Hochgebirgen berechtigt erscheint.

Der vorliegende Beitrag ist die Zusammenfassung eines Vortrags, der anlässlich des 125jährigen Bestehens des Brockengartens am 8. Juni 2015 im Evangelischen Tagungszentrum Kloster Drübeck gehalten wurde. Auch wenn der Titel dieser Arbeit, unverändert vom Vortrag übernommen, impliziert, dass ein Überblick über allgemeine Prinzipien der Evolution von Pflanzen in den europäischen Hochgebirgen gegeben wird, ist das nicht der Fall. Vielmehr möchte ich mich auf drei Themenbereiche konzentrieren: die Entstehung disjunkter Verbreitungsgebiete, die Realität des herzynischen Florenbezirks und die Veränderung der Substratpräferenz in Verbindung mit der Veränderung von Verbreitungsgebieten. Dabei werde ich, wie im Vortrag, hauptsächlich auf eigene Arbeiten zurückgreifen.

## 2. Die Entstehung disjunkter Verbreitungsgebiete

Die waldfreie Kuppe des Brockens ist von Gebieten mit ähnlicher Vegetation einige hundert Kilometer entfernt, und die dazwischenliegenden Gebiete geringerer Erhebung sind natürlicherweise bewaldet. Betrachtet man z.B. die Verbreitung der Brocken-Anemone (*Pulsatilla alpina* (L.) Delarbre ssp. *alba* ZÄMELIUS & PAEGLE; Abb. 4), liegt das nächste Vorkommen im Riesengebirge in ca. 350 km Entfernung (Luftlinie), weitere Vorkommen gibt es in der Hohen Tatra im Osten und den Vogesen und dem Massif Central im Westen. Ein derart zerstückeltes Verbreitungsgebiet bezeichnet man als disjunkt.

Disjunkte Verbreitungsgebiete können auf zweierlei Art entstehen (Abb. 1). Entweder wird ein geographisch entferntes Gebiet durch Fernausbreitung von Sporen, Samen oder Früchten erreicht, oder das disjunkte Verbreitungsgebiet ist durch Zerstückelung eines ehemals geschlossenen Verbreitungsgebiets

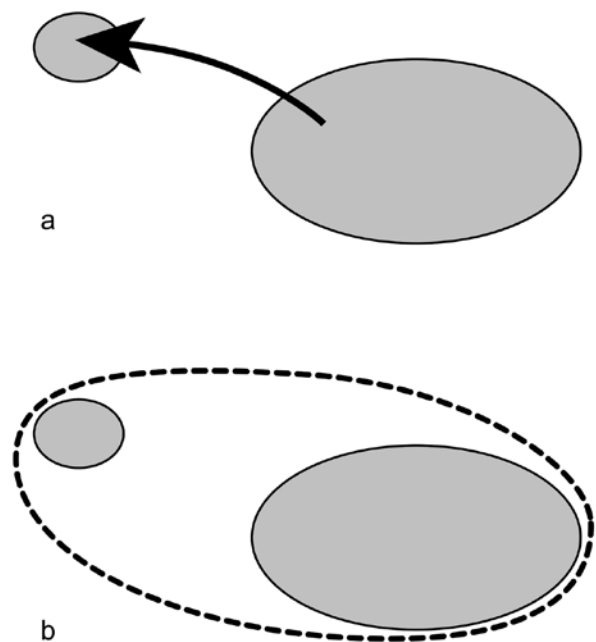


Abb. 1: Entstehung geographisch getrennter Teilverbreitungsgebiete durch Besiedelung eines geographisch entfernten Gebiets durch Fernausbreitung (a) oder durch Fragmentierung eines ehemals geschlossenen Verbreitungsgebiets (b).

entstanden (Vikarianz). Die Entscheidung, welcher dieser zwei Prozesse für die Entstehung eines disjunkten Verbreitungsgebiets verantwortlich war ist vor allem dann nicht leicht, wenn die unterschiedlichen Teile des Verbreitungsgebiets immer durch Land verbunden waren, wie im genannten Beispiel. Am einfachsten ist die Entscheidung dann, wenn Fossilien existieren, die eine weitere Verbreitung in der Vergangenheit belegen. Betrachtet man z.B. die auch auf dem Brocken vorkommende Zwergbirke (*Betula nana* L.), die heute ihre Hauptverbreitung in Skandinavien, Schottland und dem Alpengebiet hat, so zeigen fossile Blattreste, dass die Art im Spätquartär, in einem Zeitabschnitt also, in dem es deutlich kälter war als heute, in Mitteleuropa weit verbreitet war (LANG 1994). Auch wenn damit nicht bewiesen ist, dass das heutige Vorkommen auf dem Brocken einen kleinen Rest dieses ehemals großen Verbreitungsgebiets darstellt, scheint das doch sehr wahrscheinlich. Die häufig weite Verbreitung von alpinen oder arktischen Pflanzenarten in Kaltzeiten des Quartärs findet ihre Erklärung darin, dass Pflanzen auf Klimaänderungen reagieren und, wenn möglich, ihrer sich räumlich verschiebenden ökologischen Nische folgen (BENNETT 1997). Für Pflanzen eher kalter Gebiete bedeutet das, dass ihr heutiges Verbreitungsgebiet, z.B. die Arktis und die Alpen, in quartären Kaltzeiten weitestgehend von Gletschereis bedeckt war, die dazwischenliegenden Gebiete aber ein geeignetes Klima hatten.

Veränderungen von Verbreitungsgebieten im Quartär sind sehr gut belegt. Hier liefern die Analyse fossiler Pflanzenreste, meist Pollenkörner (LANG 1994; BENNETT 1997), phylogeographische Analysen, bei denen die räumliche Verteilung genetischer Variation dazu benutzt wird, kaltzeitliche Rückzugsgebiete (Refugien) von warmzeitlich wiederbesiedelten Gebieten zu unterscheiden (z.B. HEWITT 1996, 2000; COMES & KADEREIT 1998; TABERLET et al. 1998), die Projektion von Verbreitungsmodellen in die Vergangenheit (HUGALL et al. 2002; SCHORR et al. 2012, 2013) und die Analyse fossiler DNA (WILLERSLEV et al. 2007; JØRGENSEN et al. 2012) eindeutige Befunde. Auch die Verbreitung von zwischenartlichen Hybriden kann für die Rekonstruktion von Verbreitungsgebieten benutzt werden.

Das möchte ich am Beispiel des Hauswurz (*Sempervivum* L.) erläutern. In einer Analyse der Verwandtschaftsverhältnisse dieser ca. 46 Arten umfassenden Gattung mit DNA-Sequenzen (KLEIN & KADEREIT 2015) wurde gefunden, dass zahlreiche der untersuchten Individuen keine reinen Arten repräsentierten sondern vielmehr Hybriden waren. Grundlage für diese Erkenntnis ist das gemeinsame Vorkommen des Erbguts zweier Arten in einem Individuen. Von 27 so analysierten Hybridindividuen kamen neun im Verbreitungsgebiet beider Elternarten vor, 10 wurden im Verbreitungsgebiet einer Elternart gefunden während die andere Elternart mehr oder weniger weit entfernt verbreitet ist, und in acht Fällen waren die Hybriden außerhalb des Verbreitungsgebiets beider Elternarten verbreitet (KLEIN & KADEREIT Manuskript). Die Verbreitung von Hybriden weit abseits einer oder beider Elternarten lässt sich entweder mit der Fernausbreitung von Hybridsamen (oder Hybridpflanzen in Form von Blattrossetten) oder durch klimabedingte Veränderung des Verbreitungsgebiets der Elternarten nach der Hybridbildung erklären. KLEIN & KADEREIT (Manuskript) entschieden sich für die zweite dieser beiden Interpretationsmöglichkeiten. Für ein Hybridindividuum auf dem Balkan konnten *Sempervivum kosaninii* Praeger und *S. iranicum* Bornm. & Gauba als Elternarten identifiziert werden (Abb. 2). Während *S. kosaninii* auch heute noch in geografischer Nähe zum Hybriden wächst, ist das nächste Vorkommen von *S. iranicum* ca. 2.100 km vom Hybriden entfernt. Diese Beobachtung, wenn richtig interpretiert, belegt die enorme Veränderlichkeit von Verbreitungsgebieten als Reaktion auf Klimawandel. Wenn man bedenkt, dass Migrationsraten in der Größenordnung von 60 - 260 m/Jahr liegen (FEURDEAN et al. 2013), und lange Zeiträume, einige 10.000 Jahre z.B. in der letzten Eiszeit, zur Verfügung standen, ist eine solche Dynamik der Verbreitungsgebiete nicht ganz verwunderlich.

Aber auch Fernausbreitung ist für das Quartär gut dokumentiert, z.B. in der Gattung Alpenost (*Adenostyles* Cass.; DILLENBERGER & KADEREIT 2013). Eine der drei Arten dieser Gattung, *A. alpina* (L.) Bluff & Fingerh., ist mit fünf Unterarten weitverbreitet (Abb. 3). Während die Typusunterart in den Alpen und

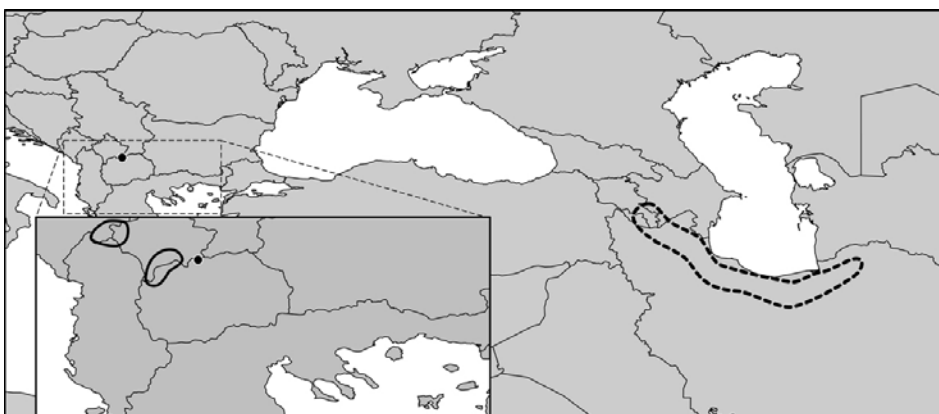


Abb. 2: Verbreitung von Hybriden als Hinweis auf Arealveränderungen der Elternarten. Ein Hybridindividuum (schwarzer Punkt) zwischen *Sempervivum kosaninii* (durchgezogene Linie) und *S. iranicum* (gestrichelte Linie) ist ca. 2.100 km von *S. iranicum* entfernt verbreitet (verändert nach KLEIN & KADEREIT Manuskript; Bearbeitung aller Abbildungen von Doris Franke/Mainz).

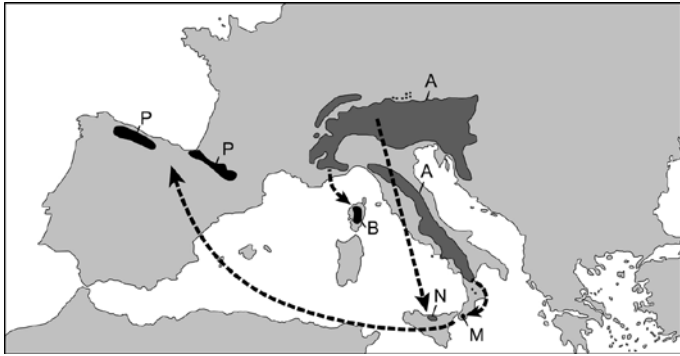


Abb. 3: Ausbreitungsgeschichte von *Adenostyles alpina*. Korsika (B: *ssp. briquetii*) und Sizilien (N: *ssp. nebrodensis*) wurden aus den Alpen, die Pyrenäen (P: *ssp. pyrenaica*) aus Süditalien, und eventuell Süditalien (M: *ssp. macrocephala*) aus dem Apennin durch Fernausbreitung erreicht (A: *ssp. alpina*). Während *ssp. alpina* und *ssp. nebrodensis* auf basischen Gesteinen vorkommen (grau), wachsen *ssp. briquetii*, *ssp. macrocephala* und *ssp. pyrenaica* auf sauren Gesteinen (schwarz; verändert nach DILLENBERGER & KADEREIT 2013).

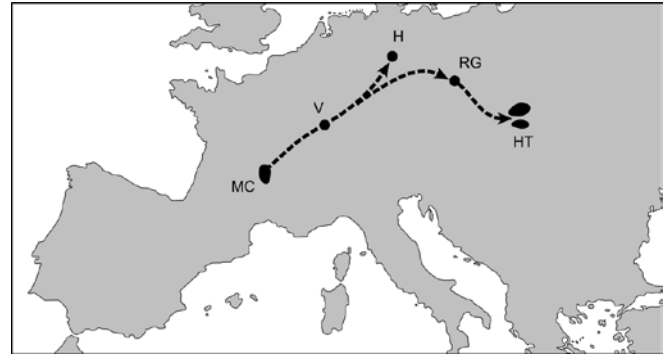


Abb. 4: Die Brocken-Anemone (*Pulsatilla alpina ssp. alba*: H) ist am engsten mit Populationen im Massif Central (MC), den Vogesen (V), dem Riesengebirge (RG) und der Hohen Tatra (HT) verwandt und hat sich wahrscheinlich von Westen nach Osten ausgebreitet (verändert nach ZETZSCHE 2004).

im Apennin vorkommt, ist *ssp. briquetii* (Gamisans) Tutin auf Korsika beschränkt, *ssp. macrocephala* (Huter et al.) M. Dillenberg & Kadereit kommt im südlichsten Italien (Aspromonte) vor, *ssp. nebrodensis* (Wagenitz & I. Müll.) Greuter auf Sizilien und *ssp. pyrenaica* (Lange) M. Dillenberg & Kadereit in den Pyrenäen (DILLENBERGER & KADEREIT 2012). Unter Verwendung einer sehr detaillierten Rekonstruktion der Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb von *A. alpina* kamen DILLENBERGER & KADEREIT (2013) zu dem Schluss, dass Korsika und Sizilien durch Fernausbreitung aus den Alpen besiedelt wurden, und die Pyrenäen durch Fernausbreitung aus dem Aspromonte (Abb. 3). Das letztere ist sehr ungewöhnlich, denn meist sind Hochgebirgstaxa der Pyrenäen am engsten mit Alpentaxa verwandt (KROPF et al. 2006). Ob der Aspromonte durch Fernausbreitung oder Wanderung aus dem Apennin besiedelt wurde, bleibt unklar.

### 3. Der Herzynische Florenbezirk

In DRUDES (1902) Auffassung reicht der Herzynische Florenbezirk, zu dem der Harz gehört, vom Weserbergland, Braunschweiger Hügelland und Hügelland der Werra und Fulda mit der Rhön im Westen bis zum Lausitzer Hügelland und Lausitzer Bergland und Elbsandsteingebirge im Osten und dem Erzgebirge und Kaiserwald, Oberpfälzer, Böhmer und Bayerischen Wald im Südosten. Dieses Konzept wird von OZENDA (1988) in seiner Untergliederung des alpinen Systems erheblich erweitert, und sein auch pflanzengeographisch begründeter herzynischer Gebirgsbogen reicht vom (östlichen) Massif Central im Westen bis zu den Sudeten im Osten.

Die Realität einer diesem herzynischen Bogen mehr oder weniger entsprechenden pflanzengeographischen Einheit, und

vor allem deren Unabhängigkeit von den Alpen, scheint durch die Analyse der geographischen Verbreitung genetischer Variation belegt zu werden. Dies wird besonders bei der Brocken-Anemone deutlich (Abb. 4), in der die Pflanzen im Harz größte genetische Ähnlichkeit mit Populationen des Riesengebirges und der Hohen Tatra im Osten, und den Vogesen und dem Massif Central im Westen zeigen (ZETZSCHE 2004) zeigen. Besiedelung fand dabei wohl aus dem Westen statt. Beim Bärwurz (*Meum athamanticum* Jacq.) fallen alle Populationen der mitteleuropäischen Mittelgebirge in eine genetische Gruppe, in die auch Populationen aus dem Massif Central gehören, und die deutlich von alpinen (und südeuropäischen) Populationen unterschieden werden kann (HUCK et al. 2009). Auch bei der Fichte (*Picea abies* (L.) H. Karst.) scheinen die mitteleuropäischen Herkünfte enger mit karpathischen als mit alpinen verwandt zu sein (LAGERCRANTZ & RYMAN 1990), was allerdings nicht unbestritten ist (BUCCI & VENDRAMIN 2000). Eine Beziehung von mitteleuropäischen Mittelgebirgspopulationen (z.B. Rheinisches Schiefergebirge, Schwäbische Alb) nach Südwesteuropa statt in die Alpen konnte in ersten Analysen der Echten Felsenbirne (*Amelanchier ovalis* Medik.) und des Schild-Sauerampfers (*Rumex scutatus* L.) gezeigt werden (GORZEJESKA 2014, STOCK 2014).

### 4. Ausbreitung und Evolution von Substratpräferenz

Die Entstehung neuer Teilverbreitungsgebiete, ob durch Fragmentierung eines zusammenhängenden Verbreitungsgebiets oder durch Fernausbreitung, ist in der Evolution ein wichtiger Ausgangspunkt für die Entstehung neuer Eigenschaften und damit neuer Arten. Der Grund hierfür liegt darin, dass geographische Trennung zu reproduktiver Isolation führt - der Austausch



genetischen Materials ist durch räumliche Distanz (Allopatrie) unterbunden - und reproduktive Isolation ist Voraussetzung der Artbildung. In der europäischen Flora und Vegetation, und besonders in den Alpen, ist Differenzierung hinsichtlich der Bodenverhältnisse ein wichtiger Aspekt, und es werden vielfach kalkliebende und kalkmeidende Pflanzen auf basischen bzw. sauren Böden unterschieden (ELLENBERG 1996). So ist z.B. die Brocken-Anemone kalkmeidend, während die engverwandte Alpen-Küchenschelle (*P. alpina* ssp. *alpina*) kalkliebend ist.

Der Zusammenhang zwischen Verbreitungsgeschichte und Substratpräferenz soll hier an zwei Beispielen, dem Alpendost und der Lärchennadel-Miere, dargestellt werden.

Die Verbreitungsgeschichte von *Adenostyles alpina* mit seinen fünf Unterarten ist bereits oben dargestellt worden (Abb. 3). Die fünf Unterarten sind nicht nur geographisch, sondern auch edaphisch differenziert. Während ssp. *alpina* und ssp. *nebrodensis* kalkliebend sind, sind ssp. *briquetii*, ssp. *macrocephala* und ssp. *pyrenaica* kalkmeidend. In ihrer phylogenetischen Analyse von *Adenostyles* haben DILLENBERGER & KADEREIT (2013) auch die Evolution der Substratpräferenz rekonstruiert. Da es wahrscheinlich ist, dass die Art ursprünglich kalkliebend war, muss geschlossen werden, dass die Fernausbreitung nach Korsika (ssp. *briquetii*) und die Ausbreitung in das südlichste Italien (Aspromonte; ssp. *macrocephala*) mit einem Substratwechsel verbunden war, die Fernausbreitung nach Sizilien (ssp. *nebrodensis*) und (von Süditalien) in die Pyrenäen (ssp. *pyrenaica*) dagegen nicht (Abb. 3). Diese Beobachtung macht deutlich, dass Substratwechsel hier offenbar ein gänzlich zufälliges Phänomen ist und davon abhängt, auf welchem Substrat sich der erste Ankömling etabliert. Was die Etablierung überhaupt ermöglicht, ist vor allem auch deswegen unklar, weil vielfach, und so auch in *A. alpina*, nicht bekannt ist, ob edaphische Differenzierung eine genetische Grundlage hat oder Teil der phänotypischen Plastizität einer Art ist. Sollte edaphische Differenzierung eine genetische Grundlage haben, kann über die Entstehung der neuen Substratpräferenz nur spekuliert werden. So ist z.B. denkbar, dass bereits die Ausgangspopulation genetische Varianten enthielt, die auf dem anderen Substrat gedeihen konnten, und eine solche Variante zufällig fernverbreitet wurde. Es ist aber auch denkbar, da die Differenzierung von *A. alpina* im Quartär stattgefunden hat, dass die Kolonisierung des neuen Teilgebiets in einer Kaltzeit stattgefunden hat, in der eventuell Konkurrenz durch andere Arten gering war - das könnte allmähliche Anpassung an die neuen Substratverhältnisse erleichtert haben.

Während beim Alpendost Substratwechsel mit Fernausbreitung zusammenfallen, hat bei der Lärchennadel-Miere (*Minuartia laricifolia* (L.) Schinz & Thell.) Veränderung der Substratpräferenz in Verbindung mit Vikarianz stattgefunden. Während die in den Alpen weitverbreitete ssp. *laricifolia* kalkmeidend ist,

wächst die disjunkt im nördlichen Apennin vorkommende ssp. *ophiolitica* Pignatti auf Serpentinegestein und -böden. Serpentineböden zeichnen sich durch eine hohe Magnesium- und Schwermetallkonzentration aus, und enthalten häufig wenig Calcium und organisches Material, wobei letzteres zu einer geringen Wasserhaltekapazität führt. Für die kalkliebende *M. laricifolia* ssp. *kitaibelii* (Nyman) Mattf. wurde gefunden, dass sie nicht engster Verwandter von *M. laricifolia* ist und dementsprechend als eigene Art, *M. langii* (G. Reuss) Holub, betrachtet werden muss (MOORE & KADEREIT 2013). Eine detaillierte Analyse von *M. laricifolia* ssp. *laricifolia* und ssp. *ophiolitica* durch MOORE et al. (2013) kam zum Ergebnis (Abb. 5), daß die engste Verwandtschaft von ssp. *ophiolitica* mit den geographisch benachbarten Populationen von ssp. *laricifolia* in den Seealpen besteht, und daß das Ausmass genetischer Variation in beiden Gebieten vergleichbar hoch ist, und alle in ssp. *laricifolia* in den Seealpen häufigen genetischen Varianten plastidärer DNA auch in ssp. *ophiolitica* im Apennin vorkommen. Diese Beobachtungen wurden von MOORE et al. (2013) wie folgt interpretiert:

1. In einer Kaltzeit des Quartärs erreichte die Lärchennadel-Miere den nördlichen Apennin, der durch kontinuierliche Bergketten geringerer Höhe (700 - 1.300 m) mit den Seealpen verbunden ist.
2. Klimaerwärmung und die damit verbundene Wiederkehr von Waldvegetation zwang die Art in höhere Lagen. Da diese, oder andere geeignete Standorte, im Gebiet zwischen den Seealpen und dem Apennin nicht zur Verfügung standen, starb die Art in diesem Gebiet aus. Somit ist die heutige Verbreitungslücke durch Vikarianz entstanden, also dadurch, dass ein ehemals geschlossenes Verbreitungsgebiet fragmentiert wurde.
3. Im Apennin wurde ssp. *ophiolitica* durch die wiederkehrende Waldvegetation auf die dort vorkommenden Serpentinstandorte verdrängt, die der auf Normalböden konkurrenzstärkeren Waldvegetation nicht zugänglich waren. Solche Serpentinstandorte gibt es zwischen den Seealpen und dem Apennin nicht.

Die Ursache für Substratwechsel liegt hier also darin, dass der Vorfahre der heutigen ssp. *ophiolitica* durch Klimaveränderung und daraus resultierende zunehmende Konkurrenz in ein Gebiet anderen Substrats gedrängt wurde, und in diesem Fall dort überleben konnte. Ob die notwendige Anpassung schon vorher vorhanden war, der Vorfahre also schon an Serpentinstandorten wachsen konnte, oder erst während der Verdrängung entstanden ist, bleibt unbekannt.

Während beim Alpendost die Besiedelung von Gebieten durch Fernausbreitung gänzlich zufällig war, ist hier die Veränderung von Verbreitungsgebieten klimatisch bedingt. Klimatisch verursachte Besiedelung von Gebieten anderen Substrats ist vielleicht ein allgemeines Prinzip in der Evolution von Substratpräferenz.

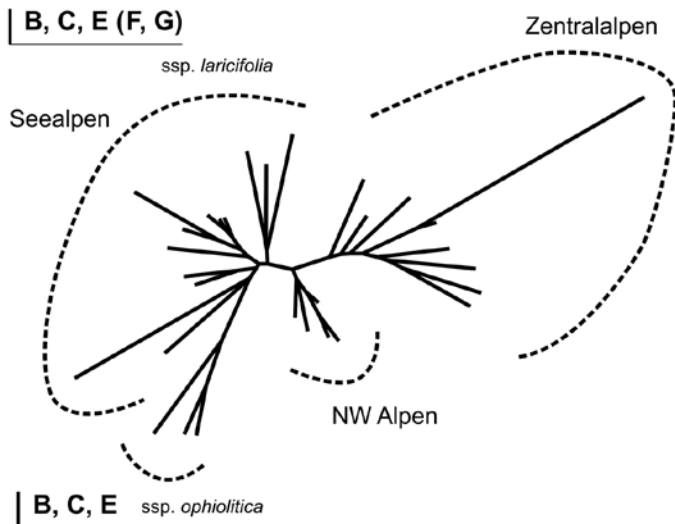


Abb. 5: Entstehung des Serpentinendemiten (Apennin) *Minuartia laricifolia* ssp. *ophiolitica* aus der in den Alpen weitverbreiteten und auf Silikatgestein vorkommenden *ssp. laricifolia*. Genetische Daten (Dendrogramm) zeigen, dass *ssp. ophiolitica* am engsten mit *ssp. laricifolia* in den Seealpen verwandt ist. Die in *ssp. laricifolia* in den Seealpen häufigsten Varianten plastidärer DNA (B, C, E; F und G sind selten) kommen auch in *ssp. ophiolitica* vor (verändert nach MOORE et al. 2013).

Zum Beispiel kaltzeitliche Vergletscherung wird immer wieder dazu geführt haben, daß Populationen in Gebiete anderen Substrats verdrängt wurden, und warmzeitlicher Rückzug von Gletschern hat die Besiedelung von völlig vegetationsfreien und damit konkurrenzlosen Gebieten ermöglicht. Mögliche Beispiele für Substratwechsel durch Verdrängung sind *Jovibarba globifera* (L.) J. Parn. ssp. *lagariniana* Gallo und *Sempervivum wulfenii* Hoppe ex Mert. & W.D.J. Koch, und ein Beispiel für Substratwechsel bei Wiederbesiedelung *Jovibarba globifera* ssp. *hirta* (L.) J. Parn. (KLEIN & KADEREIT 2015).

Die wenigen oben diskutierten Beispiele illustrieren den großen Einfluss, den die Klimaoszillationen des Quartärs auf die Verbreitung und Evolution der europäischen Flora, und besonders Gebirgsflora, hatten. Da all dies in der jungen geologischen Vergangenheit stattgefunden hat, kann das Studium der europäischen Gebirgsflora zum Verständnis allgemeiner Prinzipien der Evolution biologischer Diversität beitragen.

#### Literatur

- BENNETT, K. D. (1997): Evolution and ecology: the pace of life. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- BUCCI, G. & VENDRAMIN, G. G. (2000): Delineation of genetic zones in the European Norway spruce natural range: preliminary evidence. *Molecular Ecology* 9: 923-934.

COMES, H. P. & KADEREIT, J. W. (1998): The effect of Quaternary climatic changes on plant distribution and evolution. *Trends in Plant Sciences* 3: 432-438.

DILLENBERGER, M. S. & KADEREIT, J. W. (2012): Two new combinations in *Adenostyles* Cass. (Asteraceae-Senecioneae), conspectus of the genus, and key to its species and subspecies. *Willdenowia* 42: 57-61.

DILLENBERGER, M. S. & KADEREIT, J. W. (2013): The phylogeny of the European high mountain genus *Adenostyles* Cass. (Asteraceae-Senecioneae) reveals that edaphic shifts coincide with dispersal events. *American Journal of Botany* 100: 1.171-1.183.

DRUDE, O. (1902): Der hercynische Florenbezirk. Leipzig: W. Engelmann.

ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. Aufl. Ulmer, Stuttgart, Germany.

FEURDEAN, A., BHAGWAT, S. A., WILLIS, K. J., BIRKS, H. J. B., LISCHKE, H., HICKLER, T. & NOGUES-BRAVO, D. (2013): Tree migration-rates: narrowing the gap between inferred post-glacial rates and projected rates. *PLOS ONE* 8: e71797.

GORZEJESKA, G. (2014): Biologie und Evolution von *Amelanchier ovalis* Medik. Diplomarbeit, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

HERTEL D. & SCHÖLING, D. (2011): Below-ground response of Norway spruce to climate conditions at Mt. Brocken (Germany) - A re-assessment of Central Europe's northernmost treeline. *Flora* 206: 127-135.

HEWITT, G. M. (1996): Some genetic consequences of ice ages, and their role in divergence and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society* 58: 247-276.

HEWITT, G. M. (2000): The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* 405: 907-913.

HUCK, S., BÜDEL, B., HAASE, P., KADEREIT, J. W. & PRINTZEN, C. (2009): Range wide phylogeography of the European temperate-montane *Meum athamanticum*: evidence for periglacial persistence and multiple northern refugia. *Journal of Biogeography* 36: 1.588-1.599.

- HUGALL, A., MORITZ, C., MOUSSALLI, A. & STANISIC, J. (2002): Reconciling paleodistribution models and comparative phylogeography in the Wet Tropics rainforest land snail *Gnarosophia bellendenkerensis* (Brazier 1875). Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 99: 6.112-6.117.
- JØRGENSEN, T., HAILE, J., MÖLLER, P. E., ANDREEV, A., BOESSENKOOL, S., RASMUSSEN, M., KIENAST, M. F. et al. (2012): A comparative study of ancient sedimentary DNA, pollen and macrofossils from permafrost sediments of northern Siberia reveals long-term vegetational stability. *Molecular Ecology* 21: 1.989-2.003.
- KLEIN, J. T. & KADEREIT, J. W. (2015): Phylogeny, biogeography and evolution of edaphic association in the European oreophytes *Sempervivum* and *Jovibarba* (Crassulaceae). *International Journal of Plant Science* 176: 44-71.
- KLEIN, J. T. & KADEREIT, J. W. (Manuskript): Allopatric hybrids as evidence for past range dynamics in *Sempervivum* (Crassulaceae).
- KROPE, M., COMES, H. P. & KADEREIT, J. W. (2006): Long-distance dispersal versus vicariance: the origin and genetic diversity of alpine plants in the Spanish Sierra Nevada. *New Phytologist* 172: 169-184.
- LAGERCRANTZ, U. & RYMAN, N. (1990): Genetic structure of Norway spruce (*Picea abies*): concordance of morphological and allozyme variation. *Evolution* 44: 38-53.
- LANG, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Fischer, Jena, Germany.
- MOORE, A. J. & KADEREIT, J. W. (2013): The evolution of substrate differentiation in *Minuartia* series *Laricifoliae* (Caryophyllaceae) in the European Alps: In situ origin or repeated colonization? *American Journal of Botany* 100: 2.412-2.425.
- MOORE, A. J., MERGES, D. & KADEREIT, J. W. (2013): The origin of the serpentine endemic *Minuartia laricifolia* subsp. *ophiolitica* by vicariance and competitive exclusion. *Molecular Ecology* 22: 2.218-2.231.
- OZENDA, P. (1988): Die Vegetation der Alpen. Fischer, Stuttgart/New York.
- PAULSEN, J. & KÖRNER, C. (2014): A climate-based model to predict potential treeline position around the globe. *Alpine Botany* 124: 1-12.
- SCHORR, G., HOLSTEIN, N., PEARMAN, P. B., GUIBAN, A. & KADEREIT, J. W. (2012): Integrating species distribution models (SDMs) and phylogeography for two species of Alpine *Primula*. *Ecology & Evolution* 2: 1.260-1.277.
- SCHORR, G., PEARMAN, P. B., GUIBAN, A. & KADEREIT, J. W. (2013): Combining palaeodistribution modelling and phylogeographical approaches for identifying glacial refugia in Alpine *Primula*. *Journal of Biogeography* 40: 1.947-1.960.
- STOCK, M. (2014): Verwandtschaft der mittelhheinischen Populationen von *Rumex scutatus* L. Bachelorarbeit, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.
- TABERLET, P., FUMAGALLI, L., WUST-SAUCY, A.-G. & COSSON, J.-F. (1998): Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. *Molecular Ecology* 7: 453-464.
- WILLERSLEV, E., CAPPELLINI, E., BOOMSMA, W., NIELSEN, R., HEBBSGAARD, M. B., BRAND, T. B., HOFREITER, M. et al. (2007): Ancient biomolecules from deep ice cores reveal a forested southern Greenland. *Science* 317: 111-114.
- ZETZSCHE, H. (2004): Die Phylogeographie des Artkomplexes *Pulsatilla alpina* (Ranunculaceae). Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

#### Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. J. W. Kadereit  
 Institut für Spezielle Botanik und Botanischer Garten  
 Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
 55099 Mainz, Deutschland  
 kadereit@uni-mainz.de

MATTHIAS H. HOFFMANN, Halle-Wittenberg

# Evolution der arktischen Flora

## Evolution der arktischen Flora

Die zunehmende Verfügbarkeit von molekular-phylogenetischen Daten aus dem gesamten Pflanzenreich ermöglicht nicht nur die Untersuchung von einzelnen Stammesgeschichten und Entwicklungslinien von Gattungen, Familien oder Klassen der Pflanzen, sondern ermöglicht auch die Analyse der phylogenetischen Zusammensetzung von ganzen Ökosystemen. Die zentralen Fragen die gestellt werden sind: Woher stammen die Arten eines Ökosystems? Sind sie in diesem Ökosystem entstanden oder eingewandert und wenn sie eingewandert sind, woher? Wann sind diese Arten entstanden? Zeigen sie besondere morphologische oder ökologische Anpassungen, die eine Existenz in diesem Ökosystem ermöglichen? Zur Beantwortung dieser Fragen eignet sich die arktische Flora besonders, da sie eine überschaubare Anzahl an Arten besitzt, erdgeschichtlich jung ist und die Einwanderung von Pflanzen nur aus einer Richtung, d.h. aus dem Süden möglich ist.

Fossilien belegen, dass die heute kalten und waldfreien Gebiete der Arktis bis zum späten Tertiär mit Laub- und Nadelwäldern bedeckt waren (MAI 1995, MURRAY 1995). Die rekonstruierten Temperaturverläufe während des Tertiärs lassen vermuten, dass die Vegetationsbedeckung während der kühleren und wärmeren Phasen des Tertiärs nicht statisch war. Erste temporäre Eisbildungen werden schon für das mittlere Eozän angegeben (ca. 45 Mio. Jahre, MORAN et al. 2006). Mit der verstärkten Abkühlung des Klimas ab dem mittleren Miozän (vor ca. 15 Mio. Jahren, ZACHOS et al. 2001) begannen diese Wälder in größerem Maße durch andere Ökosysteme ersetzt zu werden. Der Beginn der zirkumpolaren arktischen Tundra wird auf die Expansion des grönländischen Eisschildes vor etwa 3,2 Mio. Jahren datiert. Vorher existierten Tundren bereits in isolierten Gebieten. Später, während des Pleistozäns, erfuhren besonders die arktischen Gebiete Westasiens und Nordamerikas durch die Eis- und Warmzeiten eine mehrfache Durchmischung. Sibirien und die Beringische Region waren dagegen von den klimatischen Veränderungen weniger stark beeinflusst.

Die Pflanzen der Arktis sind bezüglich ihrer Taxonomie recht gut untersucht. Frühe wichtige Arbeiten sind z.B. die Flora von Alaska (HULTÉN 1968), die Flora von Grönland (BÖCHER et al. 1978), die Flora der North West Territories (PORSILD

& CODY 1980) und vor allem die mehrbändige Arktischeskaja Flora (TOLMACHEV & YURTSEV 1960-1987), die vor allem die Pflanzen des eurasiatischen Sektors der Arktis behandelt. Seit 1981 werden diese regional begrenzten Arbeiten in einem internationalen Projekt zur „Panarctic Flora Checklist“ zusammengeführt (ELVEN et al. 2011, [www.nhm2.uio.no/paf/](http://www.nhm2.uio.no/paf/)). Die Abgrenzung der Arktis gegenüber südlicheren, meist borealen Ökosystemen folgt dabei den Vorschlägen von YURTSEV (1994) und ELVEBAKK et al. (1999). Die Arktis ist das Gebiet nördlich der polaren Baumgrenze bzw. das Gebiet, wo auch Flachländer nicht durchgängig bewaldet sind (Abb. 1). In kontinentalen Gebieten ist die Abgrenzung relativ einfach, in ozeanischen Gebieten problematisch, weil dort die unbewaldeten Gebiete weit



Abb. 1: Arktische Feuchtgebiete, im Hintergrund die Brooks Range, Alaska.

nach Süden reichen. In der Panarctic Flora Checklist werden etwa 2.800 Taxa höherer Pflanzen gelistet, die in der Arktis vorkommen. Arktische Arten sind damit sowohl endemische Arten (z.B. *Artemisia comata*, *A. glomerata*, *Draba tschuktschorum*, Abb. 2), als auch Arten, die nur wenige randliche Vorkommen in der Arktis besitzen, wie z.B. die Vorkommen borealer Fichten, Kiefern und Lärchen an geschützten Stellen der südlichen Arktis (z.B. *Picea mariana*, *Pinus sylvestris* und *Larix sibirica*). Schon diese Verbreitungsmuster lassen vermuten, dass die arktische Flora sich aus den verschiedensten Quellen und über verschie-



Abb. 2: Zwei Beifuß-Arten aus recht entfernt stehenden Verwandtschaftskreisen. Rechts die subendemische *Artemisia glomerata* und *A. borealis* (links) im Flussschotter nahe Prudhoe Bay, Alaska.

dene Mechanismen (Artbildung in der Arktis, Einwanderung) zusammengesetzt hat.

Für zahlreiche arktische Arten liegen phylogeographische Arbeiten vor, die die genetische Differenzierung von Populationen von Arten im Raum untersuchen. Auf dieser populationsgenetischen Ebene werden die Arten auf beispielsweise ihre Wanderungswege, geographischen Differenzierungen, genetische Vielfalt und Refugialgebiete hin untersucht (z.B., ABBOTT & BROCHMANN 2003; BROCHMANN et al. 2003; ALSOS et al. 2005, 2007, 2009; KOCH et al. 2006; EHRICH et al. 2007; EIDSEN et al. 2007a, b, 2013; BROCHMANN & BRYSTING 2008; SKREDE et al. 2006, 2009; WESTERGAARD et al. 2010, 2011; ALLEN et al. 2012; GUSSAROVA et al. 2012, HOFFMANN 2012). Tiefere stammesgeschichtliche Beziehungen zwischen den Arten werden in diesen Studien im Allgemeinen nicht untersucht. Auf diese Beziehungen wird in molekular-phylogenetischen Untersuchungen fokussiert, die sowohl die arktischen Arten als auch so viel wie möglich nicht-arktische Arten der untersuchten Gattungen berücksichtigen.

#### Biodiversität und taxonomisches Spektrum der arktischen Flora

Angaben zur Anzahl arktischer Arten sind aufgrund unterschiedlicher taxonomischer Ansichten und Gliederungen mit gewissem Vorbehalt zu betrachten. Für die Arktis werden etwa 2.800 Arten aus etwa 375 Gattungen und reichlich 100 Pflanzenfamilien der Farn- und Samenpflanzen angegeben (ELVEN et al. 2011). Die Artenzahl der arktischen Flora bezogen auf 10.000 km<sup>2</sup> bewegt sich damit etwa auf dem Niveau zentralasiatischer, afrikanischer und australischer Wüstengebiete (BARTHOLOTT et al. 2007). Innerhalb der Arktis nimmt die Artenzahl von Süden nach Norden hin ab, die hochpolaren Kältewüsten werden kaum noch von Gefäßpflanzen besiedelt, allerdings noch



Abb. 3: *Carex scirpoidea*, eine in Nordamerika weit verbreitete arktisch bis boreale Segge.



Abb. 4: Die arktisch-alpine *Micranthes ferruginea* aus dem westlichen Nordamerika.

von einer beträchtlichen Anzahl von Algen, Flechten und Moosen. Zu den artenreichsten Gattungen der Gefäßpflanzen der arktischen Flora gehören Segge (*Carex*, Abb. 3), Weide (*Salix*), Fingerkraut (*Potentilla*), Steinbrech (*Saxifraga* und *Micranthes*, Abb. 4), Rispengras (*Poa*) und Beifuß (*Artemisia*).

Arktische Pflanzen haben sich auf hoher taxonomischer Ebene vielfach und unabhängig voneinander entwickelt. Die in der Arktis vorkommenden Gattungen und Familien sind über den gesamten

Stammbaum der Gefäßpflanzen verteilt (z. B. im großen molekularen Stammbaum von ZANNE et al. 2014). Selten sind arktische Taxa in der kleinen Unterklasse Magnoliidae, wo nur *Nymphaea* und *Ceratophyllum* mit Vorkommen in die Arktis reichen.

#### Evolutionärer Ursprung der arktischen Arten

Fossilien arktischer Pflanzenarten sind nur in wenigen Fällen gut erhalten. Erhalten sind hauptsächlich Arten der Sümpfe und Moore, aber auch von höher gelegenen Gebieten (*Cerastium*, *Draba*, *Dryas*, *Ranunculus*, *Saxifraga*, *Silene*, *Stellaria*; BENNIKE & BØCHER 1990, MATTHEWS & OVENDEN 1990, BENNIKE et al. 2010). Fossilien liefern somit leider kaum Informationen über die Herkunft der rezenten arktischen Flora. Anhand floristischer Vergleiche des Arteninventars der Arktis und benachbarter Gebiete (florogenetischer Ansatz) postulierte TOLMACHEV (1960) verschiedene Quellen der arktischen Flora. Aus dem Grundstock der arktotertiären Flora sollen sich Arten durch graduelle Anpassung an die niedrigeren Temperaturen gebildet haben. Weiterhin sollen Arten aus südlichen Hochgebirgen, Wäldern, Mooren, Sümpfen und Küstenstandorten in das Gebiet der Arktis eingewandert sein (TOLMACHEV 1960). Alle Quellen erscheinen möglich, eine Überprüfung dieser Hypothesen ist allerdings erst mit dem Aufkommen der molekularen Systematik und einer umfangreichen Artenauswahl für diese Studien möglich geworden, weil stammesgeschichtliche Rekonstruktionen anhand morphologischer Merkmale aufgrund von Homoplasie (parallelen Entwicklungen und Reversionen) falsche Ergebnisse liefern können.

Für einige artenreiche Gattungen der arktischen Flora liegen inzwischen umfangreiche molekular-phylogenetische Studien vor, die die von TOLMACHEV (1960) aufgestellten Hypothesen bestätigen, erweitern und verfeinern. Bei diesen artenreichen Gattungen zeigte sich aber, dass es oft mehr als einen Ursprung arktischer Arten gab. Die im Folgenden genannten Beispiele sind eine Auswahl an Arbeiten und Gattungen, die speziell zu diesem Thema durchgeführt wurden. Andere Arbeiten, die ebenfalls arktische Arten enthalten, werden in naher Zukunft ebenfalls berücksichtigt. Eine Abstammung arktischer Arten von Arten südlicher Hochgebirge wurde in den Gattungen Läusekraut (*Pedicularis*, TKACH et al. 2014, Abb. 5), Hahnenfuß (*Ranunculus*, HOFFMANN et al. 2010), Beifuß (TKACH et al. 2008) und der Seggenreihe *Carex* sect. *Racemosae* (GEBAUER et al. 2015) beobachtet. Aus Vorfahren von Sümpfen und Mooren der Nordhalbkugel haben sich beispielsweise arktische Arten in den Gattungen *Ranunculus*, *Pedicularis* und der Seggenreihe *Carex* sect. *Vesicariae* (GEBAUER et al. 2014; Abb. 3) gebildet. Für viele weit verbreitete Sumpfpflanzen, die nur marginal in der Arktis vorkommen, ist eine einfache Einwanderung präadaptierter Arten anzunehmen (z.B. bei *Calla*, *Drosera*). Bei *Ranunculus* bzw. *Haler-*



Abb. 5: *Pedicularis lanata*, ein arktisch-alpines Läusekraut trockener Standorte aus Alaska. Die Art gehört zur *P. langsdorffii* Gruppe, die innerhalb der Arktis eine ökologische Differenzierung von Arten nasser und trockener Standorte zeigt.

*pestes* und noch mehr beim Salzschwaden (*Puccinellia*, CONSAUL et al. 2010) bilden Küsten und salzige Binnenlandshabitate eine wichtige Quelle der arktischen Flora. Im Vergleich zur Arbeit von TOLMACHEV (1960) konnten bei *Artemisia* auch zentralasiatische Steppen und Halbwüsten als mögliche Ursprungsgebiete identifiziert werden. Für die einzelnen Vorkommen der Koniferen in der Arktis ist naheliegend, dass sie aus den borealen Wäldern eingewandert sind, bzw. über längere Zeit in der Arktis überdauert haben. Seen und Meere spielen sicherlich auch als eine Quelle der arktischen Wasserpflanzen eine Rolle (*Lemma*, *Potamogeton*, *Zostera*). Vermutlich sind die meisten Wasserpflanzen aber nur eingewandert. Inzwischen finden sich auch zahlreiche Pflanzen ruderaler Standorte in der Arktis (DOROGOSTAJSKAYA 1972), die durch den Menschen dorthin gebracht wurden. Die ephemeren Vorkommen fanden aber keinen Eingang in die „Panarctic Flora Checklist“. Zusammenfassend stellt sich heraus, dass es in den unmittelbar südlich angrenzenden Gebieten der Arktis wohl kaum eine größere Vegetationsformation gibt, die keine arktischen Pflanzen hervorgebracht hat.

Besonders interessant sind die Arten der arktischen Flora, die *in situ*, d.h. direkt in der Arktis entstanden sind. Naheliegender ist das für die endemischen Sippen, die es in den meisten artenreichen Gattungen gibt. Für einige polyploide Arten in den Gattungen *Draba* und *Saxifraga* konnte die hybridogene Artbildung in der Arktis nachgewiesen werden (z.B. BROCHMANN et al. 1992, 1998). Es könnte aber auch sein, dass diese Taxa außerhalb der Arktis entstanden, durch Migration in die Arktis eingewandert und in den inzwischen nicht-arktischen Gebieten ausgestorben sind. Nach der Datierung des molekularen Stammbaumes der Gattung *Ranunculus* entstand der auf Chukotka und Alaska beschränkte *Ranunculus chamissonis* vor ungefähr 20 Mio. Jahren (HOFFMANN et al. 2010), also zu einer Zeit als es arktische Lebensräume höchstens stellenweise gab oder ähnliche Bedingungen nur in den Hochgebirgen herrschten. Die phylogeographische Arbeit von RONIQUIER et al. (2012) zum *R. glacialis/R. chamissonis* Komplex bestätigt diese Vermutung, dass der amphiberingische *R. chamissonis* tatsächlich in europäischen Gebirgen entstand und später, offensichtlich über schnelle Ausbreitung, sein heutiges, arktisch-endemisches Areal besiedelt hat, während er im mutmaßlichen Entstehungsgebiet und den dazwischen liegenden Gebieten ausstarb.

#### Zeitlicher Rahmen der Entstehung arktischer Arten

Mit molekularen Uhren kann die Entstehungszeit von Pflanzengruppen und Arten datiert werden. Molekulare Datierungen wurden inzwischen auch mehrfach für arktische Gattungen durchgeführt (*Artemisia*, TKACH et al. 2008b, *Ranunculus*, HOFFMANN et al. 2010, indirekt für zahlreiche Gattungen und Arten der Poaceae und Gruppen der Gattung *Carex*, HOFFMANN et al. 2013, DRAGON & BARRINGTON 2009, GEBAUER et al. 2014, weitere Gattungen mit arktischen Sippen wurden auch datiert, ohne dass der Fokus auf arktischen Arten lag). Die Ergebnisse zeigen, dass die rezente arktische Flora ein Gemisch alter und junger Arten ist. Einige Arten scheinen sehr alt zu sein, ihre Entstehungszeit lag wohl deutlich vor der Ausbildung der zirkumpolaren Arktis. Vermutlich besaßen diese Arten Präadaptationen und sind nach dem Entstehen geeigneter Lebensräume in das nördlichste Ökosystem eingewandert. In den oben genannten Gattungen befinden sich aber auch viele Arten, die geologisch offensichtlich ganz jung sind und sich während des Pleistozäns oder sogar während der wenigen letzten Jahrtausenden entwickelt haben. In einigen Gruppen, wie z.B. in der Seggenreihe *Carex* sect. *Phacocystis* scheinen sich einzelne Linien in aktiver Evolution zu befinden (z.B. VOLKOVA et al. 2008, Abb. 6). Große morphologische Vielfalt und durch zahlreiche Übergänge verbundene und somit schwer abgrenzbare Taxa können als Indiz dafür dienen.



Abb. 6. Die weit verbreitete und außerordentlich variable Wasser-Segge (*Carex aquatilis*) aus der sect. *Phacocystis*.

#### Adaptive Radiationen oder parallele Entwicklungen

Im Prinzip ist die Arktis ein Ökosystem, für das adaptive Radiationen zu erwarten wären: geologisch jung, große geographische Ausdehnung und vorher noch nicht vorhandene Umweltbedingungen (SCHLUTER 2000). In der ähnlich alten Cape-Flora Südafrikas fanden in diesem Zeitraum zahlreiche adaptive Radiationen statt (z.B. LINDER & HARDY 2004, RICHARDSON et al. 2001). In der Arktis hingegen sind Radiationen wohl eher die Ausnahme als die Regel (HOFFMANN & RÖSER 2009) und auf wenige Gruppen beschränkt, wie z.B. *Douglasia* (SCHNEEWEISS et al. 2004), *Carex* (DRAGON & BARRINGTON 2009, GEBAUER et al. 2014), *Poa* und verwandte Gattungen (HOFFMANN et al. 2013) und *Saxifraga* (JØRGENSEN et al. 2006, TKACH et al., in prep.). Die meisten arktischen Arten scheinen sich dagegen parallel und unabhängig voneinander entwickelt zu haben, d. h. sie stehen in den Stammbäumen an verschiedenen Ästen. Die Frage ist, warum es in der Arktis offenbar keine Radiationen gab? Als mögliche Gründe können dafür in Betracht gezogen werden:

1. Es gab doch Radiationen, die meisten Arten sind aber während der Eis- und dazwischen liegenden Warmzeiten wieder ausgestorben, so dass die Stammbäume bzw. die überlebenden Arten nur einen kleinen Rest vergangener Vielfalt widerspiegeln.

2. Die Umweltbedingungen in der Arktis verlangsamen die Evolutionsgeschwindigkeit, in dem die Arten lange Generationszyklen besitzen und selten oder spät zur Fortpflanzung gelangen (geringe effektive Populationsgröße).

Letztere Möglichkeit würde bedeuten, dass die Diversifizierungsrate arktischer Arten pro Generation der von anderen Ökosystemen ähnlich ist, die Umweltbedingungen die Artbildung aber verlangsamt. Beide Hypothesen sind natürlich spekulativ und bedürfen der kritischen Überprüfung.

### Chromosomenzahlen

Die arktischen Pflanzen liefern ein Lehrbuchbeispiel für die geographische Strukturierung von Chromosomenzahlen, weil in der Arktis prozentual mehr Polyploide vorkommen als in südlicheren Ökosystemen (LÖVE & LÖVE 1974, ABBOTT & BROCHMANN 2003). Dieses Muster wurde dahin gedeutet, dass Polyploidie in den harschen Bedingungen der Arktis einen adaptiven Vorteil darstellen könnte. Bei *Artemisia* und *Ranunculus* wurde jedoch beobachtet, dass Polyploidie ein evolutionär konserviertes Merkmal ist (TKACH et al. 2008, HOFFMANN et al. 2010). Das bedeutet, dass Polyploidie nicht erst mit der Bildung arktischer Arten verbunden ist, sondern dass die Vorfahren oder Schwestersippen ebenfalls polyploid sind. Weiterhin kommen in südlicheren Gebieten mehr Arten vor, von denen viele diploid sind. Dieses Muster bedarf aber einer genaueren Untersuchung mit mehr Gattungen.

### Morphologie

Jedem Arktisreisenden ist der kleine Wuchs vieler Pflanzenarten verbunden mit häufig auffälligen großen Blüten geläufig, ein Muster, das sich auch in den Hochgebirgen wiederfindet. Von zentraler Bedeutung ist die Frage, ob sich diese Wuchs- und Lebensformen erst mit der Bildung arktischer Arten herausgebildet haben, oder ob sie schon bei den Vorfahren der arktischen Sippen auftraten. Bei den genauer untersuchten Gattungen konnten kaum oder keine morphologischen Besonderheiten beobachtet werden, die mit einer Besiedlung der Arktis einhergingen. Lediglich bei *Artemisia* gab es einen Trend, dass die arktischen Arten größere Blütenköpfe besitzen als ihre nichtarktischen Verwandten (TKACH et al. 2008a). Bei Läusekräutern (*Pedicularis*) gab es in einzelnen Linien einen Trend in Blütenfarbe und Behaarung, der in anderen aber gegenläufig war (TKACH et al. 2014).

Diese kurzen Ausführungen zeigen erste Grundzüge der Evolution der arktischen Flora und lassen offensichtliche Hauptlinien der raum-zeitlichen Rekrutierung der Pflanzen abschätzen. Aussagen über den quantitativen Anteil der einzelnen Quellen lassen sich allerdings noch nicht treffen und bedürfen der Untersuchung weiterer Gattungen.

### Literatur

- ABBOTT, R. J., BROCHMANN, C. (2003): History and evolution of the arctic flora: in the footsteps of Eric Hultén. *Mol. Ecol.* 12: 299-313.
- ALLEN, G. A., MARR, K. L., McCORMICK, L. J. & HEBDA, R. J. (2012): The impact of Pleistocene climate change on an ancient arctic-alpine plant: multiple lineages of disparate history in *Oxyria digyna*. *Ecol. Evol.* 2: 649-665.
- ALSOS, I. G., ALM, T., NORMAND, S. & BROCHMANN, C. (2009): Past and future range shifts and loss of diversity in dwarf willow (*Salix herbacea* L.) inferred from genetics, fossils and modeling. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 18: 223-239.
- ALSOS, I. G., EIDASEN, P. B., EHRICH, D., SKREDE, I., WESTERGAARD, K., JACOBSEN, G. H., LANDVIK, J. Y., TABERLET, P. & BROCHMANN, C. (2007): Frequent long-distance plant colonization in the changing Arctic. *Science* 316: 1.606-1.609.
- ALSOS, I. G., ENGELSKJON, T., GIELLY, L., TABERLET, P. & BROCHMANN, C. (2005): Impact of ice ages on circumpolar molecular diversity: insights from an ecological key species. *Mol. Ecol.* 14: 2.739-2.753.
- BARTHLOTT, W., HOSTERT, A., KIER, G., KÜPER, W., KREFT, H., MUTKE, J., RAFIQPOOR, M. D. & SOMMER, J. H. (2007): Geographic patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. *Erdkunde* 61: 305-315.
- BENNIKE, O. & BØCHER, J. (1990): Forest-tundra neighbouring the North Pole: plant and insect remains from the Plio-Pleistocene Kap København Formation, North Greenland. *Arctic* 43: 331-338.
- BENNIKE, O., KNUDSEN, K. L., ABRAHMSSEN, N., BØCHER, J., CREMER, H. & WAGNER, B. (2010): Early Pleistocene sediments on Store Koldewey, northeast Greenland. *Boreas* 39: 603-619.
- BØCHER, T. W., FREDSKILD, B., HOLMEN, K. & JAKOBSEN, K. (1978): Grønlands flora. Ed. 3. - P. Haase & Sønns Forlag, København.
- BROCHMANN, C. & BRYSTING, A. K. (2008): The Arctic - an evolutionary freezer? *Plant. Ecol. Divers.* 1: 181-195.



- BROCHMANN, C., GABRIELSEN, T. M., NORDAHL, I., LANDVIK, I. Y. & ELVEN, R. (2003): Glacial survival or tabula rasa? The history of North Atlantic biota revisited. *Taxon* 52: 417-450.
- BROCHMANN, C., SOLTIS, P. S. & SOLTIS, D. E. (1992a): Recurrent formation and polyphyly of nordic polyploids in *Draba* (Brassicaceae). *Am. J. Bot.* 76: 673-688.
- BROCHMANN, C., XIANG, Q.-Y., BRUNSFELD, S. J., SOLTIS, D. E. & SOLTIS, P. S. (1998): Molecular evidence for polyploid origins in *Saxifraga* (Saxifragaceae): The narrow arctic endemic *S. svalbardensis* and its widespread allies. *Am. J. Bot.* 85: 135-143.
- CONSAUL, L. L., GILLESPIE, L. J. & WATERWAY, M. J. (2010): Evolution and polyploid origins in North American Arctic *Puccinellia* (Poaceae) based on nuclear ribosomal spacer and chloroplast DNA sequences. *American Journal of Botany* 97: 324-336.
- DOROGOSTAJSKAYA, E. V. (1972): *Sornye rasteniya Krajnego Severa SSSR*. Leningrad, Nauka.
- DRAGON, J. A. & BARRINGTON D. S. (2009): Systematics of the *Carex aquatilis* and *C. lenticularis* lineages: Geographically and ecologically divergent sister clades of *Carex* section *Phacocystis* (Cyperaceae). *American Journal of Botany* 96: 1.896-1.906.
- EHRICH, D., GAUDEUL, M., ASSEFA, A., NEMOMISSA, S., KOCH, M., MUMMENHOFF, K., INTRABIODIV CONSORTIUM & BROCHMANN, C. (2007): Genetic consequences of Pleistocene range shifts: Contrast between the Arctic, the Alps and the East African mountains. *Mol. Ecol.* 16: 2.542-2.559.
- EIDASEN, P. B., EHRICH, D., BAKKESTUEN, V., ALSOS, I. G., GILG, O., TABERLET, P. & BROCHMANN, C. (2013): Genetic roadmap of the Arctic: plant dispersal highways, traffic barriers and capitals of diversity. *New Phytologist* 200: 898-910.
- EIDASEN, P. B., ALSOS, I. G., POPP, M., STENSRUD, Ø., SUDA, J. & BROCHMANN, C. (2007a): Nuclear versus plastid data: Complex Pleistocene history of a circumpolar key species. *Mol. Ecol.* 16: 3902-3925.
- EIDASEN, P. B., CARLSEN, T., MOLAU, U. & BROCHMANN, C. (2007b): Repeatedly out of Beringia: *Cassiope tetragona* embraces the Arctic. *J. Biogeogr.* 34: 1.559-1.574.
- ELVEBAKK, A., ELVEN, R. & RAZZHIVIN, V. Y. (1999): Delimitation, zonal and sectorial subdivision of the Arctic for the Panarctic Flora Project. *Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo. I. Matemat.-Naturvid. Kl., Ny Ser.* 38: 375-386.
- ELVEN, R., MURRAY, D. F., RAZZHIVIN, V. Y. & YURTSEV, B. A. (Eds.) (2011): Annotated Checklist of the Panarctic Flora (PAF) Vascular plants version 1.0. Available at <http://nhm2.uio.no/paf> [accessed April 17: 2013].
- GEBAUER, S., RÖSER, M. & HOFFMANN, M. H. (2015): Molecular phylogeny of the species-rich *Carex* sect. *Racemosae* (Cyperaceae) based on four nuclear and chloroplast markers. *Systematic Botany*.
- GEBAUER, S., STARR, J. R. & HOFFMANN, M. H. (2014): Parallel and convergent diversification in two northern hemispheric species-rich *Carex* lineages (Cyperaceae). *Organisms Diversity and Evolution* 14: 247-258.
- GUSSAROVA, G., ALSOS, I. G. & BROCHMANN, C. (2012): Annual plants colonizing the Arctic? Phylogeography and genetic variation in the *Euphrasia minima* complex (Orobanchaceae). *Taxon* 61(1): 146-160.
- HOFFMANN, M. H. (2012): Not across the North Pole: Plant migration in the Arctic. *New Phytol.* 193: 474-480.
- HOFFMANN, M. H., SCHNEIDER, J., HASE, P. & RÖSER, M. (2013): Rapid and recent world-wide diversification of Bluegrasses (*Poa*, Poaceae) and related genera. *PLoS One* 8: e60061.
- HOFFMANN, M. H. & RÖSER, M. (2009): Taxon recruitment of the arctic flora: an analysis of phylogenies. *New Phytol.* 182: 774-780.
- HOFFMANN, M. H., VON HAGEN, K. B., HÖRANDL, E., RÖSER, M. & TKACH, N. V. (2010): Sources of the arctic flora: Origins of arctic species in *Ranunculus* and related genera. *Int. J. Plant Sci.* 171: 90-106.
- HULTÉN, E. (1968): *Flora of Alaska and neighbouring territories*. Stanford University Press, Stanford, CA.
- JØRGENSEN, M. H., ELVEN, R., TRIBSCH, A., GABRIELSEN, T. M., STEDJE, B. & BROCHMANN, C. (2006): Taxonomy and evolutionary relationships in the *Saxifraga rivularis* complex. *Syst. Bot.* 31: 702-729.

- KOCH, M. A., KIEFER, C., EHRLICH, D., VOGEL, J., BROCHMANN, C. & MUMMENHOFF, K. (2006): Three times out of Asia Minor: the phylogeography of *Arabis alpina* L. (Brassicaceae). *Mol. Ecol.* 15: 825-839.
- LINDER H. P. & HARDY, C. R. (2004): Evolution of the species-rich Cape flora. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - B* 359: 1623-1632.
- LÖVE, A. & LÖVE, D. (1974): Origin and evolution of the arctic and alpine floras. In *Arctic and alpine environments* (ed. J. D. Ives, R. G. Barry) pp. 571-603. London: Methuen.
- MAI, D. H. (1995): *Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas*. Gustav Fischer-Verlag, Jena.
- MATTHEWS, J. V. & OVENDEN, L. E. (1990): Late Tertiary plant macrofossils from localities in arctic/subarctic North America: a review of the data. *Arctic* 43: 364-392.
- MORAN, K., BACKMAN, J., BRINKHUIS, H., CLEMENS, S. C., CRONIN, T., DICKENS, G. R., EYNAUD, F., GATTACCECA, J., JAKOBSSON, M., JORDAN, R. W., KAMINSKI, M., KING, J., KOC, N., KRYLOV, A., MARTINEZ, N., MATTHIESSEN, J., MCINROY, D., MOORE, T. C., ONODERA, J., O'REGAN, M., PÄLIKE, H., REA, B., RIO, D., SAKAMOTO, T., SMITH, D. C., STEIN, R., ST JOHN, K., SUTO, I., SUZUKI, N., TAKAHASHI, K., WATANABE, M., YAMAMOTO, M., FARRELL, J., FRANK, M., KUBIK, P., JOKAT, W. & KRISTOFFERSEN, Y. (2006): The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. *Nature* 441: 601-605.
- MURRAY, D. F. (1995): Causes of arctic plant diversity: origin and evolution. In: Chapin, S.S., Körner, C. (Eds.), *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes, and Ecosystem Consequences*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 21-32 (*Ecol. Stud.* 113).
- PORSILD, A. E. & CODY, W. J. (1980): Vascular plants of Continental Northwest Territories, Canada. - *Natl. Mus. Nat. Sci., Natl. Mus. Canada*, Ottawa.
- RICHARDSON, J. E., WEITZ, F. M., FAY, M. F., CRONK, Q. C. B., LINDER, H. P., REEVES, G. & CHASE, M. W. (2001): Rapid and recent origin of species richness in the Cape flora of South Africa. *Nature* 412: 181-183.
- RONIKIER, M., SCHNEEWEISS, G. M. & SCHÖNSWETTER, P. (2012): The extreme disjunction between Beringia and Europe in *Ranunculus glacialis* s. l. (Ranunculaceae) does not coincide with the deepest genetic split - a story of the importance of temperate mountain ranges in arctic-alpine phylogeography. *Mol. Ecol.* 21: 5.561-5.578.
- SCHLUTER, D. (2000): *The ecology of adaptive radiation*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- SCHNEEWEISS, G. M., SCHÖNSWETTER, P., KELSO, S. & NIKLFELD, H. (2004): Complex biogeographic patterns in *Androsace* (Primulaceae) and related genera: evidence from phylogenetic analyses of nuclear internal transcribed spacer and plastid trnL-F sequences. *Syst. Biol.* 53: 856-876.
- SKREDE, I., BORGAN, L. & BROCHMANN, C. (2009): Genetic structuring in three closely related circumpolar plant species: AFLP versus microsatellite markers and high-arctic versus arctic-alpine distributions. *Heredity* 102: 293-302.
- SKREDE, I., EIDASEN, P. B., PORTELA, R. P. & BROCHMANN, C. (2006): Refugia, differentiation and postglacial migration in arctic-alpine Eurasia, exemplified by the mountain avens (*Dryas octopetala* L.). *Mol. Ecol.* 15: 1.827-1.840.
- TKACH, N., REE, R. H., KUSS, P., RÖSER, M. & HOFFMANN, M. H. (2014): High mountain origin, phylogenetics, evolution, and niche conservatism of arctic lineages in the hemiparasitic genus *Pedicularis* (Orobanchaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 76: 75-92.
- TKACH, N. V., HOFFMANN, M. H., RÖSER, M., KOROBKOV, A. A. & VON HAGEN, K. B. (2008a): Parallel evolutionary patterns in multiple lineages of arctic *Artemisia* L. (Asteraceae). *Evolution* 62: 184-198.
- TKACH, N. V., HOFFMANN, M. H., RÖSER, M. & VON HAGEN, K. B. (2008b): Temporal patterns of evolution in the Arctic explored in *Artemisia* L. (Asteraceae) lineages of different age. *Plant. Ecol. Divers* 1: 161-169.
- TOLMACHEV, A. I. & YURTSEV, B. A. (eds.) (1960-1987): *Flora Arctica URSS, I-X*. - Akademiya Nauk SSSR, Moskva - Leningrad.
- TOLMACHEV, A. I. (1960): Der autochthone Grundstock der arktischen Flora und ihre Beziehungen zu den Hochgebirgsflora Nord- und Zentralasiens. *Bot. Tidsskr.* 55: 269-276.

- VOLKOVA, P. A., SHIPUNOV, A. B., ELVEN, R. & BROCHMANN, C. (2008): The seashore sedges of the Russian Kola Peninsula: How many species? *Flora* 203: 523-533.
- WESTERGAARD, K. B., ALSOS, I. G., POPP, M., ENGELSKJOEN, T., ATBERG, K. I. & BROCHMANN, C. (2011): Glacial survival may matter after all: nunatak signatures in the rare European populations of two west-arctic species. *Mol. Ecol.* 20: 376-393.
- WESTERGAARD, K. B., JØRGENSEN, M. H., GABRIELSEN, T. M., ALSOS, I. G. & BROCHMANN, C. (2010): The extreme Beringian/Atlantic disjunction in *Saxifraga rivularis* (Saxifragaceae) has formed at least twice. *J. Biogeogr.* 37: 1.262-1.276.
- YURTSEV, B. A. (1994): Floristic division of the Arctic. *J. Veg. Sci.* 5: 765-776.
- ZACHOS, J., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E. & BILLUPS, K. (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* 292: 686-693.
- ZANNE, A. E., TANK, D. C., CORNWELL, W. K. et al. (2014): Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature* 506: 89-92.

**Anschrift des Verfassers:**

Dr. Matthias H. Hoffmann  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Institut für Biologie  
Bereich Geobotanik und Botanischer Garten  
Am Kirchtor 3  
06108 Halle (Saale)  
Tel: 0345-5526229  
matthias.hoffmann@botanik.uni-halle.de

ELVIRA HÖRANDL, Göttingen

# Evolution von Hochgebirgsarten in der Gattung *Ranunculus*

## Einleitung

Hochgebirge sind durch eine deutliche vertikale Zonierung der Vegetation charakterisiert. Oberhalb der Grenze des geschlossenen Waldes bzw. oberhalb der Baumgrenze finden krautige Pflanzen vielfältige Standorte in Rasen, Fels- und Schuttfluren, ohne durch die Beschattung der Wälder beeinträchtigt zu werden. In Hochgebirgen ermöglichen vor allem die unterschiedlichen Höhenstufen und Vegetationszonen unterschiedliche ökologische Nischen. Mit zunehmender Höhe nimmt die Temperatur ab, die Vegetationsperiode wird kürzer, Sonneneinstrahlung und Niederschlag hingegen nehmen zu. Durch ökologische Differenzierung und Anpassung an verschiedene Standorte im Hochgebirge kann Artbildung auch im selben Gebiet (sympatrisch) erfolgen. Die Bedeutung ökologischer Differenzierung für die Artbildung ist jedoch für Gebirgspflanzen nur wenig untersucht. Besser bekannt ist Artbildung von Hochgebirgspflanzen durch geografische Isolation. Nicht nur die räumliche Trennung der Gebirgsstöcke, sondern auch die klimatische Faktoren, wie z.B. Vergletscherungen, können Populationsgruppen räumlich voneinander isoliert werden und zur allopatrischen Artbildung führen. Neben dieser, Vikarianz genannten Form der Artbildung, können auch neue Gebiete durch Fernverbreitung der Diasporen besiedelt werden. Diese Form der Artbildung ist von Pflanzenarten tieferer Lagen vielfach bekannt, aber nur sehr wenig für die Gebirgsarten verschiedener Kontinente untersucht. Vor allem gibt es kaum vergleichende Untersuchungen zwischen Gebirgen verschiedener Kontinente.

Die Gattung *Ranunculus* (Ranunculaceae) ist mit ca. 600 Arten nahezu weltweit verbreitet. Obwohl verschiedenste Habitate besiedelt werden können, zeigen viele Arten eine Tendenz zu kühleren Gebieten mit kühlerem Klima und zu höheren Lagen. Es treten daher in allen Gebirgen der Erde zahlreiche Arten dieser Gattung auf, in den Tropen und Subtropen finden sich Hahnenfuß-Arten ausschließlich oberhalb der Waldgrenze. In allen Höhenstufen zeigen *Ranunculus*-Arten eine deutliche Standortdifferenzierung. Die Gattung ist daher ein gutes Modellsystem für vergleichende Untersuchungen von Gebirgspflanzen. Bisher beschränken sich die meisten Studien auf bestimmte Gebirgsregionen (z.B. Alpen, Nordamerika, Neuseeland), es gibt sehr wenig Information vor allem über asiatische Gebirgspflanzen, etwa

des Himalayas, des höchsten Gebirgszuges der Erde. Dadurch werden allgemeine Aussagen zur Artbildung in Gebirgen sehr erschwert. Die Arten tieferer Lagen zeigen häufig Fernverbreitung, sogar über Ozeane hinweg (EMADZADE & HÖRANDL 2011). Bei den Gebirgspflanzen war es jedoch noch nicht bekannt, inwieweit Fernverbreitung zur Artbildung beiträgt.

Es werden zwei Themen vorgestellt, die jeweils auf jüngsten Publikationen beruhen. In der ersten Arbeit wird die Frage behandelt, ob innerhalb der Phylogenie von *Ranunculus* die Gebirge mehrfach besiedelt wurden; weiter wird untersucht, ob Arten verschiedener Gebirge zueinander nächst verwandt sind oder von Tieflandsarten derselben Region abstammen (HÖRANDL & EMADZADE 2011). Die zweite Arbeit behandelt eine Klade, welche die Arten Nordamerikas, der Arktis, und der Zentralasiatischen Gebirge umfasst. Hier wird untersucht, ob Schwestergruppen allopatrisch oder sympatrisch verbreitet sind, und ob bei sympatrischer Verbreitung die ökologische Differenzierung in Vegetationstypen und Höhenstufen eine Rolle spielen (EMADZADE et al. 2015).

## 1. Alpine Arten in der Phylogenie von *Ranunculus* und verwandten Gattungen

Unsere Untersuchungen beruhen auf einer molekularen Phylogenie, die mit einem Kern-Marker (ITS nrDNA) und mehreren Plastidenmarkern rekonstruiert wurde (Abb. 1). Im Stammbaum sind auch Altersbestimmungen für die wichtigsten Kladen in Millionen Jahren angegeben (nach EMADZADE & HÖRANDL 2011). Generell sieht man, dass alpine Arten über die Phylogenie verstreut vorkommen, wobei die meisten Gebirge (in Europa, Asien, Afrika) mehrfach besiedelt worden sind. Es gibt keine Schwesterarten aus verschiedenen Gebirgszügen, womit eine Fernverbreitung ausgeschlossen wird. Von den verwandten Gattungen stammen vier alpine Gattungen aus den Anden Südamerikas (*Callianthemoides*, *Hamaydryas*, *Laccopetalum*), eine aus dem Himalaya (*Oxygraphis*), ohne aber näher verwandt zu sein. Die Europäischen Gebirge stehen innerhalb von *Ranunculus* beispielhaft für mehrfache Besiedelung einer Gebirgsgruppe. An der Basis steht sect. *Thora*, ein gelbblühende Gruppe, deren Ursprung unbekannt ist, die jedoch von den übrigen gelbblühenden

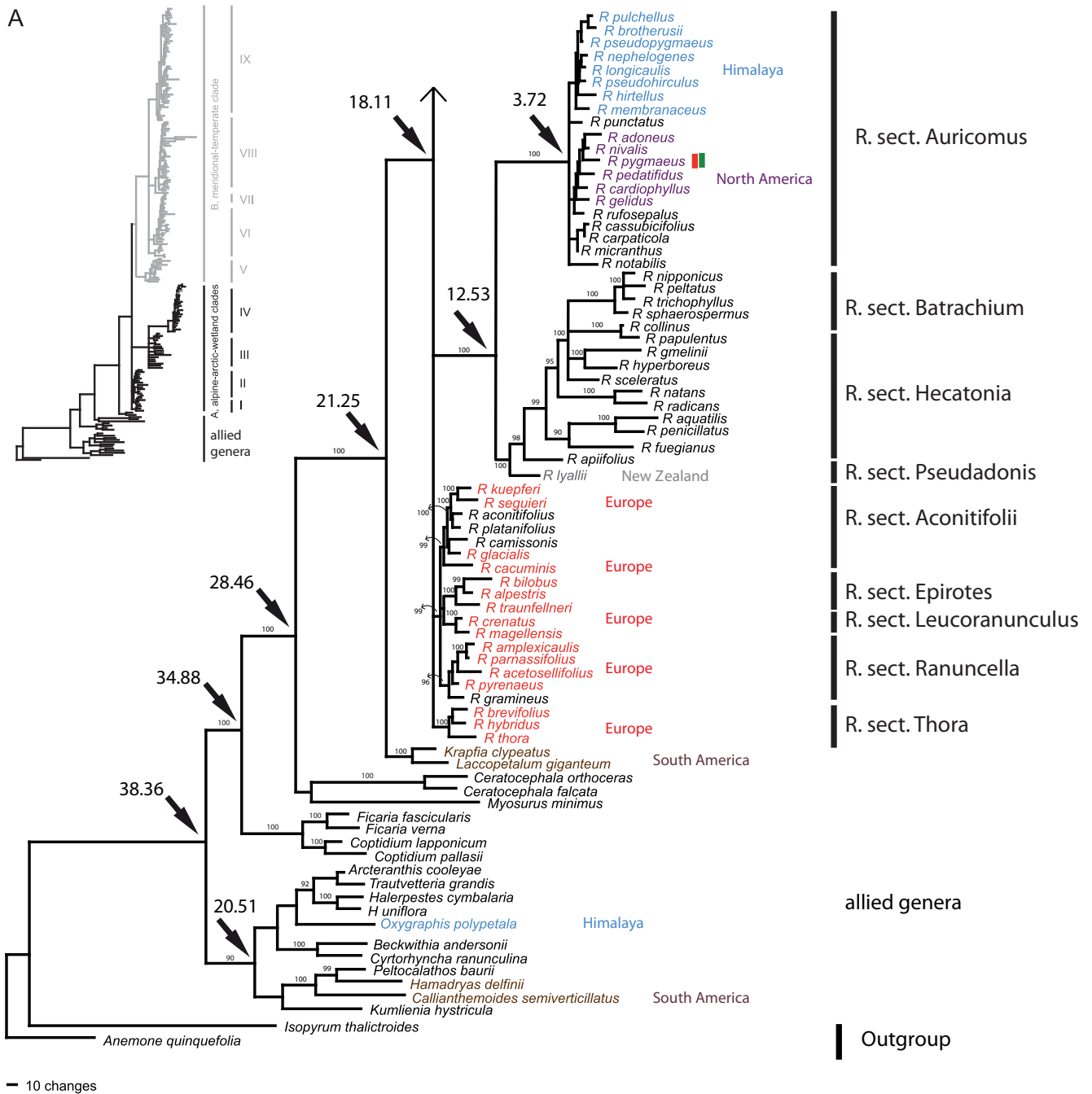


Abb. 1A und 1B (gegenüber): Phylogenie von *Ranunculus* und verwandten Gattungen, basierend auf DNA Sequenzen des Kern- und des Plastidengenoms (verändert nach HÖRANDL & EMADZADE 2011). Alpine Arten sind farblich gekennzeichnet und mit dem entsprechenden Kontinent angegeben.

Arten isoliert ist. Die Herkunft dieser Gruppe ist unbekannt. Die weißblühenden Gebirgsarten bilden eine schwach unterstützte Klade, die in vier Kladen zerfällt, die jeweils Sektionen entsprechen. Sektion *Ranuncella* hat den Verbreitungsschwerpunkt in den Gebirgen der Iberischen Halbinsel, hat jedoch an der Basis eine Art der südwesteuropäischen Tiefländer (*R. gramineus*). Alle Gebirgspflanzen kommen in den Gebirgen der Iberischen Halbinsel vor, lediglich *R. parnassifolius* (Abb. 2) erreicht von den Pyrenäen aus auch die Alpen. Die vorliegenden Daten unterstützen eine

Hypothese, dass die hochalpinen Arten vorwiegend aus Arten tieferer Lagen entstammen. Sektion *Aconitifolii* hat einen mitteleuropäischen Schwerpunkt und umfasst zwei montane Arten (*R. aconitifolius* und *R. platanifolius*), und drei Gebirgsarten (*R. kuepferi*, Abb. 3; *R. seguieri* und *R. glacialis*). Letztere Art ist arktisch - alpin verbreitet, wobei jedoch die Alpen das Ausgangsgebiet für die Besiedelung der Arktis sind (SCHÖNSWETTER et al. 2003). Auch hier ist eine Evolution der ganzen Gruppe aus Arten tieferer Lagen bzw. der Bergwaldstufe Mitteleuropas anzunehmen.

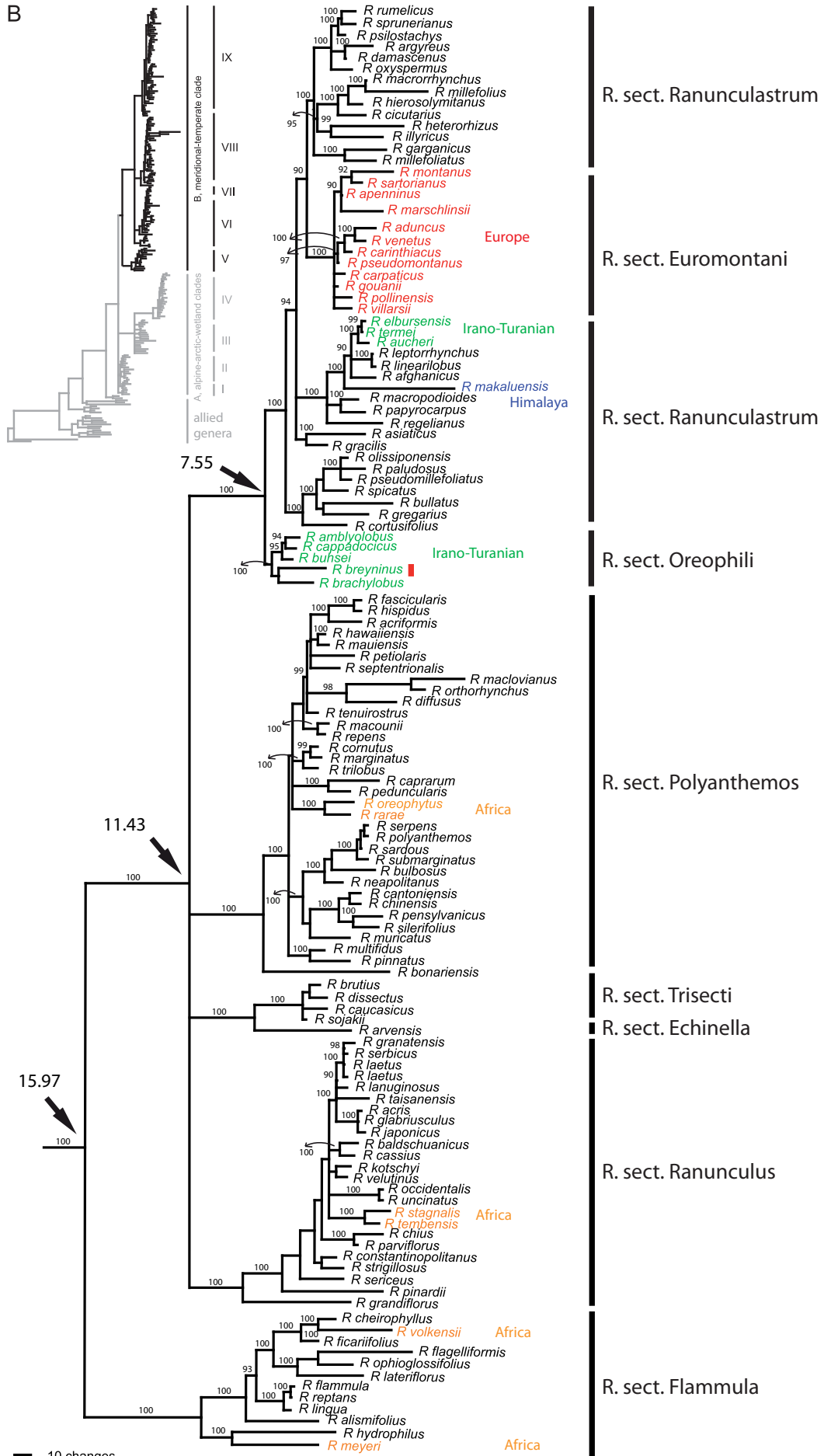




Abb. 2: *Ranunculus parnassifolius*, eine Art der vorwiegend südwesteuropäischen Sect. *Ranuncella*.



Abb. 3: *Ranunculus kuepferi*, ein Vertreter der Sect. *Aconitifolii*.

In der Sektion *R. auricomus* erreicht nur die arktisch-alpine Art die Alpen (*R. pygmaeus*, Abb. 4). Diese Gruppe ist verwandtschaftlich weit entfernt von der gelbblühenden Sektion *Euromontani* (Abb. 5) die eine Radiation innerhalb der Alpen und der Nachbargebirge zeigt. Diese Gruppe gehört in eine große Klade, an deren Basis die Sektion *Oreophili* steht, der vorwiegend aus



Abb. 4: *Ranunculus pygmaeus* gehört zu einer großen Klade, die als Sect. *Auricomus* klassifiziert wird. Die Art ist mit alpinen Arten Nordamerikas nächst verwandt.



Abb. 5: *Ranunculus aduncus* gehört zur europäischen Sect. *Euro-montani*.

kaukasischen und Irano-Turanischen Arten besteht und lediglich mit einer Art (*R. breyninus*) die Alpen erreicht. Der größte Teil dieser Klade umfasst Arten der mediterran-irano-turanische Region mit zahlreichen Arten tieferer Lagen, die an sommertrockene Klimate angepasst sind. Aus dieser Gruppe hat sich wiederum die Sektion Euromontani entwickelt, die mit zahlreichen Arten Rasengesellschaften des alpidischen Gebirgszuges besiedelt. Insgesamt kann aus der Verteilung der Arten in der Phylogenie geschlossen werden, dass die Besiedelung der Gebirge und die Entstehung alpiner Arten überwiegend mehrfach erfolgt ist. Das Fehlen von Schwesterarten aus verschiedenen Kontinenten zeigt, dass keine Fernverbreitung zwischen den Gebirgen verschiedener Kontinente stattgefunden hat. Hingegen evolvieren Arten häufig aus Arten tieferer Lagen derselben Region, was die Bedeutung von Höhenstufen unterstreicht. Die Gebirge in Europa, Asien, Afrika und Südamerika zeigen eine mehrfache Besiedelung in verschiedenen Zeiträumen. Lediglich die nordamerikanischen Hochgebirgsarten zeigen eine Konzentration in einer Klade. Insgesamt lassen sich zwei Hauptlinien von Gebirgspflanzen unterscheiden: eine Nördliche Verbindung über Zentralasien (inkl. Himalaya) - Arktis - Nordamerika, sowie eine südliche Route über die europäisch-alpidische Kette und die Irano-Turanische Region. Im Himalaya und sowie in Neuseeland sehen wir (adaptive) Radiationen aus einem gemeinsamen Vorfahren.

## 2. Evolution alpiner Arten Nordamerikas und im Himalaya

Im *R. auricomus* clade wurde eine genauere Untersuchung durchgeführt. Diese Klade hat mit der Diversifizierung vor ca. 3,7 Mill. Jahren begonnen. Aufgrund der schlechten Auflösung des Stammbaumes mit den „normalen“ DNA-Markern wurden weitere Plastidenmarker hinzugezogen. Die Rekonstruktion des Stammbaumes ergibt im Wesentlichen eine geographische Grundstruktur: an der Basis steht ein Ast mit dem eurasiatisch-vestsibirischen *R. auricomus*-Komplex, der vorwiegend in Wäldern und Wiesen der Tiefländern vorkommt und daher nicht näher behandelt wird. Weiters werden zwei Kladen aus nordamerikanischen Arten gebildet, eine aus den südlich-zentralasiatischen Arten, eine Klade ist arktisch bis nördlich-zentralasiatisch; ein weiterer Ast enthält je eine arktische und eine zentralasiatische Art.

Innerhalb dieses Stammbaumes werden die Schwesterarten hinsichtlich ihrer Verbreitung verglichen, um Erkenntnisse über mögliche Artbildungsprozesse zu gewinnen. In Nordamerika liegen allo- para- und sympatrische Vorkommen vor, wobei jedoch die Arten der Rocky Mountains und die circumarktischen Schwesterarten vielfach sympatrisch sind. Eine NeighborNet-Analyse zeigt jedoch, dass die Aufsammlungen einer Art auch bei gemeinsamen Vorkommen mit anderen Arten im gleichen Gebiet zusammenhängende, voneinander klar unterscheidbare genetische Cluster bleiben, es liegt kein Hinweis auf Hybridisie-

rung vor. In den südlichen Zentralasiatischen Gebirgen hingegen liegen vorwiegend sympatrische Schwesterarten vor. Ein Ast zeigt ein Artenpaar aus den Hochgebirgen Taiwans. In diesen Gebirgen bilden die Aufsammlungen der einzelnen Arten in NeighborNet keine kohärenten Cluster, die einzelnen Herkünfte sind über ein Netzwerk verteilt und vermischt. Diese Befunde bestätigen auch die morphologischen Untersuchungen, dass diese Arten nicht so gut voneinander abgegrenzt sind. Es stellt sich die Frage, warum diese Gebirgsfloren genetisch so unterschiedlich strukturiert sind. Frühere Altersschätzungen ergaben, dass diese Gebirgsfloren in dieser Klade ein etwa gleiches Alter aufweisen. Wir vermuten daher, dass unterschiedliche ökologische Differenzierung eine Rolle spielt.

Die Habitate und Höhenstufen der Arten wurden aus Literaturangaben und Florenwerken kompiliert und in jeweils fünf grobe Kategorien unterteilt. Eine genauere Charakterisierung war vor allem für die asiatischen Arten nicht möglich. Diese Kategorien werden auf den Stammbaum projiziert (Abb. 6). Es stellte sich heraus, dass die nordamerikanischen Arten insgesamt ein größeres Spektrum an Habitaten und Höhenstufen besiedeln als die Arten der südlichen Zentralasiatischen Gebirge. Manche Arten Nordamerikas sind auf tiefere Lagen beschränkt, andere Arten können von der alpinen Stufe bis in die Waldregionen vorkommen (z.B. *R. eschscholtzii*, Abb. 7). Ein Höhen-Transsekt in den Rocky Mountains von Utah demonstriert, dass es in den lichten Nadelwäldern bzw. den sommergrünen Laubwäldern der nordamerikanischen Gebirge ausreichende Standorte für krautige Pflanzen im Unterwuchs gibt. In den tiefsten Lagen stellen die Prärien natürliche Grasländer dar, die Standorte für krautige Arten bieten. Im Himalaya hingegen, der bereits in der subtropischen Zone liegt, dürfte bereits der gemeinsame Vorfahre der rezenten Klade eine Alpenpflanze gewesen sein. Es kann von den rezenten Arten nur eine enge Rasenstufe oberhalb der Rhododendron-Gebüsche besiedelt werden (z.B. *R. pulchellus*, Abb. 8), manche Arten siedeln auch entlang der Gletscherbäche. Alle Vorkommen liegen oberhalb von c. 3.000 m ü. NHN. Die tieferen Lagen des Himalayas sind durch immergrüne subtropische Regenwälder beherrscht, die keine Standorte in tieferen Lagen ermöglichen. Problematisch für kleinere krautige Arten ist vor allem die starke Beschattung des Unterwuchses. Die Nordabdachung des Himalayas wird von der tibetischen Kältesteppe eingegrenzt, die für *Ranunculus*-Arten auch nicht günstige Standorte bietet. Über die Arten des Tibet-Plateaus ist wenig bekannt.

Die bessere Artabgrenzung in Nordamerika könnte daher durch eine besser ökologische Differenzierung der Arten mit verursacht sein. Das Gesamtspektrum der Höhenstufen zeigt, dass es Arten gibt, die alle Höhenstufen besiedeln, andererseits gibt auch die Möglichkeit der Differenzierung in Hochlagen- und Tieflagenstandorte. Im Himalaya hingegen sind die Vorkommen auf eine enge Rasenstufe beschränkt, die nach oben durch



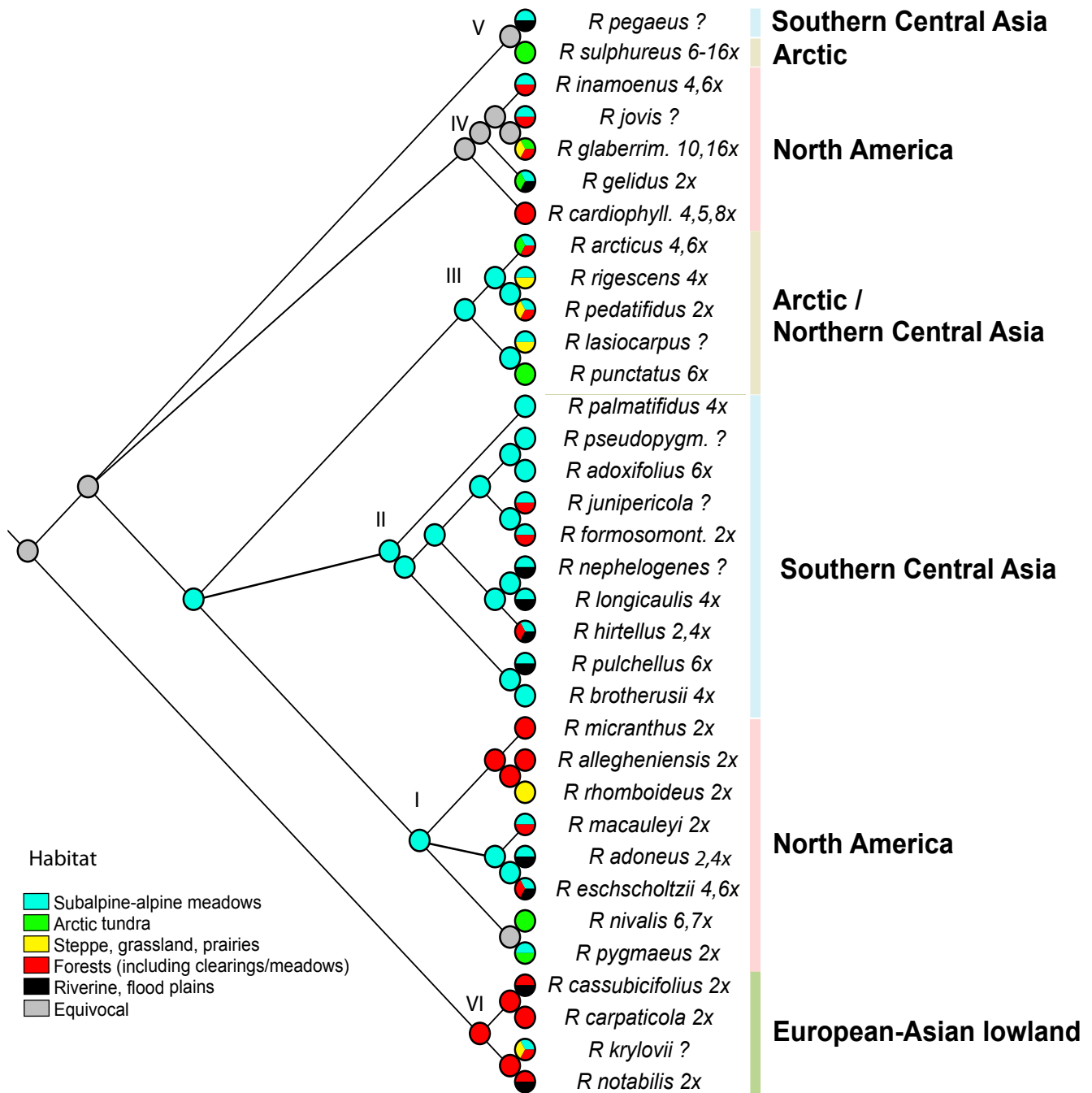


Abb. 6: Stammbaum der Klade der nordamerikanisch-zentralasiatischen Arten mit Standortsspektren (verändert nach EMADZADE et al. 2015).

die Gletscher, nach unten sehr bald durch die Waldvegetation eingeschlossen werden. Eine paarweise statistische Analyse der Standorts- und Höhenstufenkategorien bestätigt, dass sich die nordamerikanischen Arten in ihren ökologischen Ansprüchen deutlicher voneinander unterscheiden als die Arten des Himalayas und Taiwans. Die Möglichkeit zur ökologischen Differenzierung dürfte daher für die Artbildung in Gebirge eine große Bedeutung haben.

Zusammenfassend zeigt diese Studie, dass unterschiedliche Evolutionsprozesse in den nordamerikanischen und den Zentralasiatischen Gebirgen vorliegen. In Nordamerika bietet die Nord-Süd-Erstreckung der Gebirgszüge und Standorte Waldstufen in den Höhenstufen die Möglichkeit, dass sich die Arten in ihren Standortsansprüchen voneinander differenzieren können. Obwohl die ökologische Differenzierung nicht komplett ist, dürfte sie doch dazu beitragen, dass die Arten genetisch



Abb. 7: *Ranunculus eschscholtzii*, eine im westlichen Nordamerika weit verbreitete Gebirgsflanze.



Abb. 8: *Ranunculus pulchellus* aus dem Himalaya.

getrennt bleiben und kaum miteinander hybridisieren. In den südlichen Zentralasiatischen Gebirgen ist das nicht der Fall, und häufige Hybridisierung führt zu einer stärkeren genetischen Vermischung. Es zeigt sich, dass die Hochgebirge nur schwer miteinander vergleichbar sind. Die Lage der Gebirge, und die geomorphologische Situation sind entscheidend für die Evolution von Hochgebirgsfloren.

### Danksagung

Die Studie wurde von Dr. Khatere Emadzade (Univ. Wien), Mag. Markus Lebmann (Univ. Wien), Dr. Fayaz Lone (Kashmir), Dr. Matthias Hoffmann (Univ. Halle) und Dr. Natalia Tkach (Univ. Halle) durchgeführt. Weitere Kooperationspartner haben zur Erstellung des Stammbaumes beigetragen: Dr. Ovidiu Paun (Univ. Wien), Dr. Peter Lockhart (Univ. Palmerston North, Neuseeland), Dr. Carlos Lehnebach (Univ. Palmerston North, Neuseeland), Dr. Berit Gehrke (Univ. Zürich), Prof. Peter Linder (Univ. Zürich). Zahlreichen Kollegen danken wir für Materialaufsammlungen, vielen Herbarien für Entlehnungen. Finanziell wurden diese Projekte von der Österreichische Akademie der Wissenschaften, dem Österreichischen Forschungsfonds (FWF) und der National Geographic Society unterstützt.

### Literatur

EMADZADE, K., LEBMANN, M., HOFFMANN, M. H., TKACH, N., LONE, F. & HÖRANDL, E. (2015): Phylogenetic relationships and evolution of high mountain buttercups (*Ranunculus*) in North America and Central Asia. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 17: 131-141.

EMADZADE, K. & HÖRANDL, E. (2011): Northern Hemisphere origin, transoceanic dispersal, and diversification of Ranunculaceae DC. (Ranunculaceae) in the Cenozoic. *J. Biogeogr.* 38: 517-530.

HÖRANDL, E. & EMADZADE, K. (2011): The evolution and biogeography of alpine species in *Ranunculus* (Ranunculaceae) - a global comparison. *Taxon* 60: 415-426.

SCHÖNSWETTER, P., PAUN, O., TRIBSCH, A. & NIKLFELD, H. (2003): Out of the Alps: Colonisation of the Arctic by East Alpine populations of *Ranunculus glacialis* (Ranunculaceae). *Molec. Ecol.* 12: 3371-3381.

### Anschrift der Verfasserin:

Prof. Dr. Elvira Hörandl  
Abteilung für Systematik, Biodiversität und Evolution der Pflanzen (mit Herbarium)  
Georg-August-Universität Göttingen  
elvira.hoerandl@biologie.uni-goettingen.de

ANDREAS GROEGER, München

# Zur Geschichte der Berggärten in Europa

*Botanische Gärten blicken in Europa auf eine über 600jährige Geschichte zurück. Ein Phänomen des ausgehenden 19. Jahrhunderts ist die Anlage von kleinen Botanischen Gärten in Gebirgslagen. Mit dem aufkommenden Alpentourismus entstanden zahlreiche solcher Gärten, die aber aufgrund des hohen Pflegeaufwands oft auch rasch wieder verschwanden. Trotzdem sind im Alpengebiet auch heute noch über 25 dieser außergewöhnlichen botanischen Sammlungen zu finden. Betrachtet man ganz Europa und bezieht die polarnahen Gärten und die Gärten in tieferen Lagen mit ein, die ausschließlich arktisch-alpine Pflanzen präsentieren, so erhöht sich die Zahl auf über 70.*

## Alpinismus

Bis in das ausgehende 18. Jh. hinein galten Gebirge in der Regel als wilde, unerschlossene Naturräume, von denen etwas Bedrohliches ausging. Erst im Zuge der Aufklärung und ihrem Interes-

se an der Erfassung von Naturphänomenen setzte ein Wandel ein. So bezeichnete zum Beispiel Alexander von Humboldt als eine seiner größten Leistungen, dass er 1802 den damals als höchsten Gipfel der Welt geltenden Chimborazo im heutigen Ekuador beinahe bezwungen hatte. Bis weit in das 19. Jh. waren selbst die Gipfel der heimischen Alpen noch kaum erkundet. Zu den Pionieren des Alpinismus im deutschen Alpenraum zählt beispielsweise Hermann von Barth. Bei seiner Erschließung des Karwendels im Sommer 1870 bestieg er über 80 Gipfel, wobei es sich bei 12 Touren um Erstbesteigungen handelte.

## Alpentourismus und seine Folgen

Im Zeitalter der einsetzenden Industrialisierung übten die noch weitgehend unberührten Naturlandschaften der Gebirge eine zunehmende Anziehungskraft auf die Bevölkerung aus. Mit der

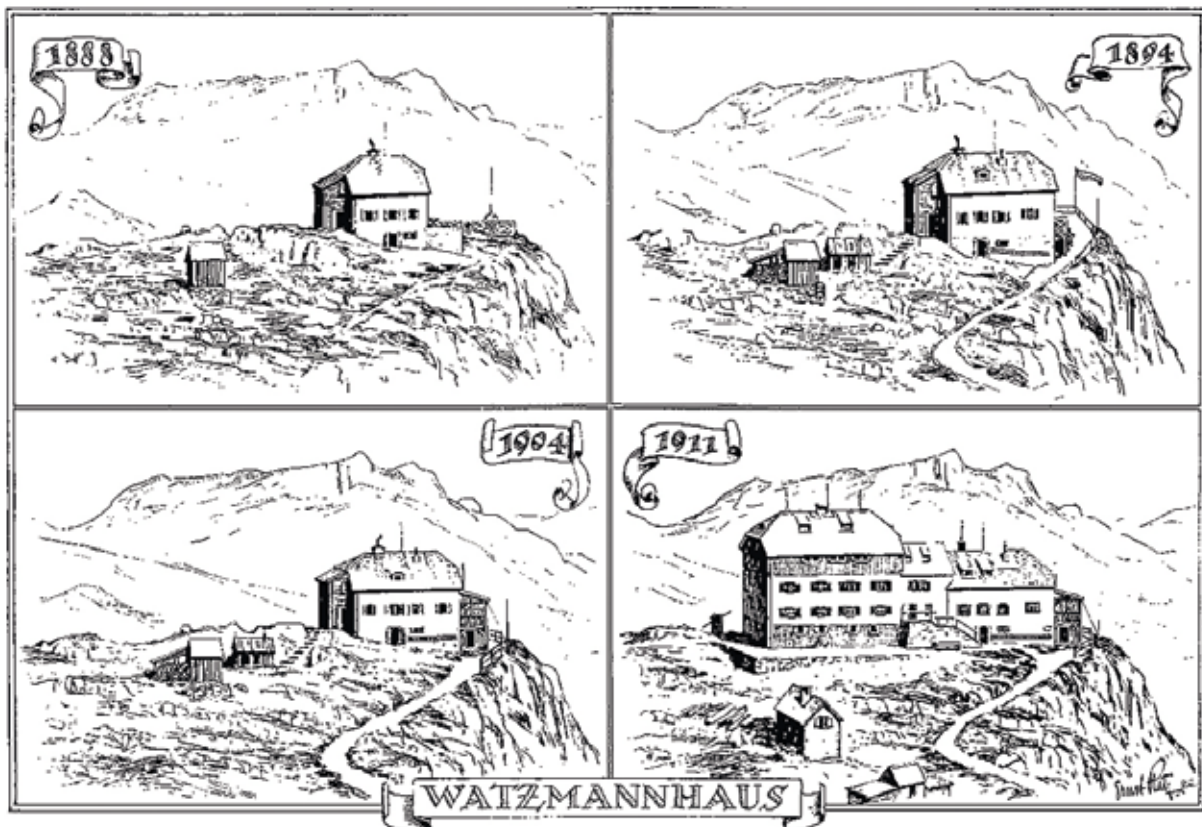


Abb. 1: Der Ausbau des Watzmannhauses (Berchtesgadener Alpen) von 1888 bis 1911 spiegelt die Zunahme des Alpentourismus in dieser Epoche wider (Bildquelle: DAV, Sektion München).

einsetzenden verkehrstechnischen Erschließung der Gebirgsregionen wurde der Alpentourismus zu einem Massenphänomen (Abb. 1). Edelweiß und Enzian wurden zu Symbolen für die wilde, ursprüngliche Bergnatur. Bundweise wurden sie zusammen mit Aurikeln, Alpenrosen und Kohlröschen den Touristen angeboten. Ein zusätzlicher Druck entstand durch das wachsende Interesse von Privatgärtnern an alpinen Pflanzen. Besonders in Großbritannien war die Anlage von Steingärten sehr in Mode gekommen. Der Klein- und Großhandel mit wildgesammelten alpinen Pflanzen nahm bedenkliche Ausmaße an. So gingen in den 1890er Jahren ganze Waggonladungen alpiner Pflanzen aus der Schweiz, aus Österreich und Bayern nach England.

Stellenweise kam es zu einem deutlichen Rückgang einzelner Alpenpflanzenarten. Erste Stimmen von Botanikern und anderen Naturfreunden rührten sich, die sich für Maßnahmen zum Schutz dieser Arten aussprachen. Natur- und Artenschutz waren zu dieser Zeit noch nicht von staatlicher Seite institutionalisiert. Die ersten entsprechenden Initiativen kamen von Botanischen Gesellschaften und von privaten Vereinen, die sich speziell den Schutz der Alpenflora zum Ziel gesetzt haben (Abb. 2). Hierzu zählen die *Ligue pour la protection des plantes alpines* in der Schweiz (Gründung 1883), die Pflanzenschutzgesellschaft *Pro Montibus et Silvis* in Oberitalien (Gründung 1899) und der *Verein zum Schutze und zur Pflege der Alpenpflanzen* (heute: *Verein zum Schutz der Bergwelt*) im deutsch-österreichischen Grenzgebiet (Gründung 1900). Die Schutzmaßnahmen beinhalteten neben der öffentlichen Aufklärung und entsprechenden Publikationen insbesondere das Einrichten von Pflanzenschonbezirken und die Gründung von Alpengärten. Die Gärten sollten der Öffentlichkeit zugänglich sein und dem Erhalt bedrohter Pflanzenarten dienen.

### Die ersten Alpengärten und ihre Gründer

Bevor diese Vereine aktiv wurden, waren es einzelne lokale Schlüsselfiguren, die die ersten Gärten in den Gebirgslagen anlegten. Hierzu zählt Anton Kerner (1831-1898), der 1860 den Lehrstuhl für Naturgeschichte an der Universität Innsbruck (später den Lehrstuhl für systematische Botanik in Wien) übernahm und am dortigen Botanischen Garten innerhalb weniger Jahre eine Alpenpflanzensammlung zusammentrug, die weit über die österreichischen Grenzen hinaus bekannt wurde. 1875 legte er einen der ersten Versuchsgärten in alpiner Höhenstufe an. Er entstand am Blaser in den Stubai Alpen (Tirol), knapp unterhalb des Gipfels in einer Höhenlage von etwa 2.100 m ü. NHN. Die Anlage diente Kerner insbesondere für blütenökologische Untersuchungen und bestand bis 1898.

Bis zum Ausbruch des Ersten Weltkriegs wurden in den Alpen etwa 25 Gärten in Höhenlagen von über 1.200 m ü. NHN gegründet. Die Mehrzahl von ihnen hatte nur kurze Zeit Bestand



Abb. 2: Mitgliedskarte des Vereins zum Schutz und zur Pflege der Alpenpflanzen.



Abb. 3: Der Alpengarten auf der Neureuth (Tegernsee), der 1900 vom Verein zum Schutz und zur Pflege der Alpenpflanzen gegründet, aber nach dem 2. Weltkrieg aufgelassen wurde.

und wurde nach wenigen Jahren wieder aufgelassen (Abb. 3). Oft waren die Anlagen zu abgelegen und zu wenig von Besuchern frequentiert. Hinzu kam, dass der finanzielle und personelle Aufwand für ihren Unterhalt häufig unterschätzt wurde. Von den etwa 25 Alpengärten dieser Epoche haben nur sieben bis zum heutigen Tag überdauert.

Der älteste heute noch existierende Alpengarten ist La Linnaea bei Bourg-St.-Pierre (Wallis, 1.690 m ü. NHN), dessen Gründung im Jahre 1889 auf Henry Correvon (1854-1939) zurückgeht. Correvon war in der *Ligue pour la protection des plantes alpines*, einem Vorläufer des Schweizerischen Bundes für Naturschutz, aktiv. In Rahmen dieser Tätigkeit war er auch an der Entstehung einer Vielzahl weiterer Alpengärten beteiligt, wovon La Rambertia (Gründung 1897, Abb. 4) und La Chamousia (Gründung 1898, Abb. 5) bis heute existieren.

Auf französischer Seite übernahm Jean-Paul Lachmann (1851-1908, Universität Grenoble) eine ähnliche Rolle. Durch seine Initiative entstanden drei Alpengärten (Chamrousse, Lautaret,



Abb. 4: Blick vom Jardin Alpin ‚La Rambertia‘ in die Waadtländer Voralpen.



Abb. 5: Jardin Botanique Alpin ‚Chanousia‘ am Kleinen St. Bernhard.

Villard d'Arène), wovon der Jardin Botanique Alpin du Lautaret (Gründung 1896) heute als der bedeutendsten im Alpengebiet bezeichnet werden muss. Richard von Wettstein (1836-1931, Universität Wien) und Karl von Goebel (1855-1932, Universität München) stellten die zentralen Figuren im deutsch-österreichischen Alpengebiet dar und veranlassten die Anlage der Alpengärten an der Bremerhütte, der Raxalpe, dem Rax-Habsburghaus und auf dem Schachen. Von diesen Gründungen überdauerte nur der Alpengarten auf dem Schachen (Gründung 1901, Abb. 6, 7, 8) im bayerischen Wettersteingebirge.

#### Unterschiede zwischen Tiefland und Gebirgslage

In ganz Europa finden sich heute 44 Alpengärten in hochmontaner bis alpiner Höhenstufe, vom Harz und den Vogesen bis zum Ätna und der Sierra Nevada. Vergleicht man diese Gärten mit Botanischen Gärten in den Tieflagen, so zeigen sich folgende wesentlichen Unterschiede. Bei Alpengärten handelt es sich meist um kleine Anlagen. Die meisten sind unter 1 ha groß und weisen einen Bestand von weniger als 1.000 Pflanzenarten auf. Sie liegen in der Regel weit entfernt von größeren Siedlungen

und ihre Öffnungszeiten beschränken sich wegen der kurzen Vegetationszeit meist auf drei Monate. Dementsprechend können sich die Besucherzahlen nie mit denen der meisten Tieflandgärten messen. Die Träger der Alpengärten sind vielfältig, von Naturschutzverbänden, privaten Vereinen, Seilbahn- und Hotelbetreibern, über Fremdenverkehrsorganisationen, Nationalparkverwaltungen und Kommunen, bis hin zu Universitäten und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen. Dementsprechend unterschiedlich sind die Professionalität der gärtnerischen Pflege und die Aufarbeitung der botanischen Informationen in diesen Spezialsammlungen.

Als dauerhafte Einrichtungen haben sich insbesondere diejenigen Alpengärten erwiesen, die von Anfang an in enger Verbindung mit Forschungseinrichtungen (Universitäten, Botanische Gärten) aufgebaut wurden. In solchen Alpengärten können dauerhaft angestellte Mitarbeiter ihre Kenntnisse und Fähigkeiten kontinuierlich erweitern. Der traditionelle Austausch von Pflanzenmaterial zwischen Botanischen Gärten erleichtert den Zugang zu neuem Material, der in solchen Lebendsammlungen ständig erforderlich ist. Dass dies auch schon vor mehr als 100 Jahren der Fall war, ist beispielsweise für den Alpengarten auf dem Schachen dokumen-



Abb. 6: Der Alpengarten auf dem Schachen (Wettersteingebirge) im Gründungsjahr 1901.



Abb. 7: Der Alpengarten auf dem Schachen im Jahr 2013.



Abb. 8: Der Alpengarten auf dem Schachen profitiert von der unmittelbaren Nähe des Königshauses auf dem Schachen (im Bild links), das viele Touristen in das Gebiet lockt.

tiert. Sein Pflanzenbestand wurde in den Gründungsjahren, um 1901, vor allem durch Pflanzen- und Samentausch mit den Botanischen Gärten Tiflis, Tartu, Wien, Innsbruck, Lausanne, Grenoble und zahlreichen weiteren Institutionen, wie der Schweizer Samenuntersuchungsanstalt in Zürich, aufgebaut.

### Vernetzung

Schon früh standen die einzelnen Alpengärten in regem Kontakt miteinander. Henry Correvon war die treibende Kraft für die ersten beiden internationalen Alpengärtenkongresse, 1904 im Jardin Alpin *La Rambertia* und 1906 im Jardin Alpin *La Thomasia*. Nach hundertjähriger Pause konnte diese Tradition wieder aufgenommen werden. 2006 fand der erste *International Congress of Alpine and Arctic Botanic Gardens* (AABG 1) in Lautaret (Abb. 9) statt, gefolgt von AABG 2 im Jahr 2009 in München und AABG 3 im Jahr 2012 in Viotte.

### Auftrag der Alpengärten

Betrachtet man die Gesamtheit der Alpengärten, so sind deutliche Unterschiede in der Organisation und in der Zusammensetzung und Darstellung der Pflanzenbestände offensichtlich.



Abb. 9: *International Congress of Alpine and Arctic Botanic Gardens* (AABG 1) in Lautaret im Jahr 2006.

Allein die Unterschiede im Makro- und Mikroklima sowie dem geologischen Untergrund bedingen die Kultur von sehr verschiedenen Pflanzensippen. Abgesehen davon nehmen die einzelnen Alpengärten immer Bezug auf die jeweilige Lokalfloora und setzen sich unterschiedliche Sammlungsschwerpunkte. Eine

gemeinsame Zielsetzung verbindet aber alle Alpengärten: der Besucher soll für die Vielfalt und Schönheit der alpinen Flora begeistert und ein tieferes Verständnis für die einzigartigen Lebensräume der Gebirge aufgebaut werden.

Wie ein Zitat von Karl von GOEBEL (1901) zur Gründung des Alpengartens auf dem Schachen zeigt, hat sich dieser Auftrag in den letzten 100 Jahren kaum verändert: „Denn von vornherein schien es mir notwendig, die Aufgabe des Alpengartens nicht als rein wissenschaftliche zu fassen. Es sollten dort nicht nur Beobachtungen über die Lebensverhältnisse und Lebensbedingungen der Alpenpflanzen angestellt werden, sondern der Alpengarten sollte allen Naturfreunden Gelegenheit bieten, die herrliche Pflanzenwelt der Alpen ... auf einem Punkte gesammelt zu sehen und zu genießen und außerdem sich rasch eine Kenntnis der wichtigsten Pflanzen der Alpen zu erwerben.“

Tab. 1: Historische Übersicht über die Botanischen Gärten in den Alpen in Höhenlagen von mehr als 1.200 m ü. NHN, die in der Zeit zwischen 1865 und 1915 gegründet wurden (fett: bis heute existierende Gärten; A: Österreich, CH: Schweiz, D: Deutschland, F: Frankreich, I: Italien). Sind zwei Jahreszahlen angegeben, so wurde der Garten verlegt oder nach einer Stilllegungsphase später wiedereröffnet. Zur historischen Einordnung ist der Brockengarten hinzugefügt.

| Gründung    | Alpengarten               | Land      | Höhenlage ü. NHN |
|-------------|---------------------------|-----------|------------------|
| 1865/1869   | Col de Tricot             | F         | 2.400 m          |
| 1875        | Blaser                    | A         | 2.085 m, 2.095 m |
| 1884        | Wendelstein               | D         | 1.800 m          |
| 1885        | Weisshorn                 | CH        | 2.300 m          |
| 1887        | Jardin de la Maurithienne | CH        | 1.620 m, 2.470 m |
| 1888/1889   | <b>La Linnaea</b>         | <b>CH</b> | <b>1.690 m</b>   |
| 1890/1891   | <b>La Thomasia</b>        | <b>CH</b> | <b>1.258 m</b>   |
| (1890/1990) | Brocken                   | D         | 1.140 m)         |
| 1892        | Champrousse               | F         | 1.850 m          |
| 1896/1919   | Lautaret                  | F         | 2.075 m          |
| 1896        | <b>La Rambertia</b>       | <b>CH</b> | <b>2.045 m</b>   |
| 1897/1978   | Chanousia                 | I         | 2.200 m          |
| 1898        | Davos                     | CH        | 1.560 m          |
| 1898        | Chasseral                 | CH        | 1.609 m          |
| 1899        | Villard-d'Arène           | F         | 1.670 m          |
| 1899        | Pic du Midi               | F         | 2.850 m          |
| 1900        | Brennerhütte              | A         | 2.390 m          |
| 1900        | Neureuth                  | D         | 1.260 m          |
| 1901        | <b>Schachen</b>           | <b>D</b>  | <b>1.860 m</b>   |
| 1902        | La Presolana              | I         | 1.350 m          |
| 1902        | Aigoual                   | F         | 1.300-1.567 m    |
| 1903        | Gussonea                  | I         | 1.450 m          |
| 1903        | Arolla                    | CH        | 1.962 m          |
| 1903        | Hohneck                   | F         | 1.240 m          |
| 1903        | Rax-Habsburghaus          | A         | 1.785 m          |
| 1905        | Hasentälchen              | CH        | 1.560 m          |
| 1907/1986   | <b>Lindauer Hütte</b>     | <b>A</b>  | <b>1.765 m</b>   |

Tab. 2: Zusammenstellung der arktisch-alpinen Botanischen Gärten in Europa: Die Übersicht zeigt Gärten in Gebirgslagen (>1.200 m ü. NHN) oder nahe des Polarkreises (>64° N); außerdem auch Botanische Gärten in tieferen Lagen, deren Bestand ausschließlich arktisch-alpin ausgerichtet ist.

## Deutschland

### Alpengarten auf dem Schachen

Wettersteingebirge (Bayern); 1.850 m ü. NHN

Kontakt: Botanischer Garten München-Nymphenburg, Menzinger Str. 61, 80638 München

Tel. +49-89-17861-310, -320; Fax +49-89-17861-340

E-mail: info@botmuc.de

[http://www.botmuc.de/de/garten/schachen\\_alpengarten.html](http://www.botmuc.de/de/garten/schachen_alpengarten.html)

### Brockengarten

Nationalpark Harz (Sachsen-Anhalt); 1.130 m ü. NHN

Kontakt: Nationalpark Harz, Lindenallee 35, 38855 Wernigerode

Tel. +49-3943-550220 or +49-170-5709015

<http://www.nationalpark-harz.de/de/naturerleben/brockengarten>

### Rennsteiggarten Botanischer Garten für Gebirgsflora

Thüringer Wald (Thüringen); 870 m ü. NHN

Kontakt: Rennsteiggarten, P.O. Box 12-18, 98557 Oberhof

Tel. +49-36842-22245; Fax +49-36842-20753

E-mail: info@rennsteiggartenoberhof.de

<http://www.rennsteiggartenoberhof.de>

### Arktisch-Alpiner-Garten der Walter-Meusel-Stiftung

Chemnitz (Sachsen); 350 m ü. NHN

Kontakt: Walter-Meusel-Stiftung, Schmidt-Rottluff-Str. 90, 09114 Chemnitz

Tel. +49-371-426895

E-mail: jessen.walter-meusel-stiftung@gmx.de

### Botanischer Garten Adorf

Vogtland (Sachsen); 430 m ü. NHN

Kontakt: Botanischer Garten Adorf, Freiburger Tor, 08626 Adorf

Tel. 0049-37423-48060; Fax 0049-37423-78776

E-mail: museum-adorf@freenet.de

<http://www.botanischer-garten-adorf.de>

## Finnland

### Oulu Botanic Gardens

Bottnischer Meerbusen; 15 m ü. NHN (65°04'N)

Kontakt: Oulu Botanic Gardens, P.O. Box 3000, University of Oulu, 90014

Oulo

Tel. +358-8-5531570; Fax +358-8-5531584

E-mail: bot.garden@oulu.fi

<http://www.oulu.fi/botgarden>

**Frankreich****Jardin d'Altitude du Haut Chitelet**

Col de la Schlucht (Vogesen); 1.210 - 1.230 m ü. NHN

Kontakt: Jardin d'Altitude du Haut Chitelet c/o Conservatoire et Jardins Botaniques de Nancy, 100 rue du Jardin Botanique, 54600 Villers-les-Nancy

Tel. +33-329-633146; Fax +33-383-278659

E-mail: [accueilcjbnc@grand-nancy.org](mailto:accueilcjbnc@grand-nancy.org)

<http://www.cjbn.uhp-nancy.fr>

**Jardin Botanique Alpin „Chanousia“**

Col du Petit Saint-Bernard (Savoie); 2.170 m ü. NHN

Kontakt: Associazione Internazionale Chanousia, Colle del Piccolo San Bernardo, 11016 La Thuile (AO)

Tel. +33-479074332 oder +39-3382714269

E-mail: [info@chanousia.org](mailto:info@chanousia.org)

<http://www.chanousia.org>

**Jardin Botanique Alpin de „La Jaysinia“**

Samoëns (Haute Savoie); 700 - 780 m ü. NHN

Kontakt: Jardin Botanique Alpin de La Jaysinia, 74340 Samoëns

Tel. +33-450-344986

E-mail: [jardin.botanique.jaysinia@orange.fr](mailto:jardin.botanique.jaysinia@orange.fr)

**Jardin Botanique Alpin du Lautaret**

Col de Lautaret (Hautes Alpes); 2.100 m ü. NHN

Kontakt: In summer: Jardin Alpin du Lautaret, Col de Lautaret, 05480 Villar d'Arène.

In winter: Station Alpin du Lautaret, Université J. Fourier, B.P. 53, 38041 Grenoble Cedex 9

Tel. +33-492-244162; Fax +33-492-244521

E-mail: [station-alpine@ujf-grenoble.fr](mailto:station-alpine@ujf-grenoble.fr)

<http://www.ujf-grenoble.fr/JAL>

**Jardin Botanique du Tourmalet**

Barèges (Midi-Pyrénées); 1.500 m ü. NHN

Kontakt: c/o Serge Rieudebat, rue Franklin 13, 65380 Ossun

Tel. +33-562921806 or +33-562420985; Fax +33-562328095

E-mail: [jardin.tourmalet@wanadoo.fr](mailto:jardin.tourmalet@wanadoo.fr)

<http://ccluchon.free.fr/jardin-tourmalet/tourmalet.htm>

**Georgien****Bakuriani Alpine Botanical Garden**

Bakuriani (Kleiner Kaukasus); 1.650 m ü. NHN

Kontakt: c/o Tblisi Central Botanical Garden, Botanikuri St. 1, 380005 Tblisi

**Island****Reykjavik Botanic Garden**

Reykjavik; 14 m ü. NHN (64°08'N)

Kontakt: Reykjavik Botanic Garden, Laugardalur, 104 Reykjavik

Tel: +354-411-8650; Fax +354-411-8659

E-mail: [botgard@reykjavik.is](mailto:botgard@reykjavik.is)

<http://grasagardur.is>

**Akureyri Botanic Gardens**

Akureyri; 50 m ü. NHN (65°41'N)

Kontakt: Akureyri Botanic Garden, P.O. Box 95, 602 Akureyri

E-mail: [lystigardur@akureyri.is](mailto:lystigardur@akureyri.is)

<http://www.lystigardur.akureyri.is>

**Italien****Giardino Botanico Alpino „Viotte“**

Monte Bondone (Trentino); 1.540 m ü. NHN

Kontakt: c/o Museo Tridentino di Scienze Naturali, c. p. 393, 38100 Trento

Tel. +39-0461-948050; Fax +39-0461-233830

E-mail: [info@mtsn.tn.it](mailto:info@mtsn.tn.it)

[http://www2.muse.it/rete/giardino\\_botanico.asp](http://www2.muse.it/rete/giardino_botanico.asp)

**Giardino Botanico delle Alpi Orientali**

Monte Faverghera (Veneto); 1.500 - 1.600 m ü. NHN

Kontakt: c/o Corpo Forestale dello Stato, Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Belluno, Via Gregorio XVI n°8, 32100 Belluno

Tel. +39-0437-944830; Fax +39-0437-25084

E-mail: [utb.belluno@corpoforestale.it](mailto:utb.belluno@corpoforestale.it)

<http://adorable.belluno.it/belluno/nevegal/giardino-botanico-nevegal/>

**Giardino Botanico Alpino San Marco**

Pian delle Fugazze (Veneto); 1.150 m ü. NHN

Kontakt: Giardino Botanico Alpino San Marco, Via Ruspoli 8, P.O. Box 350, 36100 Vicenza

Tel. +39-0444-505982

E-mail: [info@cmleograticmonchio.it](mailto:info@cmleograticmonchio.it)

[http://www.cmleograticmonchio.it/a\\_3856\\_IT\\_18742\\_1.html](http://www.cmleograticmonchio.it/a_3856_IT_18742_1.html)

**Giardino Botanico Alpino Monte Corno**

Monte Corno (Veneto); 1.350 m ü. NHN

Kontakt: Comune di Lusiana, Piazza IV Novembre, 36046 Lusiana (VI)

Tel. +39-0424-406009; Fax +39-0424-407349

E-mail: [comune@comune.lusiana.vi.it](mailto:comune@comune.lusiana.vi.it)

<http://www.museodilusiana.it>

**Giardino Botanico Alpino „Rezia“**

Bormio (Lombardia); 1.350 - 1.420 m ü. NHN

Kontakt: Giardino Botanico Alpino Rezia, Via G. Sertorelli, 23032 Bormio (SO)

Tel. +39-0342-927370; Fax +39-0342-927370

E-mail: [giardino.rezia@stelviopark.it](mailto:giardino.rezia@stelviopark.it)

<http://www.ortobotanicoitalia.it/lombardia/rezia>



**Orto Botanico del Monte Baldo**

Monte Baldo (Veneto); 1.230 m ü. NHN  
 Kontakt: Orto Botanico del Monte Baldo, Loc. Novezzina, Via General  
 Graziani 10, 37020 Ferrara di Monte Baldo, Verona (VR)  
 Tel. +39-045-6247288  
<http://www.ortobotanicomontebaldo.org>

**Giardino Botanico Alpino „Antonio Segni“**

Monte Civetta (Veneto); 1.714 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Club Alpino Italiano, Sezione di Conegliano, Via Rossini  
 Gioacchino 2, 31015 Conegliano (TV)  
 Tel. +39-0438-24041; Fax +39-0438-24041  
 E-mail: [posta@caiconegliano.it](mailto:posta@caiconegliano.it)  
<http://www.caiconegliano.it/giardino-botanico>

**Giardino Botanico Alpino „Giangio Lorenzoni“**

Pian de Cansiglio (Veneto); 1.000 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Veneto Agricoltura, Centro Forestale di Pian Cansiglio, 32010  
 Spert D'Alpago (BL)  
 Tel. +39-0438-581757  
 E-mail: [educazione.naturalistica@venetoagricoltura.org](mailto:educazione.naturalistica@venetoagricoltura.org)

**Giardino Botanico Prealpino „Ruggero Tomaselli“**

Cima Campo dei Fiori (Lombardia); 1.225 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Società Astronomica Schiaparelli, Via A.del Sarto 3, 21100 Varese  
 Tel. +39-0332-235491; Fax +39-0332-237243  
 E-mail: [astrogeo@astrogeo.va.it](mailto:astrogeo@astrogeo.va.it)  
<http://wikibotanica.astrogeo.va.it/Giardino>

**Giardino Botanico Alpino „Paradisìa“**

Nationalpark Gran Paradiso (Aosta); 1.700 m ü. NHN  
 Kontakt: Giardino Botanico Alpino Paradisia, Fraz. Valnontey 44, 11012  
 Cogne (AO)  
 Tel. +39-0165-74147  
<http://www.pngp.it/visita-il-parco/giardino-botanico-alpino-paradisìa>

**Giardino Botanico Alpino „Saussurea“**

Courmayeur (Aosta); 2.180 m ü. NHN  
 Kontakt: Giardino Botanico di Saussurea, Fondazione Saussurea  
 O.N.L.U.S., Loc. Pavillon du Mont Fréty, 11013 Courmayeur (AO)  
 Tel. +39-3334462959  
 E-mail: [info@saussurea.net](mailto:info@saussurea.net)  
<http://www.saussurea.net>

**Giardino di Castel Savoia**

Gressoney Saint-Jean (Aosta); 1.350 m ü. NHN  
 Kontakt: Castel Savoia, 11025 Gressoney-St. Jean  
 Tel. +39-0125355396

**Giardino Botanico Alpino „Bruno Peyronel“**

Colle Barant (Piemonte); 2.290 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Civico Museo di Scienze Naturali, Piazza Vittorio Veneto 8,  
 10064 Pinerolo  
 Tel. +39-0334-9072993  
<http://www.giardinopeyronel.it>

**Giardino Botanico Alpino Valderia**

Terme di Valdieri (Piemonte); 1.370 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Parco Naturali delle Alpi Marittime, Piazza Regina Elena 30,  
 12010 Valdieri (CN)  
 Tel. +39-0171-97397 or +39-0171-97208; Fax +39-0171-97542  
 E-mail: [info@parcoalpinarittime.it](mailto:info@parcoalpinarittime.it)  
<http://www.parcoalpinarittime.it>

**Giardino Botanico Montano „Nostra Signora di Oropa“**

Santuario de Oropa (Piemonte); 1.200 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Santuario di Oropa, Via Santuario di Oropa 480, 13900 Oropa (BI)  
 Tel. +39-015-25551200; Fax +39-015-25551219  
 E-mail: [info@santuariodioropa.it](mailto:info@santuariodioropa.it)  
<http://www.santuariodioropa.it/db/it/natura-e-sport/giardino-botanico>

**Giardino Botanico „Alpinia“**

Monte Mottarone (Piemonte); 800 m ü. NHN  
 Kontakt: Giardino Botanico Alpinia, Piazzale Lido 8, 28838 Stresa (VB)  
 Tel. +39-0323-30295  
 E-mail: [info@giardinoalpinia.it](mailto:info@giardinoalpinia.it)  
<http://www.gignese.it/giardinoalpinia>

**Giardino Botanico Alpino „Fum Bitz“**

Parco Val Sesia (Piemonte); 1.608 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Parco Naturale Alta Valsesia, Corso Roma 35, 13019 Varallo (VC)  
 Tel. +39-0163-54680; Fax +39-0163-54680  
 E-mail: [info@areeprotettevallesesia.it](mailto:info@areeprotettevallesesia.it)  
<http://www.parks.it/parco.alta.valsesia>

**Giardino Botanico Alpino di Pietra Corva**

Romagnese (Lombardia); 930 m ü. NHN  
 Kontakt: Giardino Botanico Alpino di Pietra Corva, via Taramelli 2, 27100  
 Pavia  
 Tel. +39-0382-597865; Fax +39-382-597888  
 E-mail: [emanuela.piaggi@provincia.pv.it](mailto:emanuela.piaggi@provincia.pv.it)

**Giardino Botanico Alpino Esperia**

Monte Cimone (Emilia Romagna); 1.500 m ü. NHN  
 Kontakt: c/o Club Alpino Italiano Sezione di Modena, via IV Novembre  
 40/c, 41100 Modena (MO)  
 Tel. +39-059826914; Fax +39-059826978  
<http://www.cai.mo.it/esperia.php>

**Orto Botanico delle Alpi Apuane „Pietro Pellegrini“**

Pian della Fioba (Toscana); 900 m ü. NHN

Kontakt: c/o Comune di Massa, via Porta Fabbrica 1, 54100 Massa

Tel. +39-0585-490349 or +39-0585-240063

E-mail: ortobotanico@parcapuane.it

http://www.parcapuane.toscana.it/orto

**Orto Botanico „Pania di Corfino“**

Piè Magnano (Toscana); 1.370 m ü. NHN

Kontakt: c/o Comunità Montana della Garfagnana, via Vittorio Emanuele 7,

55032 Castelnuovo Garfagnana (LU)

Tel. +39-0583-644930; Fax +39-0583-644901

**Giardino Botanico Alpino di Campo Imperatore**

Gran Sasso (Abruzzo); 2.110 m ü. NHN

Kontakt: Giardino Alpino Gran Sasso, Università degli Studi dell'Aquila, via

Vetoio, Coppito, 67100 L'Aquila

Tel. +39-0340-6681009

http://www.giardinocampoimperatore.it

**Giardino Botanico Appenninico di Campo Felice**

Lucoli (Abruzzo); 1.550 m ü. NHN

Kontakt: E-mail: giardinobotanicof@tiscali.it

http://www.lucoli.it/floradilucoli/Giardino\_Botanico.html

**Giardino della Flora Appenninica di Capracotta**

Capracotta (Molise); 1.550 m ü. NHN

Kontakt: Giardino della Flora Appenninica, Contrada Santa Lucia; I-86082

Capracotta (IS)

Tel. +39-0865-949210; Fax +39-0865-945305

E-mail: giardinocapracotta@unimol.it

http://www.giardinocapracotta.unimol.it

**Giardino Botanico „Nuova Gussonea“**

Monte Etna (Sicilia); 1.700 m ü. NHN

Kontakt: c/o Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali,

Università di Catania, Via A. Longo 19, 95125 Catania

Tel. +39-3493592521 or +39-3480439716; Fax +39-095-338695

E-mail: epolimar@unict.it; 30simo\_nuovagussonea@libero.it

http://digilander.libero.it/trentesimo\_NGussonea

**Norwegen****Ljosland Alpine Garden**

Åseral (Vest-Agder); 700 - 750 m ü. NHN

Kontakt: Agder Botanical Garden, P.O. Box 1887, Gimlemoen, 4686 Kristiansand

Tel. +47-38092388; Fax +47-38092378

E-mail: torill.gjelsvik@kristiansand.kommune.no

http://www.naturmuseum.no

**Kongsvoll Alpine Garden**

Oppdal (Dovre-fjell); 890 m ü. NHN

Kontakt: Kongsvoll Biological Station, 7340 Oppdal

Tel. +47-72404347; Fax +47-73592249

E-mail: Kongsvoll.biologisk@vm.ntnu.no

https://www.ntnu.edu/museum/kongsvoll-alpine-garden

**Tromsø Arctic-Alpine Botanic Garden**

Tromsø (Troms); 69°39'N

Kontakt: Tromsø Arctic-Alpine Botanic Garden, University of Tromsø,

9037 Tromsø

Tel. +47-77645000

E-mail: arve.elvebakk@tmu.uit.no

http://uit.no/botanisk

**Svanhovd Botanical Garden**

Svanhovd (Finnmark); 69°27' N

Kontakt: Øvre Pasvik National Park Visitor Centre, Bioforsk Svanhovd,

NO-9925 Svanvik

Tel. +47-464-13600; Fax +47-78995600

E-mail: svanhovd@bioforsk.no

**Russland****Arctic Alpine Garden Kirovsk**

Kirovsk (Kola Halbinsel); 67°37' N

Kontakt: Arctic Alpine Garden, Kirovsk, Murmanskaja Region, 184230

Kirovsk 6

Tel. +7-8153-51436; Fax +7-81555-79132

E-mail: pabgi@aprec.ru

**Österreich****Alpengarten am Patscherkofel**

near Innsbruck (Tirol); 2.000 m ü. NHN

Kontakt: c/o Institut für Botanik, Sternwartestraße 15, 6020 Innsbruck

Tel. +43-512-5075910; Fax +43-512-5072715

E-mail: Peter.Schlörhauser@uibk.ac.at

http://www.uibk.ac.at/bot-garden/alpen/dindex.html

**Alpenpflanzgarten Vorderkaiserfelden**

Zahmer Kaiser near Kufstein (Tirol); 1.390 m ü. NHN

Kontakt: c/o Verein zum Schutz der Bergwelt e. V. München, Praterinsel 5,

80538 München, Germany

Tel. +43-8025-999575; Fax +43-8025-4571

**Alpenblumengarten am Hahnenkamm**

Höfen bei Reutte (Tirol); 1.700 - 1.800 m ü. NHN

Kontakt: c/o Bergwacht Reutte (Tirol)

http://www.alpenblumengarten.com

**Alpenpflanzengarten im Oberen Raintal**

Tannheimer Berge (Tirol); 1.500 m ü. NHN

Kontakt: c/o Sektion Augsburg des Deutschen Alpenvereins,  
Peutingenstr. 24, 86152 Augsburg, DeutschlandTel. +49-821-516780; Fax +49-821-151545, (lodge telephone:  
+43/5677/8457)E-mail: [sektion@alpenverein-augsburg.de](mailto:sektion@alpenverein-augsburg.de)<https://www.dav-augsburg.de/alpengarten>**Alpenblumengarten am Kitzbüheler Horn**

Kitzbüchel (Tirol); 1.880 m ü. NHN

Kontakt: c/o Bergbahn Kitzbühel, Hahnenkammstr. 1a, 6370 Kitzbühel

Tel. +43-5356-62857; Fax +43-5356-6285733

E-mail: [kitzbuehel@aon.at](mailto:kitzbuehel@aon.at)<http://www.kitzbueheler-horn.com/alpenblumengarten.htm>**Alpengarten der Sektion Lindau des DAV bei der Lindauer Hütte**

Montafon (Vorarlberg); 1.740 m ü. NHN

Kontakt: c/o Sektion Lindau des Deutschen Alpenvereins, Holdereggenstr.  
19, 88131 Lindau, Deutschland

Tel. +43-8382-24238; Fax +43-8382-942038

E-mail: [info@alpenverein-lindau.de](mailto:info@alpenverein-lindau.de)<http://alpenverein-lindau.de/huetten/lindauer-huette/alpengarten>**Alpengarten auf dem Freschen**

near Laterns (Vorarlberg); 1.850 m ü. NHN

Kontakt: c/o Gemeindeamt Laterns, Post Rankweil/Vorarlberg,  
6830 Laterns

Tel. +43-5526-2120

**Alpengarten unterhalb dem Ottohaus**

Rax (Niederösterreich); 1.600 m ü. NHN

Kontakt: c/o Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abt. für  
Kultur und Wissenschaft, Landhausplatz 1 3109 St. Pölten

Tel. +43-2666-52402 (Ottohaus)

<http://www.raxalpe.com/de/der-alpengarten-rax>**Alpengarten im Oberen Belvedere**

Wien

Kontakt: Alpengarten im Oberen Belvedere, Prinz-Eugen-Str. 27, 1040 Wien

Tel. and Fax: +43-1-7983149

**Alpengarten Rannach**

near Graz (Steiermark); 590 - 650 m ü. NHN

Kontakt: Alpengarten Rannach, Rannach 15, 8046 Graz-St. Veit

Tel. +43-316-693031

<http://www.alpengartenrannach.at>**Alpengarten Bad Aussee**

Bad Aussee (Steiermark); 800 m ü. NHN

Kontakt: Naturerlebniszentrum Alpengarten Bad Aussee, Ischlbergstr. 67,  
8990 Bad Aussee

Tel. +43-3622-5251114 or +43-664-2526465; Fax +43-3622-5251127

<http://www.neza.at>**Alpengarten Villacher Alpe**

near Villach (Kärnten); 1.500 m ü. NHN

Kontakt: Alpengarten Villacher Alpe, 8500 Villach

or: Verein Alpengarten Villacher Alpe, Klagenfurterstr. 66, 8500 Villach

Tel. +43-664-9142953

<http://www.alpengarten-villach.at>**Schweiz****Juragarten Weissenstein**

Weissenstein (Solothurn); 1.280 m ü. NHN

Kontakt: Schweizer Alpen-Club, Sektion Weissenstein, 4500 Solothurn

<http://www.sac-weissenstein.ch>**Botanischer Alpengarten Schynige Platte**

near Interlaken (Bern); 1.950 - 2.000 m ü. NHN

Kontakt: Alpengarten, 3801 Schynige Platte / Interlaken

Tel. +41-33-8287376

E-mail: [info@alpengarten.ch](mailto:info@alpengarten.ch)<http://www.alpengarten.ch>**Alpengarten Höreli**

Adelboden (Bern); 1.500 m ü. NHN

Kontakt: Adelboden Tourismus, Dorfstrasse 23, 3715 Adelboden

Tel. +41-336738080; Fax +41-336738092

E-mail: [info@adelboden.ch](mailto:info@adelboden.ch)**Alpinum Schatzalp**

near Davos (Graubünden); 1.870 m ü. NHN

Kontakt: Alpinum Schatzalp, Berghotel Schatzalp, 7270 Schatzalp

Tel. +41-81-4155151; Fax +41-81-4155252

E-mail: [info@schatzalp.ch](mailto:info@schatzalp.ch)<http://www.schatzalp.ch>**Jardin Alpin „La Linnaea“**

Bourg-Saint-Pierre (Wallis); 1.690 m ü. NHN

Kontakt: c/o Société Académique de Genève, Case Postale 234, 1211

Genève 4

E-mail: [info@sacad.ch](mailto:info@sacad.ch)<http://www.sacad.ch/linnaea>

**Jardin Botanique Alpin „Flore-Alpe“**

Champex (Wallis); 1.500 m ü. NHN

Kontakt: Jardin Botanique Alpin Flore-Alpe, Fondation Jean-Marcel Aubert,  
1938 ChampexE-mail: [fondation.aubert@bluewin.ch](mailto:fondation.aubert@bluewin.ch)<http://www.flore-alpe.ch>**Alpengarten Aletsch**

Riederfurka (Wallis); 2.080 m ü. NHN

Kontakt: Pro Natura Zentrum Aletsch, Villa Cassel, 3987 Riederalp

Tel. +41-27-9286220; Fax +41-27-9286223

E-mail: [aletsch@pronatura.ch](mailto:aletsch@pronatura.ch)<http://www.pronatura.ch/aletsch/de/angebote/alpengarten.html>**Jardin Alpin „La Thomasia“**

Pont de Nant (Vaud); 1.270 m ü. NHN

Kontakt: Fondation pour le Jardin Alpin de Pont de Nant “La Thomasia”,

1888 Les Plans-sur-Bex

Tel. +41-24-4981332

E-mail: [jardinpontdenant@hotmail.com](mailto:jardinpontdenant@hotmail.com)<http://www.musees.vd.ch/musee-et-jardins-botaniques/jardin-de-pont-de-nant>**Jardin Alpin „La Rambertia“**

Rochers de Naye (Vaud); 1.980 m ü. NHN

Kontakt: Jardin Alpin La Rambertia, Case postale 1426, 1820 Montreux 1

Tel. +41-21-9898181; Fax +41-21-9898100

<http://rambertia.ch>**Alpengarten Hoher Kasten**

Brülisau (Appenzell); 1.790 m ü. NHN

Kontakt: Luftseilbahn Brülisau-Hoher Kasten AG, 9058 Brülisau (AI)

Tel. +41-71-7991322; Fax +41-71-7991466

E-mail: [alpengarten@hoherkasten.ch](mailto:alpengarten@hoherkasten.ch)<http://www.hoherkasten.ch/gipfel-erlebnis/alpengarten.html>**Schweden****Jokkmokk Alpine Garden**

Jokkmokk (Norrbottens); 66°36' N

Kontakt: Jokkmokk Alpine Garden, Talvatis, 96223 Jokkmokk

Tel. +46-971-10100

E-mail: [goran.sjoberg@ajtte.com](mailto:goran.sjoberg@ajtte.com)**Slowenien****Alpiner Botanischer Garten „Juliana“**

Triglav National Park (Julian Alps); 800 m ü. NHN

Kontakt: c/o Slovenian Museum of Natural History, Ljubljana

Tel. +386-1-2410940

E-mail: [uprava@pms-lj.si](mailto:uprava@pms-lj.si)<http://www.pms-lj.si/juliana/si>**Spanien****Jardin Botanico „Cortijuela“**

Sierra Nevada (Andalucía); 1.800 m ü. NHN

Kontakt: c/o Delegación Provincial de la Consejería de Medio Ambiente, c/

Marqués de la Ensenada, 1, planta 4, 18071 Granada

Tel. +34-958-026000 or +34-697-958939

E-mail: [jbotanico.cortijuela.cma@juntadeandalucia.es](mailto:jbotanico.cortijuela.cma@juntadeandalucia.es)**Anschrift des Verfassers:**

Dr. Andreas Gröger

Botanischer Garten München-Nymphenburg

Menzinger Str. 65

80638 München

[a.groeger@extern.lrz-muenchen.de](mailto:a.groeger@extern.lrz-muenchen.de)

GUNTER KARSTE, Wernigerode

# Der Brockengarten und sein Einfluss auf die Artenzusammensetzung und Entwicklung der Brockenvegetation

## Zusammenfassung

Der 1890 von Prof. Albert Peter von der Georg-August-Universität in Göttingen gegründete Brockengarten hat auf dem Brocken in den vergangenen 125 Jahren deutliche Spuren hinterlassen.

Obwohl die Kollegen aus Göttingen in erster Linie Pflanzen aus verschiedenen Hochgebirgsregionen, die in der Regel konkurrenzschwach waren, kultivierten, kamen auch einige konkurrenzstarke und expansionsfreudige Arten in den Garten. Zu nennen sind hier u.a. *Gentiana punctata*, *Gentiana purpurea*, *Gentiana lutea*, *Gentiana pannonica*, *Gentiana asclepiadea* oder auch *Rumex alpinus*. Diese sind heute, 125 Jahre nach Gründung des Gartens, nicht nur im Garten sondern auch außerhalb auf dem Brockenplateau vorhanden. Aber auch relativ konkurrenzschwache Pflanzenarten wie *Alchemilla alpina*, *Saxifraga cespitosa*, *Poa alpina*, um nur einige wenige zu nennen, haben sich unter die heimische Flora gemischt und sind somit auch außerhalb des Gartens anzutreffen. Dem steht gegenüber, dass der Garten zum Erhalt autochthoner Arten der Brockenkuppe wie z.B. der *Pulsatilla alpina* ssp. *alba*, dem *Hieracium nigrescens* ssp. *bruclerum* oder auch der *Carex bigelowii* beitrug. Seiner Aufgabe als ökologische Feldstation im Rahmen der Renaturierung der Brockenkuppe und der wissenschaftlichen Effizienzkontrolle der durchgeführten Maßnahmen wurde er in der Zeit nach 1990 gerecht.

## 1. Einleitung

Da es bereits viele Hinweise auf den Verlauf der Brockengartengeschichte gibt (WYNEKEN 1938, SCHUBERT et al. 1990, KARSTE 1994, EBEL et al. 1999, KISON & RICHTER 2009, KARSTE 2011) soll in diesem Beitrag nur kurz auf die Historie der Anlage eingegangen werden. Es soll hier vielmehr verdeutlicht werden, wie wichtig Botanische Gärten bei der Umsetzung von Naturschutzaufgaben sind bzw. sein können. Allerdings wird auch darauf hingewiesen, dass von ihnen ausgehend sich Pflanzenarten ausbreiten können, die nicht in den Naturraum gehören.

Vom Brockengarten ausgehend waren es immerhin ca. 30 Arten, die sich unter die heimische Flora gemischt haben. Wirklich konkurrenzstark von diesen ist nur der Alpen-Ampfer (*Rumex alpinus*). Arten wie *Gentiana lutea*, *Gentiana pannonica*, *Gentiana punctata*, *Gentiana purpurea* oder *Gentiana asclepiadea* haben sich zwar über die Grenzen des Gartens hinweg ausgebreitet, stellen aber für die autochthonen Arten der Brockenkuppe keine Gefährdung dar.

Die Zwangspausen die der Brockengarten, bedingt durch die zwei Weltkriege und aufgrund der von 1961 bis 1989 währenden Sperrgebietszeit, überstehen musste, trugen sicher dazu bei, dass die Ausbreitung einiger Arten in der zu beobachtenden Dimension möglich war.

In der Zeit von 1890 bis 1906 protokollierte Prof. A. Peter das Gedeihen der im Garten kultivierten Arten sehr genau. In dieser Zeit kam keine der heute außerhalb des Gartens anzutreffenden Pflanzenarten auf der Brockenkuppe vor. Selbst 1938 stellte Dr. Karl Wyneken fest, dass von den Arten die in der Lage waren sich unter den ökologischen Konditionen des Brockens im Garten spontan auszubreiten, keine außerhalb der Anlage auf dem Bergplateau auftrat. Für *Alchemilla alpina* prognostizierte er 1938 zum Beispiel, dass der Alpen-Frauenmantel sicher fester Bestandteil der Brockenflora werden wird. Dies konnte 1990 im Rahmen der Inventarisierung des Brockengartens und im Rahmen der Vegetationskartierung 1993 bestätigt werden (Abb. 1, 5).

Andererseits waren von ca. 1.400 ehemals kultivierten Pflanzenarten nur ca. 100 Arten im Garten nachweisbar. Hierbei handelte es sich z.B. um Arten, die als Einzelpflanzen die Zeit der Zwangspausen überstanden. Zu nennen sind hier: *Hedysarum hedysaroides*, *Carlina acaulis*, *Rhododendron ferrugineum*, *Rhododendron hirsutum*, *Laserpitium siler*, *Cephalaria alpina* oder auch das „Wahrzeichen des Gartens“ *Tsuga mertensiana* (Abb. 2).

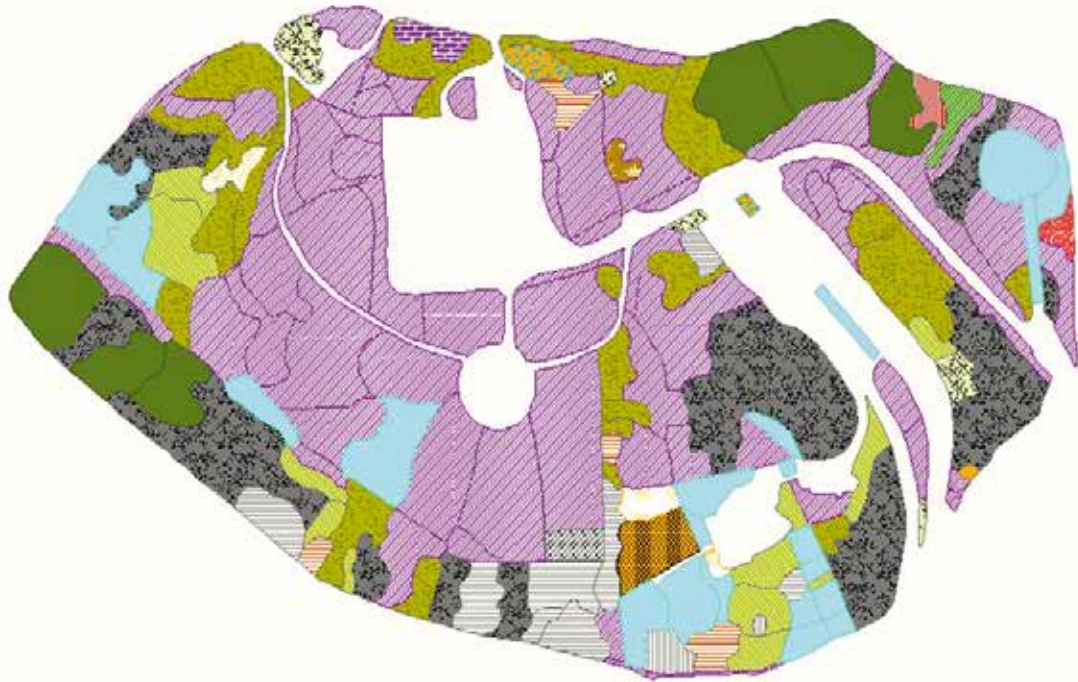


Abb. 1: Verbreitung von *Alchemilla alpina* (hellblau markierte Flächen) auf dem Brocken.

Weiterhin konnten Arten nachgewiesen werden die sich im Garten spontan ausbreiteten, aber außerhalb der Anlage auf dem Bergplateau noch nicht nachgewiesen werden konnten, wie z.B: *Polygonum viviparum*, *Ligusticum mutellina*, *Peucedanum ostruthium*, *Linaria alpina*, *Astrantia major* oder auch *Hypochoeris uniflora* um wiederum nur einige zu nennen (Abb. 3).

Schließlich wurden ca. 30 Pflanzenarten des Brockengartens auch außerhalb der 1890 vom Fürstenhaus Stolberg zu Wernigerode zur Verfügung gestellten Gartenfläche festgestellt.

Besonders auffällig unter ihnen sind die Hybriden aus *Gentiana lutea* X *pannonica* und *Gentiana punctata* X *purpurea*. Auch *Gentiana asclepiadacea*, *Salix helvetica*, *Rumex alpinus*, *Alchemilla alpina*, *Poa alpina*, *Campanula scheuchzeri* und Vertreter der *Saxifraga cespitosa*-Gruppe kommen an vielen Stellen auf dem Brocken außerhalb des Brockengartens vor (Abb. 4, 5).

Da das Brockenplateau 1990 großflächig mit Fremdmaterialien versiegelt war, stand von Beginn an fest, dass es aus der Sicht des Naturschutzes zur Renaturierung des Bergplateaus mitten



Abb. 2: Die *Tsuga mertensiana* wurde im Gründungsjahr des Brockengartens 1890 gepflanzt.



Abb. 3: Das Alpen-Leinkraut *Linaria alpina* verbreitet sich spontan im Brockengarten.



Abb. 4: *Gentiana-Hybriden* kommen im Brockengarten und außerhalb der Anlage auf dem Brocken vor.



Abb. 5: *Alchemilla alpina* auf dem Brockenplateau, außerhalb des Brockengartens.

im Nationalpark keine Alternative gab und dass der Brockengarten als ökologische Feldstation einen wesentlichen Beitrag hierzu leisten musste. Die zu bewältigenden Aufgaben wurden in Zusammenarbeit mit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, der Georg-August-Universität Göttingen und dem Nationalparks Hochharz erfüllt.

## 2. Die Wiederinstandsetzung des Schauteils des Brockengartens ab 1990

Bereits im Mai 1989, einige Monate vor der Grenzöffnung, trat die Naturschutzverwaltung des Bezirkes Magdeburg an den Direktor des Botanischen Gartens in Halle, Prof. Dr. Rudolf Schubert, mit der Bitte heran, gemeinsam mit den Mitarbeitern der Kreisnaturschutzverwaltung Wernigerode und des Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Wernigerode den Brockengarten wieder instand zu setzen. Bereits im September 1989 wurden unter dem Aspekt des Schutzes von vom Aussterben bedrohten Arten und selten bzw. selten gewordenen Pflanzengesellschaften zusätzlich zum Gartenareal Flächen provisorisch eingezäunt (SCHUBERT et al. 1990). Im Juli 1989 erfolgte durch die Mitarbeiter der oben genannten Institutionen die erste Inventarisierung. Eine zweite Erfassung der im Brockengarten vorhandenen Arten erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. Gerrit Stohr im Juni 1990. Das Freilegen der Beete und die Instandsetzung der Wege begann im April 1990. Bereits im Juli 1990 wurden die ersten alpin verbreiteten Arten in den Schauteil des Gartens gepflanzt und 1991 wurden die ersten Gartenbesichtigungen angeboten.

Im Frühjahr 1992 nahm Wolfgang Strumpf seine Tätigkeit als Brockengärtner auf. Hiermit verbunden war die Neugestaltung der Anlage, u.a. mit dem Bau neuer zusätzlicher Beete, dem Schaffen zusätzlicher Pflanzstellen auf den alten Beeten und der kompletten Abschotterung des Alpinums mit Granitsteinmaterial. Wichtig war auch die Einarbeitung von Forstwirt Holger Bührig durch Wolfgang Strumpf von 1989 bis 2001. Herr Bührig nahm zwar an der Weiterbildung zum anerkannten Landschaftspfleger erfolgreich teil, betrat mit der Arbeit im Brockengarten und der Kultur alpin verbreiteter Pflanzenarten ein völlig neues Arbeitsfeld. Dass die Einarbeitung erfolgreich war, erkennt man heute u.a. am Pflegezustand des Schauteils des Gartens, der von Herrn Bührig seit 2001 maßgeblich gärtnerisch betreut wird (Abb. 6).



Abb. 6: Ein Blick in den Brockengarten zeigt den guten Pflegezustand des Schauteils.

### 3. Die Aufgaben des Brockengartens als ökologische Feldstation bei der Renaturierung der Brockenkuppe

Bereits Prof. Peter nutzte den Brockengarten für eine angewandte ökologische Forschung. Er gliederte daher den Garten in einen Schau- und Versuchsteil. Im Schauteil kultivierte er Hochgebirgspflanzenarten aus unterschiedlichen geografischen Regionen. Zu diesem Zweck wurden Steinbeete gebaut, die nach pflanzengeografischen Gesichtspunkten bepflanzt wurden. Im Versuchsteil des Gartens wurden viele unterschiedliche Gehölzarten in zum Teil hohen Individuenzahlen gepflanzt, um ihr Wuchsverhalten unter den brockenklimatischen Verhältnissen zu untersuchen.

Bereits in den 30er Jahren stellte Dr. Karl Wyneken die Existenzbedrohung der Brockenanemone, hervorgerufen durch unsensibles Verhalten der Brockenbesucher, fest. Gleichzeitig erkannte er die Bedeutung des Brockengartens als Rückzugstätte der bedrohten Brockenarten.

Heute sind alle vegetationsbedeckten Flächen auf dem Brocken, einschließlich des Gartenarials Eigentum des Landes Sachsen-Anhalt und liegen im Nationalpark Harz. Das Areal innerhalb des Rundweges, also dem ehemaligen Standort der Brockenmauer, befindet sich, wie z.B. auch die Bergwiesen und Schwermetallflächen, im Nationalpark in der so genannten Nutzungszone. In dieser sind Artenschutz- und Biotoppflegemaßnahmen nicht nur erlaubt sondern langfristig festgeschrieben. Hierbei kommt dem Brockengarten eine besondere Aufgabe zu, da von ihm Untersuchungen zur effizienten Umsetzung der Renaturierung der Flächen ausgingen.

Bei der Renaturierung des Brockenplateaus wurde zwischen der Sanierung versiegelter und devastierter Flächen und den klassischen Biotoppflegemaßnahmen wie Mahd und Abplaggen unterschieden. Entsprechend wurden auch die Untersuchungsflächen angelegt. Zum einen entsiegelten wir Beton- und Kalkschotterflächen und füllten diese mit Granitgrusmaterial auf, zum anderen wurden Flächen die zu 100 % mit *Calamagrostis villosa* bedeckt waren, regelmäßig gemäht und die Biomasse abgeschöpft bzw. auf anderen Flächen das Gras unterschiedlich tief abgeplaggt.

In Auswertung der unterschiedlichen Versuchsansätze wurde zum Beispiel auf eine Aussaat und Bepflanzung der sanierten ca. 3,5 ha großen Militärfächen verzichtet. Es stellte sich hier, wie auch in den Untersuchungsflächen *Deschampsia cespitosa* als vorherrschende Art ein.

Da das Abplaggen von *Calamagrostis villosa* und die anschließende Pflege der Flächen sehr aufwendig ist (Abb. 7), haben wir uns für den Biomasseentzug durch Mahd an der Grenze zu größeren zusammenhängenden Heidebeständen entschieden. *Calamagrostis villosa* und *Deschampsia cespitosa* werden durch regelmäßige Mahd so stark geschwächt, dass sich hier die Besenheide aus-

breiten kann. Will man andererseits relativ kurzfristig aus einem Gräserdominanzbestand eine geschlossene Heidefläche entwickeln, muss man vorher die Fläche tief abplaggen und anschließend mit Heide bepflanzen (Abb. 7). Dies ist in Auswertung der Untersuchungsflächen auf zwei Arealen des Brockenplateaus umgesetzt worden. Diese „künstlich“ entstandenen Heideflächen werden von uns auch für die Vermehrung von *Carex bigelowii*, *Carex vaginata* und *Hieracium nigrescens* genutzt. *Pulsatilla alpina* ssp. *alba* breitet sich in diesen Arealen mittlerweile mit Erfolg selbst aus (Abb. 7, 10). All diese Flächen werden vom Brockengartenmitarbeiter Ingo Matscheroth betreut. Von 2002 bis 2010 führte diese Arbeiten Klaus-Peter Stagge † durch.



Abb. 7: Heidefläche mit Brocken-Anemonen (*Anemone-Callunetum*) als Ergebnis arbeitsaufwändiger Pflegemaßnahmen.

### 4. Aufgaben des Brockengartens heute, 125 Jahre nach seiner Gründung

#### 4.1 Pflanzensoziologische Untersuchungen auf dem waldfreien Brockenplateau 2013, 20 Jahre nach der Ersterfassung als Beispiel für die ökologische Forschung

Erste Vegetationsaufnahmen auf der Brockenkuppe wurden von Christin Damm 1993 im Rahmen seiner Diplomarbeit an der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt. Zwanzig Jahre nach der Ersterfassung von Christian Damm wiederholte der Nationalpark Harz die quantitative und qualitative Erfassung der Brockenvegetation 2013.

Der Vergleich zeigt deutlich, dass der Anteil der vegetationsbedeckten Flächen von 1993 bis 2013 zugenommen hat. Dies wird in der Tabelle 1 sichtbar. Waren 1993 noch 7,3 ha versiegelt so waren es 2013 und sind es heute 2015 nur noch ca. 1,5 ha die nicht von einer Vegetationsschicht bedeckt sind.

Vor allem die renaturierte ehemalige Militärfäche schlägt hier mit ca. 3,5 ha zu Buche. Hinzu kommen weiterhin sanierte Flächen wie die ehemaligen Standorte alter Kläranlagen, Garagen, Radome, Beobachtungstürme etc.. Da die Rasenschmiele



eine Wechselfeuchte tolerante Art ist, wurden diese Flächen, die z.T. mit Granitgrus bedeckt waren, fast ausschließlich von *Deschampsia cespitosa* besiedelt. Das *Cirsio-Deschampsietum cespitosae* nimmt insgesamt 5,85 ha ein, 1993 waren es nur 1,54 ha (vgl. Abb. 8 und Tab. 1)

Die Dominanzbestände von *Deschampsia cespitosa* (in Abb. 9 weinrot schraffiert, Abb. 10) zeigen somit zu einem sehr hohen Prozentsatz die sanierten ehemaligen Militärfächen an. Das

Ergebnis der natürlichen Wiederbesiedlung der entsiegelten Flächen ist somit das *Cirsio-Deschampsietum cespitosae* (Rasenschmielen-Dominanzbestände). Diese sind unumstritten naturnäher als bebaute Flächen, entsprechen in der vorhandenen Dimension aber sehr wahrscheinlich nicht der natürlichen Verteilung dieser Gesellschaft auf der Brockenkuppe. Ziel der Biotoppflegemaßnahmen ist es daher, den Anteil der sog. subalpinen Zwergstrauchheiden zu erhöhen. Dies ist im Rahmen eines kontinuierlichen Biomasseentzuges durch Mahd

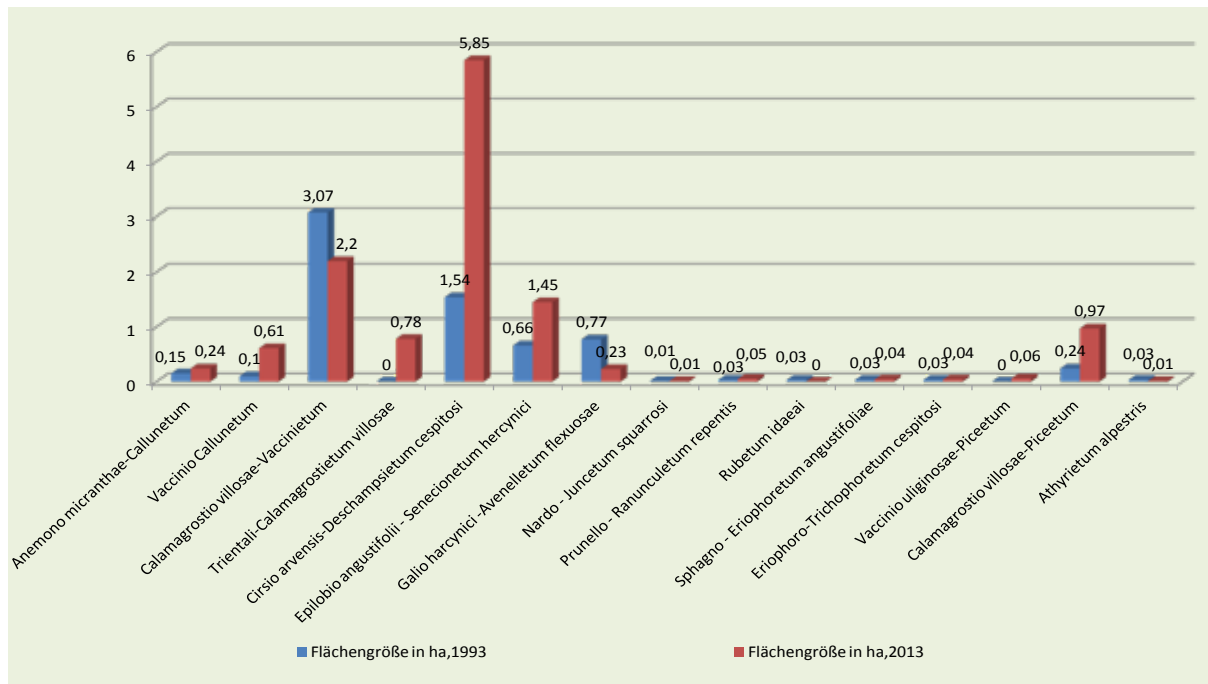


Abb. 8: Flächenanteile der auf der Brockenkuppe vorkommenden Pflanzengesellschaften 1993 und 2013.

Tab. 1: Die Flächenanteile der Pflanzengesellschaften der Brockenkuppe 1993 und 2013.

| Pflanzengesellschaft (Bezeichnung nach DAMM 1993) | Flächengröße in ha 1993 | Pflanzengesellschaft (Nomenklatur nach SCHUBERT et al. 2001) | Flächengröße in ha 2013 |
|---|-------------------------|--|-------------------------|
| Calluna vulgaris-Heiden                           | 0,15                    | Anemono micranthae-Callunetum                                | 0,24                    |
| Vaccinio myrtilloides-Heiden                      | 0,10                    | Vaccinio-Callunetum  | 0,61                    |
| Calamagrostio villosae-Matten                     | 3,07                    | Calamagrostio villosae-Vaccinietum                           | 2,20                    |
| Trientali-Calamagrostietum villosae               | /                       | Trientali-Calamagrostietum villosae                          | 0,78                    |
| Deschampsia cespitosa-Matten                      | 1,54                    | Cirsio arvensis-Deschampsietum cespitosi                     | 5,85                    |
| Avenella flexuosa-Matten                          | 0,77                    | Galio harcynici-Avenelletum flexuosae                        | 0,23                    |
| Borstgrasrasen                                    | 0,01                    | Nardo-Juncetum squarrosi                                     | 0,01                    |
| Trittlflur  | 0,03                    | Prunello-Ranunculetum repentis                               | 0,05                    |
| Rubus idaeus-Fluren                               | 0,03                    | Rubetum idaei  | /                       |
| Senecio hercynicus-Hochstaudenfluren              | 0,66                    | Epilobio angustifolii-Senecionetum hercynici                 | 1,45                    |
| Gipfelmoor  | 0,03                    | Eriophoro-Trichophoretum cespitosi                           | 0,04                    |
| Eriophorum angustifolium-Niedermoor               | 0,03                    | Sphagno-Eriophoretum angustifoliae                           | 0,04                    |
| Athyrium distentifolium-Farnfluren                | 0,03                    | Athyrietum alpestris   | 0,03                    |
|   |                         | Vaccinio uliginosae-Piceetum                                 | 0,06                    |
| Subalpiner Fichtenwald                            | 0,24                    | Calamagrostio villosae-Piceetum                              | 0,97                    |
| Sonstige Kategorien                               | 7,33                    | Sonstige Kategorien  | 1,46                    |



Abb. 9: Die Dominanzbestände von *Deschampsia cespitosa* (weinrot, Mitte des Bildes) zeigen uns u.a. auch das renaturierte Militärcamp der russischen Streitkräfte an.

und Abplaggen möglich. Dort, wo kein Biomasseentzug erfolgte und *Calamagrostis villosa* bereits 1993 registriert wurde, wie zum Beispiel im *Calamagrostio villosae-Vaccinietum*, hat sich das Wollige Reitgras so stark ausgebreitet, dass 20 Jahre später hier nur noch Reitgras-Dominanzbestände, also das *Trientali-Calamagrostietum villosae*, erfasst werden konnten (siehe Abb. 8). Dort, wo es im Rahmen der Pflegemaßnahmen gelang, der Besenheide einen Konkurrenzvorteil zu verschaffen, profitierte auch die Charakterart des Brockens, die Brocken-Anemone, davon. So konnte die Flächengröße des *Anemono-Callunetum* von 0,15 ha auf 0,24 ha (vgl. Tab. 1) erhöht werden. Aber auch im *Galio hircynici-Avenelletum flexuosae* oder im *Vaccinio-Callunetum* fühlt sich die *Pulsatilla alpina* ssp. *alba* wohl. Die Verteilung der Art ist der Abb. 10 zu entnehmen. Oft kommt sie allerdings auf den blau gekennzeichneten Flächen nur in geringen Individuenzahlen und damit auch in geringen Deckungsgraden vor. Die Abb. 11 zeigt, dass die Anzahl blühender Pflanzen gesichert ist und in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf von Jahr zu Jahr stark schwankt. (vgl. KARSTE 1997 und HÜNIG et al. 2008). Zu den registrierten blühenden Exemplaren kommt eine Vielzahl vegetativ vorhandener Individuen hinzu. Im Ergebnis der oben aufgeführten Renaturierungsmaßnahmen die vom Brockengarten aus organisiert, gesteuert und kontrolliert wurden, ergeben sich 2013 folgende Flächenanteile der erfassten Pflanzengesellschaften (vgl. Tab.1).

Die Veränderungen der Flächengrößen von 1993 bis 2013 sind der Abb. 8 zu entnehmen. Wie oben erwähnt, ist ein deutlicher Flächenzuwachs beim *Cirsio-Deschampsietum cespitosae* zu erkennen. Auch bei den Heidegesellschaften, wie dem *Anemono-Callunetum* und dem *Vaccinio-Callunetum*, ist eine Zunahme der Flächengröße zu verzeichnen. Diese Heidegesellschaften sind

nicht die Folge von extensiver Beweidung auf potenziellen Waldstandorten, sondern kommen natürlicherweise auf dem Brocken vor. Dieser zählt bei den Meteorologen zu den windreichsten Orten Deutschlands. Der permanente Wind und Sturm ist es auch der die Heiden kurz und damit langfristig am Leben hält. Auf den Flächen, auf denen keine Renaturierungs- und Biotoppflegemaßnahme, also keine Kompensation der niederschlagsbedingten Nährstoffeinträge durch Biomasseentzug, erfolgte, ist der Anteil nährstoffbedürftiger Gesellschaften, wie dem *Trientali-Calamagrostietum villosae* und dem *Epilobio-Senecioetum hercynici*, angestiegen.

Bereits 1993 kleinfächig vorhandene Gesellschaften, wie das *Nardo-Juncetum squarrosi*, das *Eriophoro-Trichophoretum cespitosi* oder auch das *Sphagno-Eriophoretum angustifoliae*, sind 20 Jahre später in fast identischen Flächengrößen registriert worden. Das 2013 erfasste *Vaccinio uliginosae-Piceetum* (vgl. SCHUBERT et al. 2001) ist in den vergangenen 20 Jahren mit Sicherheit nicht neu entstanden, vielmehr wurde der Rauschebeeren-Fichtenwald von Damm aufgrund des sehr kleinfächigen Auftretens nicht separat ausgewiesen. Auch die Zunahme des *Calamagrostio villosae-Piceetums* um 0,73 ha hat ihre Ursache eher in der unterschiedlichen Zuordnung durch die Kartierer. 2013 wurden die Flächen, auf denen *Picea abies* in der B 2 mit einer 3 nach Braun-Blanquet auftrat, den *Piceeten* zugeordnet (vgl. BRAUN-BLANQUET 1964)

#### 4.2 Informations- und Bildungsarbeit im Brockengarten

Voraussetzung für den Erfolg der kontinuierlichen Biotoppflegerarbeiten und damit für die Erhaltung seltener Pflanzenarten der Brockenkuppe ist die Akzeptanz der Harzer Bevölkerung und



Abb. 10: Verteilung von *Pulsatilla alpina ssp. alba* auf der Brockenkuppe (blau markierte Flächen)

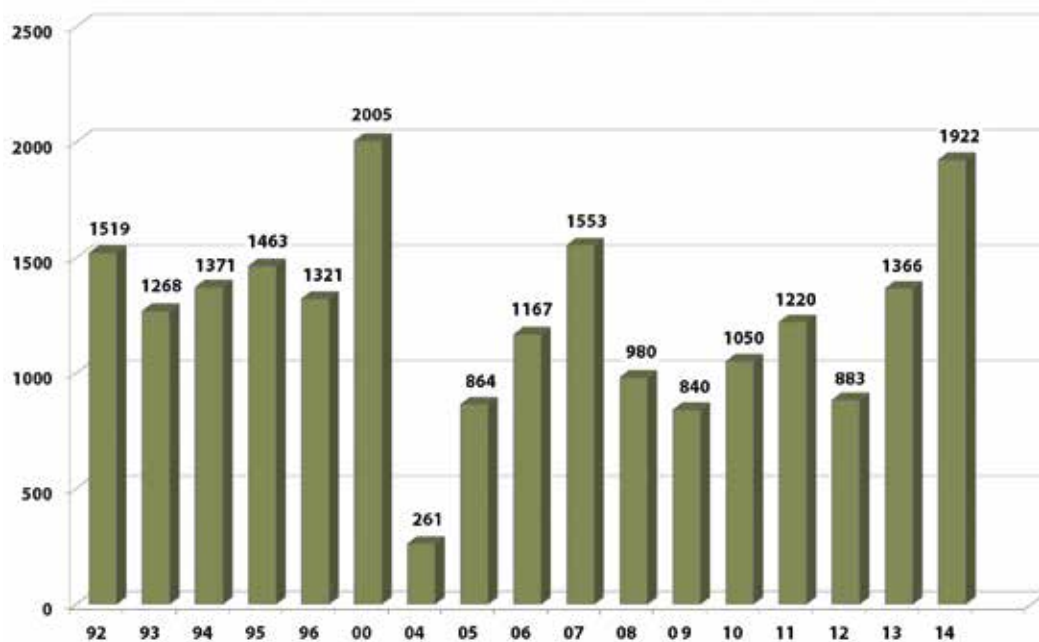


Abb. 11: Blütenzahl von *Pulsatilla alpina ssp. alba* von 1992 bis 2014.

der Brockenbesucher allgemein gegenüber den Naturschutzzielen. Diese spiegelt sich u.a. in der fast 100 %-Berücksichtigung der Lenkungseinrichtungen und damit dem Einhalten des im Nationalpark Harz geltenden Wegegebotes durch die Brockenbesucher wieder. Die Einsicht, dass Regeln eingehalten werden müssen und dass Restriktionen nötig sind, kommt allerdings nicht im Alleingang, sondern ist das Ergebnis intensiver Aufklärungsarbeit. Hierzu gehört natürlich eine effiziente Öffentlichkeitsarbeit. Noch nachhaltiger wirkt mit Sicherheit eine publikumsausgerichtete Informations- und Bildungsarbeit, die das

Verhalten des Publikums, im Umgang mit den zu bewahrenden Lebensräumen, stärker beeinflusst als eine Medien gesteuerte Öffentlichkeitsarbeit.

Daher hat auch der Brockengarten, wie andere Botanische Gärten, die Aufgabe, Bildungsarbeit durchzuführen. Ziel ist es allerdings nicht aus den Gartenbesuchern Gärtner und Botaniker zu machen. Es sollen vielmehr ökologische Zusammenhänge aufgezeigt werden, die dem Besucher indirekt deutlich machen, was dem Naturraum schadet. Daher werden im Rahmen der Gartenführung die Besonderheiten des Brockenklimas und die

damit verbundene besondere Vegetation, wie die natürliche Waldgrenze auf dem Brockenplateau vorgestellt. Es werden die Aufgaben des Brockengartens im Nationalpark Harz bei der Renaturierung der Bergkuppe erläutert und es wird natürlich das Alpinum im Brockengarten mit Pflanzenarten aus den Hochgebirgen der Welt gezeigt.

Mit Hilfe der ca. 1.500 Arten fällt es relativ leicht die Gartenbesucher von der Formen- und Blütenmannigfaltigkeit der im Alpinum kultivierten Hochgebirgspflanzen zu begeistern. Bereits an den Wuchsformen erkennt der Betrachter, dass alpin verbreitete Arten „Lebenskünstler“ sind, die sich an die extremen Standorte im Hochgebirge angepasst haben und daher Standortveränderungen nur schwer verkraften. Andererseits wird im Schauteil des Brockengartens deutlich, dass die physiologische Amplitude einzelner Arten doch deutlich breiter ist, als in der Literatur angegeben. Ein Merkmal haben die Pflanzenarten der Hochgebirge aber gemeinsam, sie sind meist konkurrenzschwach. Wenn wüchsige Arten den Standort zum Beispiel aufgrund von Nährstoffanreicherungen besiedeln können, haben die konkurrenzschwachen Spezialisten das Nachsehen.

Nach dem Motto steter Tropfen höhlt den Stein kann somit die Aufmerksamkeit des Betrachters gegenüber Lebensraumveränderungen und die Sensibilität im Umgang mit dem Naturraum erhöht werden.

Gerade auf der Brockenkuppe ist diese Einsicht, angesichts der ca. 1 Mio. Besucher im Jahr, für den Erhalt von Flora und Fauna lebenswichtig. Bereits Mitte der 50er Jahre forderte Prof. Meusel aus Halle mehr Schutz für den Brocken. Allerdings wurde diese Forderung erst nach 1990 mit Ausweisung des Nationalparks konsequent umgesetzt.

Auch in Zukunft ist vorgesehen, im Rahmen der Bildungsarbeit die vielen potenziellen Multiplikatoren für den Naturschutz auf dem Brocken und somit auch im Garten zu mobilisieren. Die Tatsache, dass auf dem Bergplateau genügend Publikum vorhanden ist, muss als Chance und nicht als Nachteil für den Naturschutz gesehen werden.

## 5. Diskussion

Man kann sicher geteilter Meinung sein, wenn es um die Etablierung einer Gartenanlage inmitten eines einzigartigen Naturraumes geht. Einen Brockengarten mitten im Nationalpark würde man heute auf Grund der von ihm ausgehenden Gefahr der Florenverfälschung eher nicht neu gründen.

Da der Brocken einerseits nicht allzu weit von Göttingen entfernt und er der einzige Ort im Mittel- und Norddeutschen Raum ist, der eine natürliche Waldfreiheit aufweist, Prof. Dr. A. Peter u.a. andererseits Hochgebirgspflanzen erfolgreich kultivieren wollten, wählte er den höchsten Harzberg für die Gründung



Abb. 12: Gartenbesucher. Der Brockengarten kann nur in Begleitung von NationalparkmitarbeiterInnen besichtigt werden.

des Hochgebirgspflanzengartens aus. Als er diesen 1890 etablierte, stand das Thema der Ausbreitung von Neophyten noch nicht zur Diskussion.

Vor dem Hintergrund, dass der Brockengarten in den vergangenen 125 Jahren einen entscheidenden Beitrag zum Erhalt von vom Aussterben bedrohter Pflanzenarten des Brockens leistete und er ab 1990 zum Promotor der Brockenrenaturierung wurde, sind wir heute froh, dass es ihn gibt. Setzt man die negativen und die positiven Einflüsse des Gartens ins Verhältnis zueinander, so ist sein positiver Naturschutzbeitrag um ein Vielfaches höher. Unumstritten ist allerdings, dass erst die Ausweisung des Hochharzgebietes zum Nationalpark dies ermöglichte. Der Widerspruch zwischen den Grundsätzen des Nationalparks, Natur, Natur sein lassen und den klassischen Aufgaben eines Gartens muss, wie im Harz zu sehen, kein unüberwindbarer Widerspruch sein.

Voraussetzung hierfür ist aber das Einhalten der Zonierungskonditionen. Im Harz gibt es eine so genannte Nutzungszone, deren Name unumstritten sehr irreführend ist, deren Flächenanteil bezogen auf die Gesamtfläche des Nationalparks allerdings kaum ins Gewicht fällt. In dieser Nutzungszone finden sich alle Bergwiesen, Schwermetallflächen und die Brockenkuppe. Hier sollen auch perspektivisch Artenschutz- und Biotoppflegearbeiten durchgeführt werden.

Wesentliche Aufgabe der Botanischen Gärten ist hierbei eine kontinuierliche wissenschaftliche Effizienzkontrolle. Obwohl der Brockengarten im Vergleich zu den großen Botanischen Gärten an den Universitäten, ein kleiner Botanischer Sondergarten ist, hat er vergleichbare Aufgaben zu erfüllen. In diesem Beitrag wird dargestellt, dass der Brockengarten von Beginn an eine Stätte der Forschung, des praktischen Naturschutzes und der Bildungsarbeit war, heute noch ist und in Zukunft sein wird.

**Literatur**

- DAMM, C. (1994): Vegetation und Florenbestand des Brockengebietes. - *Hercynia N. F.* 29: 5-56.
- EBEL, F., KARSTE, G., KÜMMEL, F., RICHTER, W. & STRUMPF, W. (1999): Brockengarten im Harz - ein Schau- und Versuchsgarten. Studio Volker Schadach: 1-97.
- HÜNIG, C., TISCHEW, S. & KARSTE, G. (2008): Erfolgskontrolle der Renaturierungsmaßnahmen auf der Brockenkuppe im Nationalpark Harz. - *Hercynia N.F.* 41: 201-217.
- KARSTE, G. (1994): Der Brockengarten. *Naturschutz im Land Sachsen Anhalt*. 31.
- KARSTE, G. & SCHUBERT, R. (1997): Sukzessionsuntersuchungen zur Renaturierung subalpiner Mattenvegetation auf der Brockenkuppe (Nationalpark Hochharz). - *Archiv Natursch. Landschaftsforsch.* 39: 103-138.
- KARSTE, G., SCHUBERT, R., KISON, H.-U. & WEGENER, U. (2001): Vegetationsentwicklung nach Sanierung des Militärgeländes auf der Brockenkuppe im Nationalpark Hochharz. - *Archiv Natursch. Landschaftsforsch.* 40: 29-57.
- KARSTE, G., SCHUBERT, R., KISON, H.-U. & WEGENER, U. (2011a): Die Pflanzengesellschaften des Nationalpark Harz (Sachsen-Anhalt). Eine kommentierte Vegetationskarte. - *Schriftenr. Nationalpark Harz* 7: 1-60, Wernigerode.
- KARSTE, G., WEGENER, U., SCHUBERT, R. & KISON, H.-U. (2011b): Die Pflanzengesellschaften des Nationalpark Harz (Niedersachsen). Eine kommentierte Vegetationskarte. - *Schriftenr. Nationalpark Harz* 6: 1-80, Wernigerode.
- KARSTE, G. (2011): Der Brockengarten im Nationalpark Harz Mitglied der „Gemeinschaft der Alpinen und Arktischen Botanischen Gärten in Europa. - in: *Gartenkulturen in Europa*. Mitteldeutscher Verlag GmbH, Halle: 132-138.
- KARSTE, G. (2014): Die Entwicklung der Vegetation auf dem Brocken innerhalb der ehemaligen Brockenmauer von 1993 bis 2013. *Mitteilungen zur floristischen Kartierung in Sachsen-Anhalt* 19: 11-17.
- MEUSEL, H. (1957): Vorschläge für den Schutz der Brockenkuppe. *Natur und Heimat, Urania Verlag*: 153-154.
- SCHUBERT, R., EBEL, F., QUITT, H., RICHTER, W., RÖTH, J., STOHR, G. & WEGENER, U. (1990): 100 Jahre Brocken-garten. - *Hercynia N.F.* 27: 309-325.
- RICHTER, W. & KISON, H.-U. (2009): 120 Jahre Brockengarten, Geschichte und Geschichten um den Alpenpflanzgarten auf dem Brocken. *Abh. Ber. Mus. Heineanum* 8: 101-112.
- WYNEKEN, K. (1938): Beiträge zur Kenntnis der Anpassungsfähigkeit von Alpenpflanzen an einen neuen Standort. *Fedde, Rep., Beih. VCI*: 56-102.

**Danksagung**

Dafür, dass ich 25 Jahre im und mit dem Brockengarten wirken durfte, gilt mein Dank: Dr. Uwe Wegener, Hubertus Hlawatsch, Peter Gaffert, Dr. Hans-Ulrich Kison und Andreas Pusch. Für die stets freundschaftliche und konstruktive Zusammenarbeit möchte ich mich bei Wolfgang Strumpf, Holger Bührig, Klaus-Peter Stagget, Ingo Matscheroth, Prof. Dr. Rudolf Schubert, Dr. Fritz Ebel, Dr. Matthias Hoffmann, Jürgen Röth, Fritz Kümmel, Axel Fläschendräger, Wolfram Richter und Dr. Rolf Callauch bedanken.

**Anschrift des Verfassers:**

Dr. Gunter Karste  
Nationalpark Harz  
Lindenallee 35  
Tel.: 03943-550220  
gunter:karste@npharz.sachsen-anhalt.de

NADA PRAPROTNIK, Ljubljana

# The alpin botanical garden „Juliana“ in the Triglav National Park

Juliana is the first and oldest alpine botanical garden in a natural environment in Slovenian territory. As a non-residential unit, it functions within the framework of Botany Department of Slovenian Museum of Natural History. In 1981, when the Law on the protection of Triglav National Park was passed, the garden as a monument of shaped nature was included in Slovenians only national park. From other larger Alpine botanical gardens in Europe it differs by its interesting mixture of Alpine and karst species. Among these, even a few endemits can be found that mark the special feature and uniqueness of Slovenian territory.

Juliana was founded in 1926 by Albert Bois de Chesne, born in 1871 in Trieste (Fig. 1, 2). He graduated from the city's grammar school, then continued his studies at the Faculty of Fore-



Figure 1: The founder of the Garden Albert Bois de Chesne, July 1947, at the summit of Vis. Photo by courtesy of his daughter Olga Bois de Chesne.

stry in Zürich. As his father was a wood merchant, Albert was unable to dedicate himself to his favourite subject - botany, but was forced to succeed to his father's trade. In Slavonia, he bought several extensive forests, then sold them in 1925 and returned to Trieste. Now he was finally able to satisfy his old, hidden desire. He already had the right of hunting in Trenta, and now he purchased a plot of land for gardening purposes in the valley. Although it was not far from Trieste, he did not wish to have the garden situated higher up, as this would render the access to and its maintenance quite difficult. After the capitulation of Italy in 1943, the garden was no longer accessible to him. Albert Bois de Chesne died in 1953 in his native Trieste.

The garden, which covers 2.572 m<sup>2</sup> (Fig. 3), is situated some 50 metres above the Church of St. Mary, on the slope of Kukla at an altitude of 800 meters. Only 30 m below the garden flows the lively emerald Soca river. Owing to the moisture, light and shade pervading in this sheltered and varied terrain, strewn with rocks of all sizes, he considered it most suitable for his plans. The preliminary works were completed in the autumn of 1926, and in the spring of next year he began to collect plants in the mountains. He brought them to the garden and planted them there, wishing to create at least similar living conditions for these plants as enjoyed by them in nature. As he did not know much



Figure 2: Albert Bois de Chesne, his daughter Olga and Dr. Julius Kugy at the Belvedere in the Garden 1939. Photo by courtesy of his daughter Olga Bois de Chesne.



Figure 3: The plan of Juliana from 1930. BOIS DE CHESNE, E. (2006): *In memoriam d' Albert Bois de Chesne. In: Histoire de la famille Bois de Chesne originaire de Montbéliard et de ses familles alliées. Geneve.*

about how the garden should be arranged, as he was always ready to admit, he often asked for advice from the greatest specialists in this field. Thus he was greatly aided by Henri Correvon and Lino Vaccari, the well known experts of upland flora, who were also the key men in the founding of the first Alpine botanical gardens in Switzerland at the end of the 19<sup>th</sup> century. His good friend Julius Kugy, on the other hand, told him about several localities of the rarest plants in the Julian Alps.

The garden gave much pleasure to Bois de Chesne, as well as disillusion. He had particular trouble with the plants thriving on acid ground and those inhabiting sites immediately below the

highest peaks, where they were used to heavy storms and short summers. His great wish was that a walk through the garden would be a kind of botanical journey from the valley to a Julian peak (Fig. 4, 5). The vegetation belts were supposed to follow each other the same as in nature.

Most of the plants were brought to the garden from the Eastern and Western Julian Alps, Friuli Mountains, Karst hay meadows and pre-Alpine country, some even from the Karavanke mountain chain and the Kamnisko-Savinjske Alps. To the left of the garden entrance, some foreign plants, obtained mainly from the Western Alps, Pyrenees, Apennines, Atlas and Caucasus, were planted.

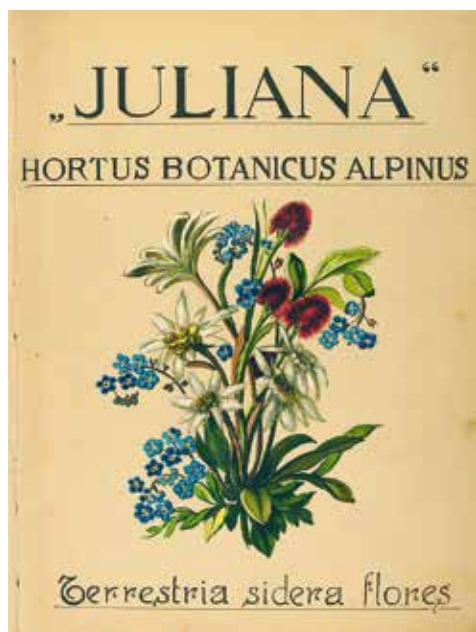


Figure 4: Front cover of the visitors Book. BOIS DE CHESNE, E. (2006): *In memoriam d' Albert Bois de Chesne. In: Histoire de la famille Bois de Chesne originaire de Montbéliard et de ses familles alliées. Geneve.*



Figure 5: Information board along the road. Photo: C. Mlinar.

During the war and a couple of years after it, the garden was more or less deserted. The maelstrom of war did not spare it at all. Just before the Primorska region was annexed to the new Yugoslavia at the beginning of 1947, the new authorities ordered the garden to be at least temporarily protected. The Slovene botanists soon took part in its renovation, and in 1949 its maintenance was temporarily entrusted to the Slovene Museum of Natural History in Ljubljana. Its director, the well-known botanist Dr. Angela Piskernik (1886-1967), did everything in the post-war period to have Juliana renewed, taken care of and protected. And in 1951, Juliana was indeed officially protected as a horticultural monument (or the so-called monument of shaped nature). After 1953, it was looked after by the Bovec Council and Gorica Tourist Union, but still had no expert management.

In 1959, the garden began to be rearranged once more. In January 1962, Juliana was finally taken over by the Slovenian Museum of Natural History in Ljubljana.

Owing to the low altitude and the great impact of the Mediterranean climate, to which the area is subjected through the Soca Valley, many upland plants do not do well in Juliana, which is home to some 600 different plants, including endemits.

*Campanula zoysii* (Fig. 6), which is one of the oldest endemits and a kind of representative of the Slovenian sunny side of the Alps, has been chosen as the symbol of the garden. Although thriving on the rocks along the Soca river below the Mlinarica gorge, it more or less struggles in the garden, the same as *Viola zoysii*.

Juliana is most closely associated with the prominent *Scabiosa trenta*, Scabious of Trenta (Fig. 7), which became the symbol of quests by Dr. Julius Kugy. This mysterious plant was discovered in the second half of the 18<sup>th</sup> century by Balthasar Hacquet on the slopes of Mt. Triglav and in the Trenta Valley. Then it mysteriously disappeared and was searched for in vain by many botanists. It was in fact this very plant that brought the young Julius Kugy to Trenta and the Julian Alps. Later on it was discovered that the Scabious of Trenta was simply an ordinary *Cephalaria leucantha*, known from Karst commons and sunward rocks in



Figure 6: *Campanula zoysii*. Photo: C. Mlinar.





Figure 7: Hacquet's Scabiosa trenta is common *Cephalaria leucantha*. Photo: C. Mlinar.



Figure 9: *Daphne blagayana*. Photo: C. Mlinar.



Figure 8: *Potentilla nitida*. Photo: C. Mlinar.

the sub-Mediterranean belt. In the garden it blossoms lavishly in late August and early September.

The pale flowers of *Potentilla nitida* (the Triglav Flower, Fig. 8) are merely a faint reflection of the silvery-bright pink cushions immediately under the Trenta peaks.

*Daphne blagayana* (Fig. 9) does not feel particularly well on the plot where planted already by Albert Bois de Chesne, whereas somewhat higher up it thrives in a carpet, so to speak. Extremely lavishly, however, *Physoplexis comosa* begins to blossom in June.

Juliana is also home to some species included in the Natura 2000 network. In August *Adenophora liliifolia* start blossoming. *Cypripedium calceolus* was brought from the Karavanke Mts. and has been blossoming copiously for almost three decades each year at the end of May. *Eryngium alpinum* is the species that wishes to be seen by most of the people, considering that in July it is one of the most prominent plants in the garden. *Genista holopetala* more or less struggles here. More attractive than it is *Gladiolus palustris*. *Hladnikia pastinacifolia* (Fig. 10) has spread from its plot to along the paths in the entire garden. *Primula carniolica* indeed thrives here, but is outnumbered by *Primula x venusta* (Fig. 11), a hybrid between *Primula carniolica* and *Primula auricula*. In May, *Rhododendron luteum* bush starts to blossom as well.

Owing to the garden's low altitude, many upland plants do not thrive in Juliana or even die after few years. Some of the species



Figure 10: *Hladnikia pastinacifolia*. Photo: C. Mlinar.

also change morphologically due to the changed ecological conditions (changed colour of the flowers, the intensity of flowering, the size of flowers and the plants themselves ...). The position of the garden therefore has its advantages as well as disadvantages. For the majority of the plants that thrive in the sub-Alpine and Alpine belts, the position is unfavourable, which means that they have to be brought from nature several times. The stated altitude, on the other hand, that is further subjected to the influence of the sea that reaches the area through the Soca Valley, enables lush growth to the numerous plants of the Karst and the pre-Alpine world.

The garden is a nonresidential unit of the Slovenian Museum of Natural History, some 120 km away from Ljubljana. It employs two people: an expert associate and a gardener. The expert head of Juliana is the Museum's botany custodian, who works in Ljubljana and looks mainly after the precious old herbarium collections and has neither enough time nor financial means to work in Juliana.

Due to the lack of personnel, wild seeds are not gathered in nature but only in the garden. The annuals' and biannuals' seeds are



Figure 11: *Primula x venusta*. Photo: C. Mlinar.

planted in the so-called »kindergarten« and later on transplanted into the garden itself. From seeds, even some perennials are brought up. The majority of seeds, however, are each year sent to the Botanical Garden in Ljubljana, which publishes the *Index seminum*, in which the Juliana seeds are included as well. In Juliana, no scientific-research work is possible due to the already mentioned lack of personnel, and neither are guided tours of the garden, except on very special occasions as per preliminary agreement.



Figure 12: Visiting in the Garden. Photo: J. Mihelic.

Juliana has an extremely important role in the education of its visitors (Fig. 12). In this sense, we present the plants in their natural habitats, call attention to their threat status, and to the conservation of natural heritage.

Particularly well developed are our publicity activities. In the last decade we have thus published guides and brochures in Slovenian, English, Italian, German and French languages, as well as a series of 15 postcards with various plant motifs. Juliana has its

own website and is also presented on various local and tourist sites. We further produced films in five languages and in two different lengths (3 and 20 minutes).

Juliana is open from May 1 to September 30, each day from 8.30 to 18.30 hrs. The garden is yearly visited by 5.000 people. Many of them are foreigners, mostly Austrians and Germans.

As the oldest alpinum in the territory of Slovenia Juliana also has a very high cultural and historical value.

**Literatur:**

PRAPROTNİK, N. (2008): Alpiner botanischer Garten »Juliana« in Trenta. Prirodoslovni muzej Slovenije.

PRAPROTNİK, N. (2011): Alpski botančni vrt Juliana. Prirodoslovni muzej Slovenije

**Anschrift der Verfasserin:**

Dr. Nada Praprotnik

Moste 7

SI-4274 Zirovnica

Slovenia

nada.praprotnik@guest.arnes.si

GERHARD TROMMER, Lehre

# Alpinum, Steingarten und Brockengarten in der Umweltbildung

## 1. Einleitung

1894 - vier Jahre nach der Einrichtung des Brockengartens und vier Jahre bevor die Brockenbahn ihren Betrieb aufnahm, wird in der 5. Auflage von Meyers Konversationslexikon der Brockengarten als wissenschaftlicher Versuchsgarten erwähnt (Bd. 3, S. 509). 28 Jahre später, in der Reihe Meyers Reisebücher „Der Harz“ (1922, S. 77) heißt es für Brockenausflügler, dass im Sommer meist ein Gärtner anwesend sei, der „Eintrittskarten“ verkaufe.

Auch heute sind Gärtner im Brockengarten anwesend. Es gibt Besuchszeiten. Aber der Besuch ist kostenlos. Ein Spendenkästchen wurde aufgestellt. Der Brockengarten gehört heute zum Nationalpark Harz. Zum Nationalpark Harz gehört die Aufgabe der Bildung. Das ist im Wesentlichen eine den Nationalpark und dessen Schutzziele vermittelnde Natur- und Umweltbildung.

Nach den Übereinkünften zur Umweltbildung ist ein bewusster, nachhaltiger und kompetenter Umgang mit Natur und Umwelt im Lebensalltag zur allgemeinen Daseinsvorsorge notwendig, und es besteht in unserer Gesellschaft weitgehend Konsens darüber, diesen Umgang ökologisch, sozial und ökonomisch nachhaltig durch Bildung zu begleiten. Kann und soll ein Versuchs- und Schaugarten, in dem arktisch-alpine Pflanzen wachsen, dazu beitragen?

Im Mittelpunkt der Auseinandersetzung mit dieser Frage steht nicht das wissenschaftlich vorbereitete Interesse von Fachleuten wie Ökologen, Naturschützern und Botanikern. Sondern hier soll es um das allgemeine Publikum gehen, das sich dem Brockengarten im Nationalpark Harz neugierig zuwendet und dafür Interesse bildet.

## 2. Steingarten- und Berggartenanlagen in Schulgärten

Zunächst werden einige Aspekte zu Steingärten und Alpinen beleuchtet, die auf die Tradition der Schulgärten in Deutschland zurückgehen, um einzuschätzen, was früher im allgemeinbildenden Schulwesen das Interesse an Steingärten und alpinen Pflanzen bestimmt haben könnte. Denn Schulgärten gehörten einmal zur ganz normalen Erfahrung der Schuljugend, und na-

hezu zeitgleich mit der Einrichtung des Brockengartens, wurden in Schulgärten kleinere Steingarten-Abteilungen angelegt. Die Schülerinnen und Schüler sollten sich von den Gebirgspflanzen auch fern der Gebirge ein Bild machen. 1911 haben den Brockengarten zwar 780 Schüler besucht (SCHUBERT et al. 1990). Aber der Brockengarten war für die meisten Schüler unerreichbar. Wahrscheinlich kamen die Schüler, die den Brockengarten besuchten, nur aus Abschlussklassen der Höheren Realschule. Schülerinnen dürften dabei noch nicht dabei gewesen sein, denn Koedukation war 1911 noch nicht die Regel und den sog. Höheren Mädchenschulen fehlte die Oberstufe und damit ein fortgeschrittener Natur beschreibender Unterricht.

### 2.1 Zur alten Schulgartentradition

Die Initiative für die Einrichtung von Schulgärten im 18. und 19. Jahrhundert hatten zunächst die Schullehrer ergriffen. Dabei waren der wirtschaftliche Nutz- und Arbeitsgarten und damit die Weitergabe von wirtschaftlichen Kenntnissen und Fertigkeiten z.B. im Kartoffel- und Obstanbau sowie positive erzieherische Auswirkungen der Gartenarbeit auf die Schüler mindestens für das mittlere und niedere Schulwesen sowie für das höhere Real-schulwesen ausschlaggebend. In den Gymnasien fand allenfalls der nach systematischen Abteilungen gegliederte Garten Beachtung, aus dem Pflanzenmaterial für den Natur beschreibenden Unterricht benötigt wurde. Der wurde nur in den unteren Klassenstufen erteilt. Es ging in diesem Unterricht um die Beschreibung und Klassifizierung der Gewächse nach dem Linnéschen System. In der Oberstufe der Gymnasien fand Natur beschreibender Unterricht bis zum Ende des 19. Jahrhunderts kaum mehr statt. Das war anders in den höheren Realschulen. Nach den Wieseschen Lehrplänen in Preußen 1854 war für die höheren Realschulen sogar die Berücksichtigung pflanzengeographischer Gesichtspunkte im Naturgeschichtsunterricht vorgesehen. Das war bzw. wäre eine wichtige Voraussetzung dafür gewesen, sich u.a. auch mit der alpinen Vegetation zu beschäftigen (TROMMER 1993, S. 165).

Spätestens 1873 auf der Wiener Weltausstellung hatte sich nicht nur staatliches sondern auch internationales Bildungsinter-

resse an Schulgärten manifestiert. Preußen und Österreich präsentierte in Wien jeweils einen Musterschulgarten - Preußen für die Stadtschule, Österreich für die Landschule (TROMMER 1993, S. 171-172).

Um 1900 waren Schulgärten in Europa so weit verbreitet, dass sich das US-amerikanische Außenministerium dafür interessierte und Konsularberichte anforderte. In dem Bericht des Generalkonsuls Charles L. Cole, der von 1898-1905 Generalkonsul in Dresden war, wird über den von Oskar Wilsdorf in Plauen nach österreichischem Vorbild angelegten Volksschulgarten mitgeteilt, dass dieser auf wirtschaftlichen Nutzen bedachte Schülerarbeitsgärten auch schon eine Auswahl der wesentlichen Gesteinsvorkommen Sachsens präsentierte (S. 196). Die Steine in diesem Garten hatten aber nichts mit der Anlage eines Berggartens zu tun, sondern müssen im Zusammenhang des Schulfaches Naturgeschichte als eine den Schülern präsentierte Steinwelt betrachtet werden. Denn neben den Naturreichen Botanik und Zoologie wurde im Fach Naturgeschichte auch in Grundzügen die Mineralogie der Gesteine unterrichtet. Die Gesteine wurden dabei weitgehend ohne Zusammenhang mit den Pflanzen im Unterricht hauptsächlich nach ihrer mineralischen Zusammensetzung beschrieben (vgl. auch WALDER 2002, S. 198).

Einen Schritt weiter ging Ludwig Stelz, Realgymnasialprofessor, der 1892 den Schulgarten der Bockenheimer Realschule in Frankfurt/M. eingerichtet hatte. Er schreibt, dass 1894 in diesem Garten „auf der Südwestseite des Abortes ein gegen diesen aufsteigender Hügel von 28 m<sup>2</sup> Größe aus großen Felsstücken (Taunus-schiefern, Basalten und Quarziten) aufgebaut und mit der nötigen Erdkrume versehen“ wurde (STELZ 1908, S. 9). Der Hügel der Bockenheimer Realschule war zwar noch kein Alpinum. Aber es wurden daran heimische Pflanzen demonstriert, die an mageren, trockenen, sonnigen Standorten gediehen wie etwa Grasnelke, Ginster, Küchenschelle, Silberdistel. Stelz beschreibt, dass ein jüngerer Kollege am Mittelrhein „auf dünnen Felsplätzen“ wachsende Sträucher wie „*Sorbus torminalis*, *Aronia rotundifolia*, *Prunus mahaleb*, *Cotoneaster vulgaris*“ für den Schulgarten ausgegraben hatte. Das waren Sträucher, die „während eines trockenen Sommers ihr Laub teilweise verlieren und offenbar eine Art Sommerruhe wie die Sträucher der Mittelmeerländer eingehen“ (S. 11). Der Steinhügel gehörte zum „landschaftlich angelegten Teil“ des Schulgartens. Darin fand sich auch ein künstlicher Bachlauf. Der führte vom Hügel zu einem angelegten Teich. Stelz begründete die landschaftliche Anlage des Gartens damit, dass seine Schüler durch die Ausdehnung der Stadt nicht mehr leicht Pflanzen für ihre „Pflanzenhefte“ aus der umgebenden Feldflur sammeln konnten und nun auf die Pflanzenlieferung aus dem Schulgarten angewiesen waren (STELZ 1908, S. 5).

Der Umfang des Pflanzenbedarfs für den Natur beschreibenden Unterricht und für die Anlage der Schülerherbarien muss damals

in Städten groß gewesen sein. Nach WINKEL (1985) lieferte zum Beispiel der 1883 gegründete Städtische Schulgarten Hannover 1903 an die Schulen in Hannover etwa eine Million Pflanzen aus.

Stelz war ein Vertreter des neuen, auf biologische Reformen angelegten Naturgeschichtsunterrichts. Er argumentierte, dass der sich unter dem Einfluss der Selektionstheorie seit Darwin geändert und andere Schwerpunkte erforderte hätte. Bau und Funktion der Pflanze, der Einfluss des Bodens, des Klimas sowie der Einfluss der Tiere auf Pflanzen, also „die Beziehungen zwischen dem Standort und Aufbau der Pflanze“ (STELZ, 1908, S. 18) müssten nun in den Mittelpunkt des botanischen Unterrichts gestellt werden. Dazu gehörte die Blütenbiologie. Nach Stelz ließ sich mit der biologischen Reform des Naturgeschichtsunterrichts die Fülle der zu beschreibenden Pflanzenarten begrenzen. Das von den Schülern nunmehr im Unterricht nach Linné klassifizierte Pflanzenmaterial sollte sich dadurch an der Bockenheimer Realschule auf nur noch 50 bis 70 Pflanzenarten während der gesamten Schulzeit zu Gunsten der Vermittlung von biologischen Zusammenhängen reduzieren (STELZ 1908, S. 3).

Zur biologischen Unterrichtsreform hat zuerst die Einführung der Blütenbiologie beigetragen. 1865 hatte der Lippstädter Oberlehrer und Blütenbiologe Hermann Müller (1829-1883) einen viel beachteten Lehrplan vorgelegt, in dem die Blütenbiologie exemplarisch behandelt wurde (vgl. TROMMER 2010, S. 134-161, TROMMER 2013, S. 160-181).

Für die Volksschulen durchschlagender war aber der von dem Kieler Meereszoologen Karl August Möbius (1825-1908) und dem Kieler Hauptlehrer Friedrich Junge (1832-1905) popularisierte Biozönose-Begriff (Biozönose = „Lebensgemeinschaft“, JUNGE 1885, vgl. TROMMER 1985, S. 16-53) und der 1908 von Friedrich DAHL (1856-1929) dazu definierte Biotop-Begriff, der mit Lebensraum übersetzt wurde. Die damit eingeleitete Beachtung ökologischer Zusammenhänge im Biologieunterricht hatte Einfluss auf die Gestaltung der Schulgärten. Schülern, zunächst besonders Volksschülern, sollten neben nützlich-praktischer Gartenkenntnis die biologischen Zusammenhänge heimischer Lebensgemeinschaften bewusst gemacht werden. Dazu gehörte Ende des 19. Jahrhunderts nicht nur die Anlage von Tümpeln, Wiesen oder Waldstreifen, sondern auch die von Berg- und Steingärten in Schulgärten. Aus der Durchsicht der Bibliografien Deutscher und Österreichischer Schulprogramme Höherer Schulen ergibt sich, dass in 3.094 Abhandlungen, die zwischen 1800 und 1875 publiziert worden sind, sich keine einzige mit alpinen Pflanzen oder der Anlage von Alpinen beschäftigte (SCHUBRING 1986). Erst um die Jahrhundertwende, als den Alpen und der alpinen Flora zunehmend öffentliche Aufmerksamkeit geschenkt wurde (Tourismus, Schutz der Alpenpflanzen) und als in Botanischen Gärten Alpinen eingerichtet wurden, entstanden auch in Schulgärten vermehrt Steingärten, in die alpine Gewächse gepflanzt wurden.

Ein Beispiel für den Einfluss, der vor allem im Volksschulwesen popularisierten Denkfigur „Lebensgemeinschaft“ (Biozönose) auf die Gestaltung der Schulgärten geben die Verhandlungen im „Deutschen Lehrer-Verein für Naturkunde e.V.“ in dessen Publikationsorgan „Aus der Heimat“. Der „Dresdener Bezirksverein“ des Deutschen Lehrer-Vereins für Naturkunde engagierte sich bei der Neuanlage des Stadtschulgartens in Dresden. Dieser Garten wurde 1896 zur Zweiten „Internationalen Gartenbauausstellung“ als Mustergarten für Schulgärten an Volksschulen eröffnet. Er repräsentierte nicht nur die Gartenwirtschaft, sondern bildete in Grundzügen Aspekte der heimischen Natur ab. Auf dem 1.500 m<sup>2</sup> umfassenden Gelände entstanden Anlagen, die ein Stück Wiese, ein Stück Wald, einen Teich, einen Sumpf, ein Stück Moor sowie einen „Bergeshang“ mit einer Felspartie aus Steinen der Heimat vorführten. Die dazu eingebrachten Pflanzen sollten sich nicht nur für die Demonstration von Wachstumsbedingungen und natürlichen Verwandtschaftsverhältnissen eignen, sondern vor allem den Naturkontakt der Volksschüler zu heimischen Gewächsen vermitteln und „der allseitigen Förderung der ästhetischen Bildung der Volksschulkinder“ dienen (WALDER 2002, S. 126-129).

Parallel zu den bepflanzten Steinhügeln in Schulgärten ist auf Steingartenanlagen in Botanischen Gärten hinzuweisen, die sich an Pflanzenformationen orientierten, z.B. in Frankfurt-Bockenheim 1907/08, Berlin-Dahlem 1899-1904 oder in München-Nymphenburg 1914. Die dort eingerichteten Alpinen waren sowohl Versuchs- als auch Schauanlagen, die das nicht-fachliche Publikum ästhetisch ansprechen sollten. Davon ließen sich Gärtner anregen, die sich mit der Anlage und Pflege großer Stadtschulgärten zu befassen hatten.

Im „Idealschulgartenplan“ des Kronberger Gärtners Carl GRAEBER (1907) finden sich erstmals genauere Angaben über „Gebirgs-, Fels- und Alpenpflanzen“, für deren Anlage im Schulgarten er ausdrücklich die Bezeichnung Alpinum verwendete. Zur Bepflanzung hatte Graeber vorgeschlagen, dass an Hauptpunkten des Alpinums Büsche und Bäume wie Wachholder, Kiefer, Seidelbast und Mahonie stehen sollten. Dazwischen empfahl er „krautartige Gewächse“ anzupflanzen wie „...Stinkende Nieswurz, Deutsche Schwertlilie, Zwergschwertlilie, Bandgras, verschiedene Ehrenpreisarten, Alpenglockenblume, Geknäuelte Glockenblume, Kleine Glockenblume, Stengelloser Enzian, Alpenleinkraut, Ysop, Feder- oder Pfriemgras, Stengellose Eberwurz, Gemeine Kuhschelle, Gemeine Akelei, Alpengänsekresse, Kriechendes Gips- oder Schleierkraut, Edelweiß, Alpenaster, Katzenpfötchen, Grasnelke, Braunstieliger Streifen- oder Milzfarn, Mauerraute, Filziges Hornkraut, Immergrüne Schleifenblume, Alpenmohn, Kriechende Flammenblume, verschiedene Steinbrecharten, Liegendes Seifenkraut, Große Fetthenne, Scharfe Fetthenne, Zweifelfetthenne, Hauslaucharten“ (S. 59). In dieser Empfehlung do-

miniert das Nebeneinander von Wald-, Garten- und Alpenpflanzen. Hinweise auf alpine Wuchsformen oder die Gruppierung der Pflanzen nach ihrer alpinen Herkunft lassen sich nicht erkennen. Wie aus dem Idealschulgartenplan Graebers hervorgeht, gehörte das Alpinum zu einem von dem Pflanzenliefergarten deutlich abgetrennten Exkursions- und Schaugarten (Abb. 1).

Auch der „Alpin- und Steingarten“, der zum Beispiel von dem Braunschweiger Mittelschullehrer Paul Ramke zusammen mit dem Stadtgartenamtsdirektor Georg Wilhelm Michael 1919 im Braunschweiger Hauptschulgarten am Dowesee angelegt wurde, sollte ein zusammenhängendes „Vegetationsbild“ alpiner Pflanzenarten „in ihrer natürlichen Abhängigkeit vom Boden“ zeigen und eine „Harmonie der Natürlichkeit“ zum Ausdruck bringen (ROHE 1982, S. 66). Das Vegetationsbild lässt sich nicht mehr rekonstruieren, vermutlich stand auch hier der Gesichtspunkt des Schaugartens im Vordergrund.

Eine von Martin Herberg verfasste Übersicht über deutsche Schulgärten vermittelt, dass Anfang der 1920er Jahre nicht nur Zentralschulgärten großer Städte, sondern auch viele direkt an den Schulen angelegte kleinere Schulgärten über eine mit dem „Namen Alpinum bezeichnete biologische Gruppe“ (S. 181/182) verfügten. Herberg unterschied dabei je nach Bedeckung durch Pflanzen „offene“ und „geschlossene“ alpine Formationen (S. 183). Zu den offenen zählte er Sandfluren, Schuttfluren und Felsflora“, zu den geschlossenen „Gebüsche, Zwergsträucher und Grasfluren“, wo bei er zu den Grasfluren anmerkte, dass diese im Schulgarten nur „schwer zu halten“ seien (S. 184). Bei Herberg ist eine Liste für die im Schulgärten der Ebene, also „Standort fern“ (nach MEUSEL & HEMMERLING 1980, S. 103-108) zu haltenden alpinen Gewächse für das Alpinum zu finden. Diese Liste wird im Folgenden komplett zitiert, weil sie einen umfassenden Eindruck über die in Schulalpinen ggf. gepflanzten und im Unterricht beschriebenen Pflanzenarten erlaubt, und auch weil die darin genannten Pflanzen in den Alpinen Botanischer Gärten, z.B. auch im Brockengarten zu finden sind:

„*Pinus montana* Miller, Bergföhre  
*Juniperus communis* L. var. *nana* Willd., Zwergwachholder  
*Alnus viridis* DC., Alpen- oder Grünerle  
*Rhododendron ferrugineum* L., Rostrose Alpenrose  
*Loiseleuria procumbens*, Desvaux, Alpen-Azalee  
*Erica carnea* L., Schneeheide  
*Calluna vulgaris* Salisbury, Besenheide  
*Vaccinium vitis-idaea* L., Preiselbeere  
*Vaccinium myrtillus* L., Heidelbeere  
*Dryas octopetala* L., Silberwurz  
*Daphne striata* Trattinik, Steinrösel  
*Salix reticulata* L., Netzblättrige Weide  
*Salix herbacea* L., Krautige Weide  
*Nardus stricta* L., Borstgras

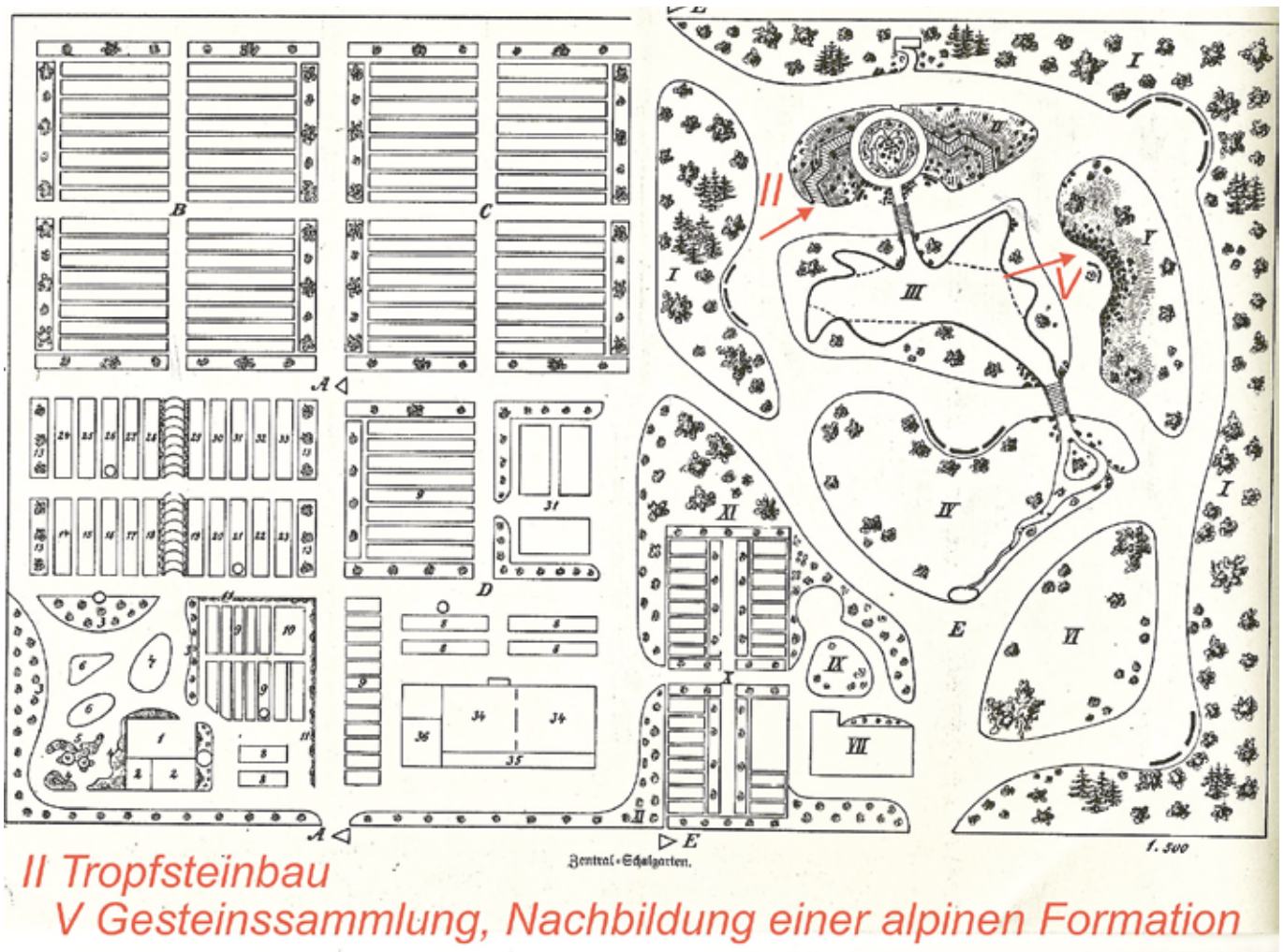


Abb. 1: Idealschulgarten aus GRAEBER (1907): im linken Teil dieses Garten sind die systematisch angeordneten Beete, sowie Anzuchtbeete für die Pflanzenlieferungen an Schulen zu erkennen, im rechten Teil die nach landschaftlichen Gruppen organisierten Beete. Breite Wege und vier Sitzgruppen (gestrichelt) verweisen darauf, dass es sich bei diesem geplanten Gartenteil um eine Schau- und Demonstrationsanlage handelt. Zu den Alpen gehörte der Hügel II. In dem sollte eine Tropfsteingrotte mit einem in der Mitte kreisförmigen Bassin mit Springbrunnen angelegt werden. In der Grotte sollten Reptilien und Amphibien gehalten und gezeigt werden. Das Wasser des Hügels II fließt weiter zu der Teichlange III. Die Anlage V sollte ein aus verschiedenen alpinen Steinen geschichteten Hügel darstellen, in dem alpine Pflanzen neben Bäumen, Sträuchern und Gartenpflanzen gezeigt werden (von Graeber zur Bepflanzung gemachte Vorschläge im Text).

*Carex firma* L., Polstersegge  
*Veratrum album* L., Weißer Germer  
*Allium victorale* L., Allermannsharnisch  
*Trifolium alpinum* L., Alpenklee  
*Oxytropis campestris* DC., Feld-Spitzkiel  
*Crepis aurea* L., Goldpippau  
*Leontopodium alpinum* Cassini, Edelweiß  
*Aster alpinus* L., Alpenaster  
*Chrysanthemum alpinum* L., Alpen-Wucherblume  
*Arnica montana* L., Wohlverleih  
*Centaurea alpestris* Hegetschweiler, Alpenflockenblume  
*Campanula barbata* L., Bärtige Glockenblume  
*Gentiana lutea* L., Gelber Enzian  
*Gentiana acaulis* Jaquin, Gemeiner Enzian  
*Anemone alpina* L., Alpenanemone  
*Trollius europaeus* L., Trollblume

*Potentilla aurea* L., Gold-Fingerkraut  
*Primula farinosa* L., Mehlsprimel  
*Androsace chamaejasme*, Wulfen, Niedriger Mannsschild  
*Cerastium alpinum* L., Alpenhornkraut  
 fast alle Arten *Saxifraga*, Steinbrech“  
 (aus HERBERG 1922, 184-185).

Es lässt sich auch bei Herberg kein klares Bild darüber gewinnen, ob und ggf. wie auf die alpine Vegetation und die im Alpinum kultivierten Pflanzen im Unterricht näher eingegangen worden ist. Vermutlich sind Alpen bei der Vermittlung von Zusammenhängen, wie etwa Wuchsform und Standort herangezogen worden und zur Vermittlung von Artenkenntnis und zu Demonstrationszwecken. Werden Schulbücher und Methodikschriften als Quelle herangezogen, so lässt sich zusammenfassend feststellen, dass - im Gegensatz zur Behandlung

von Nutzpflanzen oder von Gewässpflanzen, von Wald- oder Wiesenpflanzen im Unterricht - die alpinen Gewächse weniger im Fokus des biologisch-botanischen Unterrichts gestanden haben (TROMMER 1993).

#### Die Bedeutung des natürlichen Herabsteigens von Alpenpflanzen für deren Kultur in Alpinen (KERNER 1864)

Es hätte für die Anlage von Schulalpinen in Deutschland keinen besser geeigneten Wegweiser zur alpinen Flora geben können als die Abhandlung des Anton Josef Kerner, Ritter von Marilaun (1831-1898): „Die Cultur der Alpenpflanzen“ (Abb. 2). Kerner entwickelte pflanzengeografische Grundlagen, die auch zur Erfüllung der erwähnten Preußischen Realschul-Lehrpläne von 1854 gepasst hätten. Kerner war vor seiner Universitätskarriere drei Jahre lang selbst Lehrer für Naturgeschichte an der Oberrealschule in Wien gewesen. Er richtete 1875 einen der ersten Hochalpengärten in 2.195 m ü. NHN auf dem Blattner im Stubaital ein.

Für die Anlage von Alpinen im Flachland sind seine Beobachtungen über das natürliche „Herabsteigen“ der Alpenpflanzen etwa entlang von Muren, entlang der Gebirgsflüsse, auf Schotterbänken und Schotterebenen theoretisch und praktisch bedeutsam und didaktisch anschaulich: „Pflanzen, die man selten nur auf den höchsten Gipfeln und Kämmen vermutet, siedeln sich nicht selten auf den Schutthalden und Schotterhalden der Täler und Niederungen an und gedeihen oft viele Jahre lang,

weit entfernt von der Höhenzone, welche man als Alpenregion zu bezeichnen überkommen ist“ (S. 42). Kerner hoffte, daraus Regeln zu finden, die sich auf die Kultur der Alpenpflanzen in niederen Gegenden anwenden lassen (S. 29ff).

An Standorten für alpine Pflanzen in der Ebene des Alpenraums zählt Kerner auf:

- „1. Die Rinnsale von kalten Quellen
2. Die Ufer von Gebirgsseen und Gebirgsbächen
3. Enge Tobel und tief eingeschnittene Schluchten
4. Torfmoore
5. Geröll und Kies der Flüsse“ (S. 42)

Er erwähnt zu Punkt 5 auch die Isargerölle: „Weiter abwärts, bei Freising und München, finden sich noch bei einer Seehöhe von 1.612 Fuß (ca. 490 m ü. NHN, d. Verf.) *Dryas octopetala*, *Saxifraga mutata*, *Galium helveticum*, *Gentiana asclepiadea*, *Poa alpina*, *cenisia*, *Valeriana montana*, *Petasites niveus*, *Chrysanthemum coronopifolium*, *Crepis alpestris*, *Polygonum viviparum*, *Selaginella spinulosa*, und *Gypsophila repens*...“ (S. 43, kursiv gesetzt d. Verf.). Nach seinen Beobachtungen waren für das „Herabsteigen“ alpiner Pflanzen die Bewegung der Schotter, der unbeschattete volle Lichtgenuss, gute Wasserversorgung, hohe relative Luftfeuchtigkeit und das Herauszügern des Frühlingserwachens der Pflanzen durch Eisgang und Schmelzwasser der Gebirgsflüsse oder kalte Tallagen und Schluchten die entscheidenden natürlichen Faktoren, welche die alpinen Pflanzen auch in der Ebene über Jahre gedeihen ließen. Diese Faktoren und dazu die Berücksichtigung von Silikat reichen Schieferböden oder Kalk führenden Böden sollten nach Kerner für die Kultur alpiner Pflanzen in Botanischen Gärten Berücksichtigung finden.

Seine Kulturvorschläge wären auch in Schulgärten umzusetzen gewesen. Denn die reichen von einfachen Topfkulturen bis hin zu Steinhügeln, denen er durch die Mannigfaltigkeit an Strukturen und Kleinstandorten allerdings den Vorzug gab (Abb. 3). Für die Verzögerung des Frühlingserwachens alpiner Pflanzen schlug er vor, die Alpinen im Winter mit Schneehaufen zu überschütten, bei Frost mit Wasser zu übergießen und die künstlich herbeigeführte Schnee- und Eiskecke durch Mauern und eine Abdeckung mit Reisig gegen zu frühes Abtauen zu schützen. Nach Kerner sollten die Alpinen vor allem den phänologischen Studien und der Darstellung pflanzensoziologischer Verhältnisse dienen.

Kerners Schrift zum Verständnis und zur Kultur arktisch-alpiner Vegetation dürfte zwar bei der Anlage von Alpinen in Botanischen Gärten - kaum aber bei der Anlage und Gestaltung von Alpinen in deutschen Schulgärten, zumindest nicht in Nord- und Mitteldeutschland - zur Hand genommen worden sein (Abb. 4).

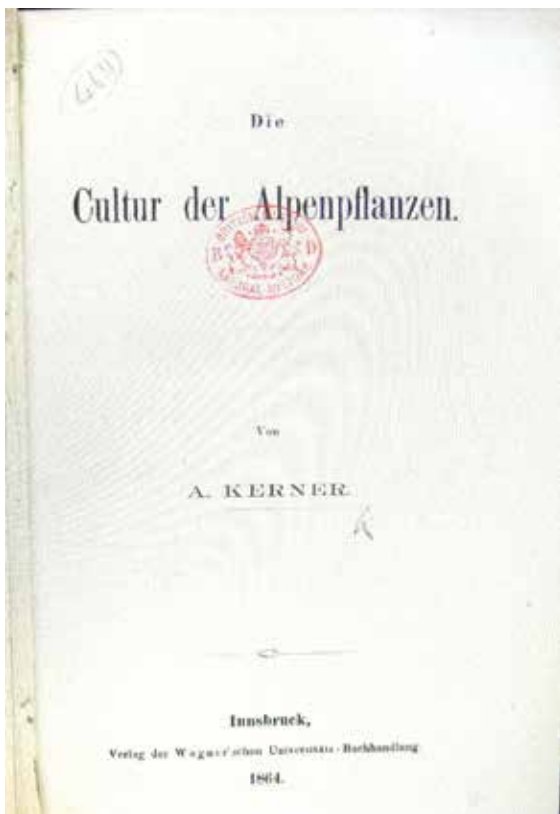


Abb. 2: „Die Cultur der Alpenpflanzen“ (KERNER 1864) - ein wegweisendes Buch zur Kultur alpiner Pflanzen in der Ebene.



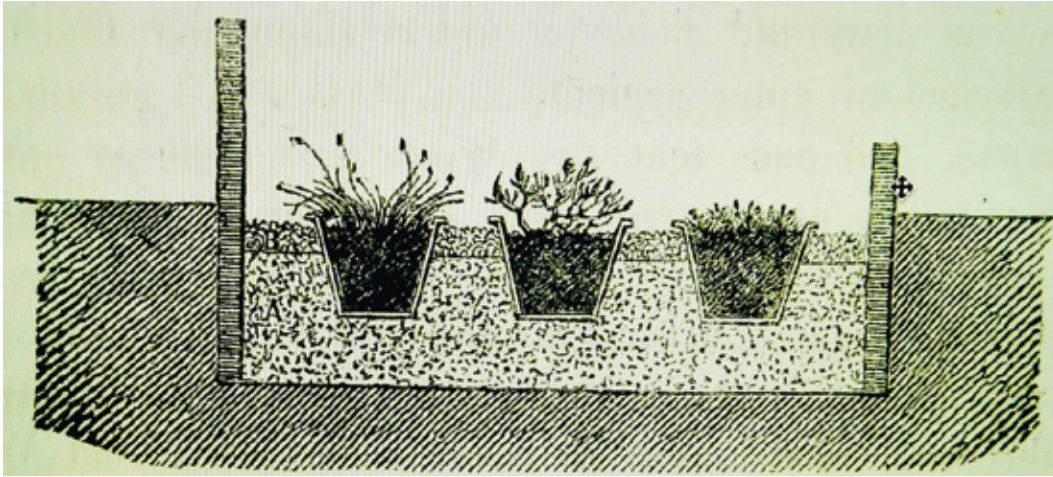


Abb. 3: *Alpinum in der Topfkultur (aus KERNER 1864, S. 61): In ein grobes Schotterbett (gestrichelt) wurde ein Beet aus Quarzsand eingesenkt (gepunktet), in dem die Topfkultur ruht. Zwischen den Töpfen liegt Moos. Das Beet ist von unterschiedlich hohen Mauern umgeben. Die hohe Mauer ist nach Süden errichtet und soll im Winter und Frühling die zu frühe Erwärmung durch Sonneneinstrahlung verhindern. Vorteil für den Unterricht: die Pflanztöpfe konnten nicht nur nach unterschiedlichen Gesichtspunkten angeordnet, sondern auch für die Beobachtung und Beschreibung in die Unterrichtsräume mitgenommen werden. Kerner erwähnt ausdrücklich den Apotheker und Botaniker Ernst Hampe (1795-1800) aus Blankenburg am Harz, der neben fünf Felsgruppen eine Pflanzschule eingerichtet hatte, in welcher er alpine Pflanzen in Töpfen zog.*

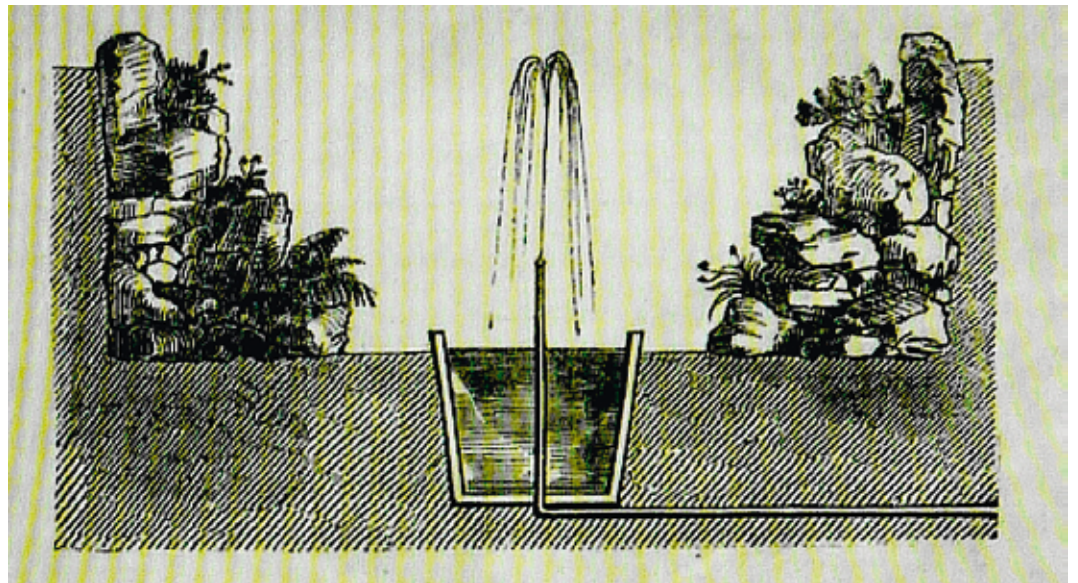


Abb. 4: *Schnitt durch ein terrassenförmig ansteigendes, kreisförmiges Alpinum mit Springbrunnen in der Mitte. In dieser Abbildung wird nur der unterste Steinhang dargestellt, an dem die Besucher auf Kieswegen vorbeigehen. Auch oben auf den Steinhang verläuft ein Kiesweg, hinter dem ein weiterer Steinhang vorgestellt werden muss. In dieser Form, mit mehreren Steinhängen übereinander, die über Kieswege verbunden waren, war nach Kerner im alten Botanischen Garten in München am Lenbachplatz zwischen 1804 bis 1812 ein Alpinum errichtet worden. „Es muss darauf Rücksicht genommen werden, dass zwischen den Steinen zahlreiche Vertiefungen und Klüfte übrig bleiben, die man mit Erde ausfüllt, in welcher die Alpenen wurzeln.“ (aus KERNER 1864, S. 67, 68)*

Eine ähnlich wegweisende Schrift mit praktischen Vorschlägen zur Anlage von Alpinen mit dem Titel „Pflanzen zwischen Schnee und Stein“ wurde 116 Jahre später von Walter MEUSEL und Joachim HEMMERLING (1980) herausgegeben. Aber auch die hat für die Anlage von Alpinen für den Biologieunterricht kaum Spuren hinterlassen.

**2.2 Ende und Neubelebung der Schulgartentradition**  
1960 verschwand die alte, weit verbreitete Schulgartentradition in den alten Bundesländern. Beim Schulneubau waren in der Regel keine Schulgärten mehr vorgesehen und ältere Anlagen wurden aufgegeben. Nur aus wenigen größeren städtischen Schulgartenanlagen sind zur Unterstützung des beobachtenden

und experimentierenden Schulunterrichts in den 1970er Jahren sog. „Schulbiologiezentren“ neu entstanden. Lange Zeit führend war dabei das von Gerhard WINKEL (1985) in Hannover im Stadtteil Herrenhausen auf dem Gelände des ehemaligen botanischen Pflanzenliefergartens „Burg“ begründete. Einen Schwerpunkt dieses Schulbiologiezentrums bildete unter dem Eindruck der Umweltkrisendiskussion nach dem KMK-Erlass 1980 die Umwelterziehung (TROMMER 1993, S. 275 ff). Umwelterziehung war als Unterrichtsprinzip allen Fächern aufgegeben worden. Im Schulfach Biologie sollten Schüler zum verantwortlichen Umgang mit ihrer Umwelt, darin auch mit Lebewesen und deren Umwelt erzogen werden. Das Alpinum spielte dabei aber keine Rolle. Auch bei der „Einrichtung von Biotopen auf dem Schulgelände“ (KLOEHN & ZACHARIAS 1983) wurden Steingärten und Alpinen nicht vorgeschlagen. In der DDR blieben Schulgärten zwar noch bis zum Ende der DDR weit verbreitet. Sie dienten dort der polytechnischen Bildung (KRÜGER, MILLAT 1965). Auch dort dürfte wegen der nützlich-produktiven Ausrichtung der Schulgartenarbeit die Anlage und Pflege eines Alpinums, wenn überhaupt, nur von untergeordneter Bedeutung gewesen sein.

In den letzten zwanzig Jahren hat es unter dem Einfluss einer auf Nachhaltigkeit auszurichtenden Umweltbildung in allen Bundesländern neue Initiativen zur Einrichtung von Schulgärten und zur Anlage von Biotopen auf dem Schulgelände gegeben. Fächerübergreifend und praktisch sollen Schüler „Gestaltungskompetenz“ für einen sozial, ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Umgang mit Natur und Umwelt erwerben können (Lexikon der Geographie 2001). In Fulda 2002 gründete sich unter der Schirmherrschaft der Deutschen Gartenbaugesellschaft die „Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten e.V.“. Diese Arbeitsgemeinschaft ist dabei, für die Anlage von Schulgärten ein sog. „Kompetenznetzwerk“ aufzubauen. Der Freistaat Sachsen hat außerdem ein „Portal für Schulgarten- und Schulgeländegestaltung“ eingerichtet und fördert seit 1993 durch Wettbewerbe Initiativen zur Einrichtung von Schulgärten. Aber auch in diesen jüngsten Initiativen zur Anlage von Schulgärten und Biotopen finden Steingärten oder Alpinen kaum Beachtung. Die Rahmenbedingungen für den Biologieunterricht haben sich überdies zu Ungunsten der Biologie der Arten und Organismen zu Gunsten der Molekular- und Zellbiologie verschoben (TROMMER 2005, S. 208-209). Landläufige Pflanzen der heimlichen Umgebung sind heute den meisten Schülerinnen und Schülern kaum noch bekannt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Alpinen in der Schulbildung nur eine untergeordnete Rolle zugewiesen war. Heute verdienen arktisch-alpine Gärten unter der Maßgabe der Umweltbildung mehr Aufmerksamkeit. Denn die Gebirge gehören nicht nur zu den beliebtesten Urlaubs- und Erholungs-

gebieten. Längst müssen Hochgebirgspflanzen wegen ihrer Schönheit und Seltenheit aus Gründen des Artenschutzes bekannt gemacht und geschützt werden. Viele sensible Standorte von Gebirgs- und besonders von Hochgebirgspflanzen sind durch den Massentourismus, nach der Aufgabe tradierter alpiner Landnutzungsformen, durch Skipistenplanung, durch Beschneigungsanlagen, durch geländetaugliche Fahrzeuge, durch Trendsportarten (Skiroller, Mountainbikes), durch Bach- und Lawinenverbauung bedroht oder schon vernichtet worden. Dem gilt es Einhalt zu gebieten, um die noch vorhandene Vielfalt der Standorte und Alpenpflanzen zu schützen. Biodiversitätsbildung gehört heute zu den anerkannt wichtigsten Umweltbildungsaufgaben. Unter Biodiversität (Biologischer Vielfalt) werden Artenvielfalt, Vielfalt der Lebensräume und genetische Vielfalt zusammengefasst. In Deutschland wurde 2007 durch Kabinettsbeschluss der Bundesregierung die „Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt“ beschlossen (BMU 2014). Bildung zur Biologischen Vielfalt soll dazu beitragen die Bedeutung Biologischer Vielfalt zu verstehen, Ursachen für den Rückgang gefährdeter Arten zu erkennen, Artenschutzmaßnahmen zu unterstützen (vgl. hierzu auch die „Globale Strategie zum Schutz der Pflanzen“ GSPC 2015). Auch der Verband Botanischer Gärten in Deutschland hat auf die „Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt“ reagiert und 2015 für Bedienstete, Honorar- und Ehrenamtliche, die in Botanischen Gärten Bildungsveranstaltungen durchführen, als „Querschnittsthema von Biologie, Politik und Ethik“ das Thema „Biodiversitätsbildung“ angeboten. Der Brockengarten ist - wie im Folgenden gezeigt wird - zur Biodiversitätsbildung gut aufgestellt.

### 3. Natur- und Umweltbildung auf dem Brocken und im Brockengarten

Die Eindrücke, die heute Besucher und Besucherinnen auf dem Brockenplateau machen, sind zunächst widersprüchlich. Bevor auf den Besuch des Brockengartens näher eingegangen wird, sollen zwei Aspekte zur Umweltbildung vorab genannt werden, die den Brockengarten tangieren.

**Der technisch und touristisch erschlossene Bereich des Brockens**  
Auch wenn nach der Wiedervereinigung Deutschlands die militärischen Anlagen auf dem Brocken abgebaut und devastierte Flächen sich entweder durch Sukzession spontan naturierten oder aktiv renaturiert wurden (KARSTE 2014), liegen für alle Besucher des Brockens - egal ob sie zu Fuß, mit dem Rad, mit dem Kremser auf der asphaltierten Straße oder mit der Brockenbahn auf geschottertem Gleisbett oder dem zum Kolonnenweg ausgebauten „Hirtienstieg“ ankommen - die gebauten und neugebauten Einrichtungen sowie die erneuerte oder neu geschaffene Infrastruktur im Blickfeld, und vegetationsfrei angelegte oder gebaute Wege und Plätze liegen den Besuchern unter den Füßen



Abb. 5: Touristen auf dem Gipfel des vegetationsfreien Brockenplateaus.

(Abb. 5). Können sich Besucher des Brockens jener Eindrücke erwehren, die ihnen als Begleiterscheinung aus dem Massen-, Event- und Trendsportartentourismus auf dem asphaltierten Fahrweg zum Brocken und später auf dem Gipfel begegnen? Touristen tragen oft bunte, von Markenzeichen gekennzeichnete Bekleidung, die oft mehr als jede wild wachsende Blume in den Blick fällt. Dazu lassen sich viele Besucher auf dem Brocken gastronomisch ablenken, kaufen Andenken, Getränke etc.. Zur Ablenkung und Zerstreung dienen auch mitgebrachte Freizeitgeräte, die nach Gesprächen mit Nationalparkrangern nicht nur Mountainbikes betreffen, sondern auch Frisbyscheiben, Lenkdrachen und auch schon das Fluggerät Drohne. Die daraus resultierenden Aktivitäten ziehen die Aufmerksamkeit ebenso auf sich wie die Motorflugzeuge, die über die Brockenkuppe fliegen. Wie wirkt das auf jene Besucher, die vor allem am stillen Naturgenuss interessiert sind? Wie wird mit Umweltproblemen durch Toilettengänge, Müll, Abwässer, Lärm auf dem Brocken umgegangen? - Der technisch und touristisch erschlossene Brocken wirft eigene Fragen zur Umweltbildung auf.

### Der Nationalpark auf dem Brocken

Alle Wege zum Brocken führen durch den Nationalpark Harz. Der Nationalpark stellt sich im Besucherzentrum des Brockenhauses dar und macht sich auf der Brockenkuppe zum Schutz der Natur durch einfache Abgrenzungen von Schutzzonen, durch das Angebot eines Rundweges um das Brockenplateau und durch die Präsenz von Rangern bemerkbar. Denn weite Flächen des Brockens sind der freien eigendynamischen Naturentwicklung überlassen, und diese Naturentwicklung wird durch den Nationalpark geschützt und erfordert maximale Zurückhaltung der Brockenbesucher.

Im Nationalpark geht es um eine für den Nationalpark verträgliche Besucherbildung und Besucheraufklärung. Dadurch wird versucht, für die wilde, freie Naturentwicklung wertpositiv zu sensibilisieren (Abb. 6). Dabei wird immer auch auf Ergebnisse



Abb. 6: Hochmontaner, mit Beerheiden und Gräsern überzogener Granitblockfichtenwald, wie ihn die Besucher beim Aufstieg zum Bocken über den Hirtenstieg erleben können.

aus der aktuellen Naturbeobachtung im Nationalpark eingegangen. Ökologische Einsichten, Naturschutz und Vorbildwirkung (z.B. durch Ranger) werden vermittelt.

Eine kleine Notiz zur Vorbildwirkung: Als ein älterer Ranger am Eingang des Brockengartens bemerkte, dass sein morgendliches Angebot, Besucher zu führen, durch keine Nachfrage entprochen wurde, sagte er: „Dann gehe ich eben Müll aufsammeln“. Darauf angesprochen, erklärte der Ranger, dass viele Besucher nicht wüssten, dass eine weggeworfene Bananenschale auf dem Brocken wegen der kälteren Durchschnittstemperatur viel langsamer zersetzt wird als unten in der Ebene und dass er das gern zum Anlass nehmen würde, um für mehr Achtsamkeit für den Umgang mit der Natur im Nationalpark zu werben. Dem Ansinnen des Rangers steht allerdings die kommerzielle Verführung der Touristen entgegen. Ständig neue Dienstleistungs- und Konsumangebote reizen zum Vergnügen, das sich oft nicht mit dem Naturschutz im Nationalpark auseinandersetzt und verträgt.

### 3.1 Der Brockengarten

Im Gegensatz zum Besucheraufkommen im erschlossenen und vom Nationalpark auf den Brockenrundweg gelenkten Besucherstrom kann der Brockengarten nur einer begrenzten Anzahl von Besuchern offen stehen (Abb. 7).

2014 wurden im Brockengarten 6.480 Besucherinnen und Besucher gezählt, die von den Gärtnern im Brockengarten begleitet wurden. Dazu kommen noch 2.200 Besucherinnen und Besucher, die von Parkrangern im Brockengarten betreut worden sind. Die Schülerzahl, die 2014 auf Sonderführungen im Brockengarten gezählt wurde, ist verglichen zu der im Jahre 1911 und zur Gesamtzahl der Brockengartenbesucher mit 610 Schüler/innen verhältnismäßig gering (NATIONALPARK HARZ 2014, S. 24-25), obgleich heute der Brocken für Schul- und Wanderfahrten gut zu erreichen ist.



Abb. 7: Touristen im Brockengarten: was interessiert sie - was sollte sie interessieren?

### 3.2 Umweltbildung im Brockengarten

Für die meisten Brockenbesucher und -besucherinnen liegt der Brockengarten unauffällig im Gelände. Der Garten ist dem Massentourismus entzogen. Die Besucherinnen und Besucher sind an Besuchszeiten gebunden und erleben die Berggartenatmosphäre abgeschirmt von technischen Einrichtungen und dem Getriebe des Massentourismus.

#### 3.2.1 Erlebnis Brockengarten

Für die meisten in den Brockengarten eintretenden Besucherinnen und Besucher ist der Eintritt in den Brockengarten - von Beginn an - etwas Besonderes. Die technischen Einrichtungen liegen



Abb. 8: In der Blickachse der in den Brockengarten Eintretenden (Pfeil), bleibt der technisch erschlossene Brocken zurück (Foto aus EBEL et al. 2005, durch Collage verändert).

für die in den Garten eintretenden Besucher verborgen, denn sie liegen in deren Rücken und treten damit zurück (Abb. 8).

Der primitive Elektrozaun gegen das Rotwild und auch das den Garten umlaufende Schutzgatter werden kaum wahrgenommen. Zwar ist auch im Brockengarten die Brockenbahn zu hören und zu riechen und jeder Besucher, jede Besucherin bringt ihr eigenes Stück Zivilisation mehr oder weniger ablenkend durch Kleidung, Smartphones, Fotoapparate, Trinkflaschen, Sonnencremes mit in den Garten, dazu Taschen, Rucksäcke etc.. Dennoch erleben die meisten Besucher den Brockengarten und auch sich selbst qualitativ anders als am Bahnhof der Brockenbahn oder beim Brockenwirt oder im Brockenhaus. Dazu tragen vor allem die Ruhe und die ästhetische Beschaulichkeit des Gartens bei.

Der Blick schweift bei guter Sicht unabgelenkt über die Steinbeete mit den Gewächsen auf Stein und Schotter über das Krummholz in die Ferne in die Bergkulissen von Wurmberg und Achtermann und stimuliert das Naturerleben. Ganz anders ist das Gartenerlebnis bei Nebel. Nebel lenkt sofort den Blick auf das Naheliegende und umgibt den Besucher mit einer geheimnisvollen Atmosphäre.

Das alpine Gartenerlebnis ist ein bedeutsamer, Aufmerksamkeit und Staunen vermittelnder Teil der Umweltbildung auf dem Brocken.

#### 3.2.2 Was interessiert die Besucher?

Es ist kaum möglich für das heterogene allgemeine Publikum, das den Brockengarten besucht, verlässlich vorherzusagen, was interessiert. Für den Einen steht der ästhetische Genuss, die Harmonie der Gartenanlage im Vordergrund, für andere die blühenden Pflanzen. Die erstaunte Bemerkung: „Guck mal, die Pflanze kommt aus Neuseeland!“ war durch die Fundortangabe auf dem Schild neben der Pflanze angeregt worden. Eine Besucherin entdeckte die Ähnlichkeit mit einer Pflanze, die sie im eigenen Garten angesiedelt hatte. Andere waren augenscheinlich nur an ein paar Fotos interessiert oder an einem „Selfie“-Schnappschuss mit der Digitalkamera, der vielleicht verkünden sollte: „Hallo - ich bin im Brockengarten.“ Wieder andere wollten etwas vom Gärtner über die wechselvolle Geschichte des Brockengartens wissen, welche Pflanzen von Anbeginn noch da sind und Zeiten ohne Pflege auf dem Brocken überdauerten. Und dann gibt es die Besucher, welche das Spektakuläre suchen, die besonders seltene, besonders schön blühende Pflanze. Es gibt auch welche, die sich angesichts der Fülle ausgeschilderter Pflanzen überfordert fühlen und schon deshalb von einem Experten, der sich auskennt, durch den Garten begleitet werden wollen. Daraus folgt, wer Besucherinnen und Besucher im Brockengarten führt, wird mit unterschiedlichen Erwartungen konfrontiert und herausgefordert, sich darauf einzulassen - oder nicht.

### 3.2.3 Inhaltsauswahl

Ein wesentlicher Aspekt von Didaktik ist die Auswahl der Bildungsinhalte. Zu dieser Auswahl gehört, den Brockengarten im Kontrast und Vergleich zur massentouristisch erschlossenen Sphäre im Nationalpark relativ still und in Ruhe zu erleben. Die Inhaltsauswahl wird durch die jeweils angetroffene Situation mit ihren Phänomenen konkret beeinflusst, also auch vom Wetter, der Saison, der aktuellen Pflanzenentwicklung, und vor allem wird sie von den fachkundigen Begleitern der Besuchergruppen, die durch den Garten führen, inhaltlich und auch persönlich mitbestimmt.

### 3.2.4 Bewusstsein bilden über den Standort

Zu dem besonderen Standort auf dem Brocken können Brockebesucher bereits eigene Wahrnehmungen und Erfahrungen beibringen, etwa empfundene Temperaturunterschiede und Windverhältnisse, Unterschiede in der Vegetationsentwicklung unten im collin-planaren „Flachland“ oder oben auf dem Brocken. Auch an Wetterberichte mit Temperaturangaben, Windgeschwindigkeiten, Schneehöhenangaben, in denen die besonderen Verhältnisse auf dem Brocken zum Ausdruck kamen, können sich die meisten Besucherinnen und Besucher erinnern. Je nach Witterung und über das Jahr verteilt kann der Brocken strahlungsintensiv, warm oder kalt, windig bis stürmisch, neblig, im Regen, im Schnee, eisig und mit Rauhref-Bildungen erlebt werden. Zusammengenommen ergibt sich daraus die klimatische langfristige Wirkung auf die Vegetation. Der subalpine Standort bestimmte nicht zuletzt die erfolgreiche Ansiedlung arktisch alpiner Pflanzenarten. Nach KARSTE (2011) entsprechen die ökologischen Bedingungen im Brockengarten (ca. 1.100 m ü. NHN) etwa denen einer Höhenlage in den Alpen von ca. 2.000 m ü. NHN.

### Beispiele für vergleichende Momentaufnahmen

Am 18.05.2015 waren in ca. 78 m ü. NHN im ostbraunschweigischen Hügelland die Ebereschen voll erblüht. Am gleichen Tage zeigte sich auf dem Brocken in über 1.100 m ü. NHN, dass dort die Ebereschen gerade die ersten Blätter ausgetrieben aber noch nicht entfaltet hatten. Auf dem Brocken wurden am gleichen Tage außerdem noch Buschwindröschen und Hohe Schlüsselblumen blühend angetroffen, die in der Ebene und im Hügelland schon längst verblüht waren.

Beobachtung der arktisch-alpinen Pflanze *Dryas octopetala* (Silberwurz) am gleichen Tag im eigenen Garten (78 m ü. NHN) - vergleichbar wäre auch Silberwurz im Botanischen Garten Braunschweig gewesen: Am 18.05.2015 zeigten sich durchweg frisch beblätterte etwa 10-15 cm hohe Austriebe mit Blüten und schon verblühte Austriebe im eigenen Garten, während im Brockengarten am gleichen Tag der Silberwurz im Alpenbeet im nur wenige Zentimeter hohen Pflanzenteppich noch nicht ausgetrieben hatte und in Winterruhe verharrete (Abb. 9).

### Vergleich arktisch-alpine Wuchsformen

Besucherinnen und Besuchern wird beim Rundgang durch den Garten auffallen, dass immer wieder ähnliche Wuchsformen auftreten. Die haben sich artübergreifend und konvergent in verschiedenen Gebirgen der Welt herausgebildet und an klimatischen Extremstandorten mit hoher Strahlungsintensität, mit langen Kälteperioden, Schnee, Eisgang, Frost- und Hitzetrocknis bewährt. Dazu gehören z.B. die Kissenpolster-Pflanzen. Sie schützen ihre Vegetationsknospen vor eisigem Wind und auch vor Austrocknung bei starker Strahlungsintensität. Kissenpolster sind durch starke Pfahlwurzeln im Untergrund gegen Erosionskräfte verankert. Außerdem findet im inneren der Vegetationspolster Humusbildung statt. Die Polster halten auch bei Trockenheit die Feuchtigkeit und schützen vor Austrocknung. Mit ihrer Pfahlwurzel (vgl. REISIGL & KELLER 1994, S. 24)



Abb. 9: Standortvergleich und phänologische Entwicklung des Silberwurz (Dryas octopetala) am 18.05.2015: links im eigenen Steingarten Flechtort 78 m ü. NHN (Ostbraunschweiges Hügelland) blühend und rechts im Brockengarten 1.140 m ü. NHN noch in Winterruhe.



Abb. 10: Polsterwuchs im Brockengarten; links: *Silene acaulis* (Stängelloses Leimkraut, Familie der Nelkengewächse), zirkumpolar verbreitet in arktisch alpinen Gebirgen; daneben rechts *Bolax gummifera* (Familie der Doldengewächse), eine auch in der Hügelstufe Südamerikas sowie den Falklandinseln vorkommende Art; unten links *Myosotis pulvinaris* (ein Vergissmeinnicht aus der Familie der Raublattgewächse aus den Gebirgen des südlichen Neuseelands). Alle drei Polster sind mit einer Pfahlwurzel im Bodensubstrat verankert (vgl. REISIGL & KELLER 1994).

sind sie fest im Untergrund verankert. Die strömungsgünstige Polsterform bietet dem Wind wenig Widerstand.

Der Brockengarten zeigt konvergente Beispiele von Kissenpolsterpflanzen aus unterschiedlichen Regionen und Gebirgen der Welt. Dies unterstreicht die evolutionäre Herausbildung dieser in exponierten Windlagen der Gebirge bewährten Wuchsform. Nur drei Polster seien hier stellvertretend herausgegriffen (Abb. 10).

Außerdem sind im Brockengarten zahlreiche Beispiele zu sehen, wo artverschiedene Pflanzen die rasche Erwärmung von Steinen bei Sonneneinstrahlung durch Polsterwuchs, Horst- und Spalierwuchs entlang der Steine oder auf Steinen ausnutzen. (Weitere Wuchsformen vgl. REISIGL & KELLER 1994). Solche und andere standörtliche Betrachtungen arktisch-alpiner Vegetation können und sollen die Besucher für Anpassungen und Eigenheiten arktisch-alpiner Vegetation sensibilisieren.

### 3.2.5 Tun und Nicht tun - im Brockengarten und im Nationalpark

Der amerikanische Poet und Naturalist Henry David Thoreau beschrieb 1846 die alpine Felswildnis auf dem Gipfel des Granitmassives des Mt. Katahdin (1.606 m ü. NHN) im Bundesstaat Maine/USA so: „Dies ist keines Menschen Garten ... die

Natur hat das gemacht“ (S. 94). Dies Zitat passt zum Motto der deutschen Nationalparke: „Natur Natur sein lassen“.

Der Brockengarten ist anders. Denn in dem werden die dem natürlichen Standort zwar nahekommenden aber in gestalteten Beeten gepflegten arktisch-alpinen Pflanzen einzeln, ohne dass sie dem Konkurrenzdruck erliegen oder Stand halten müssen, gepflegt und beobachtet.

Es gibt aber auch im Brockengarten Bereiche eigener Ausbreitungsdynamik der Vegetation zu sehen, die Vergleiche erlauben, was durch Tun oder Nicht Tun entsteht. Dazu gehören



Abb. 11: Begrenztes Zulassen: vitale Ausbreitungsfläche des Krummholzes von Schweizer Weide, windzerzausten Fichten und Beerstrauchheiden im Brockengarten.

gärtnerisch unbearbeitete Beerstrauchheiden und Grasfluren mit windzerzausten Fichten (Abb. 11). Auffällig sind für die Besucher außerdem die im Garten vital sich ausbreitenden Gebüsch der in den Garten eingebrachten Pflanze Schweizer Weide (*Salix helvetica*) oder Gelber Enzian, Purpurenzian und Ungarischer Enzian und deren Bastarde.

Aber der Brockengarten ist kein Tu-nicht-Areal, sondern ein vom ständigen Beobachten und Tun abhängig gestalteter und gepflegter alpiner Garten. Er ist wesentlich älter als der Nationalpark Harz. Erst mit dem Nationalpark Harz wurde großflächig die Entwicklung der Naturdynamik in Gang gebracht. Sich mit Tun und Lassen im Naturschutz, im Brockengarten, im Nationalpark und darüber hinaus in den Gebirgen (Aufgabe alpiner Landnutzungsformen, Skipistenplanung, Beschneigungsanlagen) auseinanderzusetzen, gehört zur Natur- und Umweltbildung einer vom Tourismus und landschaftlichen Erschließungsdruck mitgeprägten Gesellschaft.

### 3.2.6 Bildungsschwerpunkt Biologische Vielfalt

Durch die Beobachtung und das Management spezieller und für den Nationalpark Harz einzigartig natürlich vorkommender Pflanzen wie der Brocken-Anemone (*Pulsatilla alpina*, ssp. *alba*) oder wie dem Brockenhabichtskraut (*Hieracium nigrescens*, ssp. *bructerum*) hat der Brockengarten für die Erhaltung, Ausbreitung und Beobachtung im Nationalpark Harz Verantwortung übernommen. Zunächst führte dies zur Ansiedlung und Ausbreitung der Brockenanemonen-Besenheide im Bereich des Brockengartens, danach auch außerhalb des Brockengartens auf dem Brockenplateau.

Im Bereich ehemaliger Militärgelände auf dem Brocken wurde und wird als Managementmaßnahme für die Brockenanemone die Besenheide (*Calluna vulgaris*) gepflanzt, weil im Schutz der Besenheide die Brockenanemone am besten gedeiht und sich ausbreitet (KARSTE 2014).

Brockenbesuchern wird das Ergebnis des erfolgreichen Managements der Besenheide anschaulich vorgeführt. Sie besuchen die Managementflächen der Besenheide, und sie sehen, dass sich die Brockenanemone darin ausgebreitet hat.

Besucher erfahren in diesem Zusammenhang auch, dass durch hohe Stickstoffeinträge, die mit den Niederschlägen auf das Brockenplateau gelangen, das Wachstum von Gräsern begünstigt wird. Die Vergrasung würde aber die Besenheide überwuchern und verdrängen, wenn den Pflanzen der Besenheide nicht durch Managementmaßnahmen ein „Konkurrenzvorteil“ gegenüber den Gräsern verschafft werden würde, von der wiederum die Brockenanemone profitiert (KARSTE 2014, S. 13f). Die Besenheide muss auf dem Brocken nicht durch Schafe kurz gehalten werden. Das besorgt der Eisschliff im Winter (KARSTE, mdl. Mitt.). Hoher Stickstoffeintrag in magere Pflanzenstandorte ist eine der

Ursachen für den Verlust an Artenvielfalt. Dieses Umweltproblem entsteht nicht auf dem Brocken, sondern in der Agrar- und Industrielandschaft aus Verkehr und Landwirtschaft (Massentierhaltung, Düngung). Die durch die Luft bewegten Schadstoffe machen vor dem Nationalpark und dem Brockengarten nicht Halt. Das Problem reicht bis in den Lebensalltag der Besucher des Brockengartens. Die Managementmaßnahmen der Brocken-Anemone sind daher gut geeignet, den Besuchern die Kontamination von Ökosystemen und die dadurch verursachte Gefährdung der Biologischen Vielfalt beispielhaft bewusst zu machen.

Unter dem Motto „Die letzten ihrer Art“ wird derzeit in der Woche der Botanischen Gärten 2015 im Botanischen Garten der Universität Rostock auch das Thema der gefährdeten Wildpflanzen behandelt. Dieses Motto greift auf einen Buchtitel von ADAMS & CARWARDINE (1992) zurück. Unter anderem soll es bei diesem Motto den Botanischen Gärten darum gehen, Arten an ihren Naturstandorten zu erhalten. Das Management der Brocken-Anemone gilt „der letzten ihrer Art am Naturstandort Brocken.“ Sie wird vom Brockengarten aus an ihrem natürlichen Standort im Nationalpark Harz auf dem Brockenplateau erhalten. (Abb. 12)

Schließlich kann im Brockengarten den Besuchern am Brockenenzian (*Gentiana lutea* x *Gentiana purpurea* und *Gentiana lutea* x *Gentiana pannonica*) auch ein Beispiel für die Entstehung Biologischer Vielfalt vorgeführt werden. Die Ausgangsarten (*Gentiana lutea*, *Gentiana purpurea* und *Gentiana pannonica*) sind zwar als Standort ferne Arten einmal in den Brockengarten eingebracht worden. Sie zeigen aber dort eine eigendynamische Ausbreitungs- und Bastardisierungstendenz. Deren Kreuzung erfolgt nicht direkt durch den Menschen, sondern entstand spontan, wild züchtend. (EBEL et al. 2005, S. 83)



Abb. 12: Beitrag zur Biodiversität: Die Brocken-Anemone wird „als letzte ihrer Art“ in der Besenheide am natürlichen Standort im Nationalpark Harz erhalten.

In engem Zusammenhang mit der Biologischen Vielfalt der Pflanzen stehen schließlich die sog. Ökosystemdienstleistungen arktisch-alpiner Pflanzen, die auch den Laien interessieren dürften. Viele dieser Pflanzen begünstigen durch ihre Lebens- und Wuchsformen die Humus- und Bodenbildung im Gestein. Unter der Bedeckung von Pflanzenteppichen, Polstern oder Horsten ist die von den Pflanzen eingeleitete Humus- und Bodenbildung vor der Erosion geschützt. Und wer schließlich in der Blütezeit den Brockengarten besucht, wird von der Vielzahl an Schmetterlings-, Schwebfliegen- und Wildbienenarten überrascht sein, die sich in den Blütenteppichen tummeln. Diese Insekten finden mehr Nahrung im Brockengarten als irgendwo sonst im Hochharz.



Abb. 13: Kleines in Bulten und Schlenken gegliedertes Moorbeet im Brockengarten, in dem charakteristische Pflanzen der Hochmoore im Nationalpark Harz vorgestellt werden.

Zuletzt könnte den Besuchern das Thema Biologische Vielfalt auch noch meinungsbildend auf den Weg in den Alltag mitgegeben werden. Sterilität von Kiesbeeten und Steinen in Gärten und Vorgärten, die keinem Regenwurm mehr eine Chance geben, die künstlich versteinerten Flächenversiegelungen zu durchdringen und mit Boden in Berührung zu bringen, regt zum Vergleich mit dem Brockengarten an. Dort finden die Besucher eine steingärtnerische Anlage, die 1.500 Pflanzen (nach KARSTE 2011) Raum und Zeit zur Entwicklung geben. Könnte dies nicht als Ermunterung für einen biologisch vielfältigeren Umgang mit Pflanzen zwischen Steinen, Kies und Erde in Gärten der Ebene mitgenommen werden.

### 3.2.7 Der Brockengarten - ein Botschafter für den Nationalpark Harz

Es sind nicht nur die Brocken-Anemone oder das nur im Nationalpark Harz in Hochlagen auf Granitfelsstandorten endemische Brockenhabichtskraut, das mit Zwergsträuchern aus Blaubeeren und Preiselbeeren vergesellschaftet anzutreffen ist und im Brockengarten beobachtet wird.

Auch ein kleines in Bulten und Schlenken gegliedertes Moorbeet auf Torf über einer Folie wurde angelegt. Es stellt wichtige Vertreter der Harzer Hochmoore vor wie Torfmoose (*Sphagnum spec.*), Rasen-Haarsimse (*Trichophorum caespitosum*, ssp. *germanicum*), Scheidenwollgras (*Eriophorum vaginatum*), Rosmarinheide (*Andromeda polyfolia*) oder die kleine Moosbeere (*Vaccinium oxycoccus*) sowie den Rundblättrigen Sonnentau (*Drosera rotundifolia*). Zwar begegnet der Wanderer im Nationalpark Harz auf vorbildlich angelegten Stegwegen (z.B. am Rande des Bodebruchs, in vermoorten Stellen am Ostufer des Oderteiches oder am Rande des Großen Torfhausmoores) original der Moorvegetation. Jedoch bleiben für die Unkundigen die Hochmoorpflanzen dort namenlos, anonym und oft verborgen. Im Brockengarten werden sie nicht nur nah und für den Betrachter zugänglich erlebbar, sondern die Besucher erhalten Informationen zum Namen und zur Verbreitung dieser meist geschützten Pflanzen (Abb. 13).

Außerdem kann der Besucher im Brockengarten typischen Vertretern der Harzer Bergwiesen wie dem würzig duftenden Bärwurz (*Meum athamanticum*) oder dem Bergwohlverleih (*Arnica montana*) begegnen.

### 3.3 Begeisterung - Schlüssel zur Vermittlungsmethodik

Es wurde schon gesagt, dass auf viele Besucher die Ästhetik der Anlage des Brockengartens und die Vielfalt und Schönheit der Pflanzen ästhetisch ansprechend wirken. Der Garten ist nicht nur Versuchsgarten, er ist auch ein Schaugarten, ein „Augenöffner“.

Für den Besuch des Brockengartens kann gar nicht deutlich genug hervorgehoben werden, dass die Besucher nicht auf einen beschilderten Lehrpfad verwiesen werden, sondern dass sie ein von Mensch zu Mensch informierendes Angebot kundiger Begleitung durch den Garten erhalten. Für diese Begleitung ist fachliche Kompetenz und Begeisterung für das arktisch alpine Wachsen und Gedeihen im Brockengarten und im Nationalpark Harz der Schlüssel zum Vermittlungserfolg.

Begeisterung kann aus Enthusiasmus und aus Extase entspringen.

- Enthusiasmus ist inspirierte, passionierte, von innen heraus (intrinsisch) motivierte Begeisterung.
- Extase ist die laute, spontane Begeisterung, das Außer-sich-sein, das begeisterte Außer-Fassung-geraten. Extase kann überschwänglich wirken, kann sich in Worten, Gesten und Mimik artikulieren. Extase kann nur dem zur Show entreten, der sich der überschwänglich artikulierten Mittel effektiv bedient. Die laute Form der Begeisterung darf deswegen keinesfalls verworfen werden. Sie ist wunderbar und wirkt ansteckend, wenn sie von Herzen kommt. Sie kann dann mitreißen, emotional bewegen, beschwingen.



Die eher leiser inspirierte Form zu begeistern mag vielleicht weniger in Gefahr sein, sich anderen überzustülpen. In jedem Fall gibt sie denen, mit denen Begeisterung zu teilen versucht wird, mehr Raum zu eigener Entfaltung. Enthusiasmus ist, weil verhaltener, oft nur auf den zweiten Blick erkennbar.

Es gibt kein Rezept für die begeisternde Besucherbegleitung. Jede Situation, jede Besuchergruppe und jedes Temperament, das sich der Bildungsaufgabe stellt, ist anders gestimmt und sucht in der Gemeinschaft nach Abstimmung und Akkord.

#### 4. Quote oder O-Ton? - Zur Evaluation der Besucherresonanz im Brockengarten

Empirische Untersuchungen über das Verhalten von Menschen, über das, was sie gelernt haben oder über deren Meinungsbildung gehören heute zum Alltag. Daten werden durch Befragung anonym und quantifizierbar erfasst und dann in Quoten (Quote = prozentualer Teil einer Gesamtzahl) präsentiert.

Wenn etwa festgestellt werden würde, dass über 90 Prozent aller Besucher des Brockengartens bei einer Befragung mit Ja ankreuzen, dass sie von dem Besuch sehr angetan sind, dann ist eine solche Quote ein vorzeigbar positives Ergebnis, vor allem, wenn weitere Nachfragen ergeben würden, dass die Besucher bejahen, nicht nur von der Schönheit der gepflegten gärtnerischen Anlage, der Vielzahl vorgefundener Arten, sondern auch von der persönlichen Begleitung durch Fachleute angetan zu sein.

Daneben gibt es die qualitative Erfassung originaler, einmaliger Äußerungen (Originaltöne, O-Töne) der Besucher. Damit können persönliche Eindrücke, Assoziationen, Gefühle und Gedanken und auch die Begeisterung der Besucherindividuen authentisch zum Ausdruck gebracht werden.

Wenn etwa wie auf einer mehrtägigen Exkursion mit Studenten im norwegischen Fjell im anonym geführten Exkursionstagebuch zu lesen steht: „Die Pflanzen hier sind uns toll überlegen. Sie halten Wind und Kälte das ganze Jahr über Stand. Wir fühlen uns schon toll in unseren High-Tech Klamotten, wenn wir es hier einen Tag lang aushalten“, dann kommt darin nicht nur die persönliche Wertschätzung der Vegetation und Respekt vor den erlebten arktisch alpinen Pflanzen zum Ausdruck, sondern auch demütige Einsicht über die zivilisatorische Abhängigkeit. Angenommen ein ähnliches Zitat würde nach dem Besuch des Brockengartens notiert werden (etwa mit dem geänderten Satzteil, „... wenn wir es hier eine Stunde lang aushalten“), dann ginge aus dem zitierten O-Ton die persönliche Betroffenheit und Wertschätzung der Flora im Brockengarten hervor, die durch ein Ankreuzen des Ja oder Nein auf einem Frageformular nicht zu erfassen ist.

Für die Sammlung von O-Tönen wäre die Auslage eines Brockengarten-Tagebuches denkbar, in dem Besucherinnen und

Besucher ihre Eindrücke wiedergeben können. Zur Kommentierung im Brockentagebuch könnten die Besucher gebeten werden sich zu fragen, was sie im Brockengarten besonders beeindruckte und was sie ggf. von ihrem Besuch mitnehmen.

Wie wichtig Originaltöne für die Interpretation des Naturverständnisses sind, zeigen Auswertungen von Exkursionstagebüchern im norwegischen Reinheimenfell (TROMMER 2000, 2014) oder von Hüttentagebüchern aus dem Val Grande Nationalpark im Piemont (SCHWAB, ZECCA & KONOLD 2012).

#### Zusammenfassung und Danksagung

Zum Thema Stein- und Berggärten gibt es etwa so lange wie es den Brockengarten gibt Gestaltungsversuche im Schulgarten, obgleich alpine Pflanzen nicht im Focus des botanischen und später biologischen Schulunterrichts gestanden haben. An wenigen Beispielen wurde aufgezeigt, dass in einem arktisch-alpinen Berggarten wie dem Brockengarten im Nationalpark Harz zu Aspekten der aktuellen naturschutz- und gesellschaftsrelevanten Natur- und Umweltbildung wertvolle Beiträge entwickelt und vermittelt werden.

Der Verfasser dankt Herrn Dr. Gunter Karste, dass mit ihm die hier vorgelegten Bildungsaspekte besprochen und gemeinsam abgewogen werden konnten. Dr. Karste ist verantwortlicher Biologe im Brockengarten. Er ist außerdem an der Beobachtung und Kartierung der Vegetation im Nationalpark maßgeblich beteiligt. Er reduziert sein umfangreiches Fachwissen auf ein verständliches und die Besucherinnen und Besucher ansprechendes Maß und hat in langer Erfahrung bewährte Modi geeigneter Besucherbegleitung in den verschiedenen Abschnitten der Vegetationszeit und bei verschiedenen Wetterlagen im Brockengarten erprobt und dazu mit seinen Brockengärtnern und Nationalparkrangern eine kollegiale Routine entwickelt, ohne sich damit lehrplanmäßig festzulegen. Ihm verdankt der Verfasser - selbst nur ein Besucher des Brockengartens - manche kundige Führung mit wertvollen Einsichten zur arktisch-alpinen Vegetation, zur Vegetation des Nationalparks Harz und zum Naturschutzmanagement, und er erinnert sich gern, dass er dabei gemeinsame Begeisterung am Erlebnis der Vegetation im Brockengarten und darüber hinaus mit Gunter Karste teilen konnte.

In diesem Zusammenhang soll und muss auch noch das reich bebilderte, handliche Buch „Brockengarten im Harz“ erwähnt werden, in dem sich Besucherinnen und Besucher weiter informieren und bilden können (vgl. EBEL, KARSTE, KÜMMEL, RICHTER & STRUMPF 2005, 2. Aufl.).

**Literatur**

- ADAMS, D. & CARWARDINE, M. (1992): Die letzten ihrer Art. Heyne, München.
- BIBLIOGRAFISCHES INSTITUT (1894): Brocken In: Meyers Konversationslexikon. Leipzig und Wien, 5. Auflage.
- BIBLIOGRAFISCHES INSTITUT (1922): Der Harz .Meyers Reisebücher, Leipzig, 24. Auflage.
- BOTANISCHER GARTEN DER UNIVERSITÄT ROSTOCK: Die letzten ihrer Art. Aufgesucht am 08.05.2015 in <http://www.garten.uni-rostock.de/veranstaltungen/wolche-der-botanischen-gaerten-gefaehrdete-wildpflanzen/>.
- BUNDESARBEITSGEMEINSCHAFT SCHULGÄRTEN e.V. Aufgesucht am 06.05.2015 in [http://de.wikipedia.org/wiki/Bundesarbeitsgemeinschaft\\_Schulgarten-Niedersachsen](http://de.wikipedia.org/wiki/Bundesarbeitsgemeinschaft_Schulgarten-Niedersachsen): <http://www.bag-schulgarten.de/index.php?id=12>.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT- UND NATURSCHUTZ, BAU- UND REAKTORSICHERHEIT (BMU, 2014): Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt. Aufgesucht am 12.05.2015 <http://www.bmub.bund.de/themen/natur-arten/naturschutz-biologische-vielfalt/nationale-strategie/>.
- COLE, C. L. (1900): Bericht des amerikanischen Generalkonsuls aus Dresden. In: Bureau of Foreign Commerce, Department of State: Schoolgardens in Europe, Special Consular Reports, Vol XX-Part II, Government Printing Office, Washington, 196 S.
- DAHL, F. (1908): Grundsätze und Grundbegriffe der biocönotischen Forschung. Zoologische Anzeiger 33, S. 349-353.
- EBEL, F., KARSTE, G., KÜMMEL, F., RICHTER, W., & STRUMPE, W. (2005): Der Brockengarten. Ein Versuchs- und Schaugarten. Schaddach, Goslar, 2. Auflage.
- FREISTAAT SACHSEN: Portal für Schulgarten- und Schulgeländegestaltung. Aufgesucht am 06.05.2015 in <http://www.schulgarten.sachsen.de/>.
- Globale STRATEGIE ZUM SCHUTZ DER PFLANZEN (GSCP): Aufgesucht am 30.05.2015 in [http://de.wikipedia.org/wiki/Globale\\_Strategie\\_zum\\_Schutz\\_der\\_Pflanzen](http://de.wikipedia.org/wiki/Globale_Strategie_zum_Schutz_der_Pflanzen).
- HAMPE, E. (1873): Flora Herzynica. Neu hrsg. vom Bot. Arbeitskreis Nordharz e.V., bearbeitet von Hans-Ulrich Kison und Peter Sacher. Quedlinburg 1995.
- HERBERG, M. (1928): Der Schulgarten. Quelle & Meyer, Leipzig.
- JUNGE, F. (1885): Der Dorfteich als Lebensgemeinschaft. In: RIEDEL, W. & TROMMER, G. (Hrsg.): Nachdruck der dritten Auflage, a.a. O.
- KARSTE, G. (2011): Der Brockengarten im Nationalpark Harz - Mitglied der „Gemeinschaft der Alpinen und Arktischen Botanischen Gärten in Europa“. Gartenkulturen in Europa. Mdv aktuell 7: 132-138.
- KARSTE, G. (2014): Die Entwicklung der Vegetation auf dem Brocken innerhalb der ehemaligen Brockenmauer von 1993 bis 2013. Mitt. flor. Kart. Sachsen-Anhalt(Halle), 19: 11-12.
- KERNER VON MARILAUN, A. J. (1864): Die Cultur der Alpenpflanzen. Wagner, Wien.
- KLOEHN, E. & ZACHARIAS, F. (Hrsg.): Einrichtung von Biotopen auf dem Schulgelände. Landesinstitut Schleswig-Holstein für Praxis und Theorie der Schule (IPTS) und Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Kiel.
- KRÜGER, K. & MILLAT, U. (Hrsg. 1965): Schulgartenpraxis. Volk und Wissen, Berlin.
- KMK - STÄNDIGE KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (1980): Erlass „Umwelt und Unterricht“. Beschluss 17.10.1980.
- Lexikon der Geographie (2001): Umweltbildung. Aufgesucht am 10.05.2015 in: <http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/umweltbildung/8406>.
- MEUSEL, W. & HEMMERLING, J. (1980): Pflanzen zwischen Schnee und Stein. Harry Deutsch, Thun und Frankfurt/M.
- NATIONALPARK HARZ (Hrsg.): Tätigkeitsbericht 2014, Berichtszeitraum 1.10.2013-30.09.2014, Abschnitt 3.2.8 Der Brockengarten. (S. 24/25).
- RAMKE, P. & MICHAEL, G. W.: Hauptschulgarten der Stadt Braunschweig. Aufgesucht am 07.05.2015 in: <http://www.gaerten-parks.de/gaerten-und-parks/braunschweig/hauptschulgarten-am-dowesee.html>.

- REISIGL, H. & KELLER, R. (1994): Alpenpflanzen im Lebensraum. G. Fischer, Stuttgart, Jena, New York, 2. Aufl.
- ROHE, M. (1982): Der Braunschweiger Hauptschulgarten. Braunschweigische Heimat 68, S. 63-71.
- SCHUBERT, R., EBEL, F., QUITT, H., RICHTER, W., RÖTH, J., STOHR, G. & WEGENER, U. (1990): 100 Jahre Brocken-garten. Herzynia N.F. Leipzig 27(4).
- SCHUBRING, G. (1986): Bibliographie der Schulprogramme in Mathematik und Naturwissenschaften (wissenschaftliche Abhandlungen). Franzbecker, Bad Salzdetfurth.
- SCHWAB, S., ZECCA, M. & KONOLD, W. (2012): Das Paradies auf Erden? Der soziale und kulturelle Wert von alpinen Wildnisgebieten am Beispiel des Val Grande National-parks im Piemont. Haupt, Bern.
- STELZ, L. (1908): Schulgarten, Botanischer Unterricht und Lehrbuch. Kesselringsche Hofbuchhaltung, Frankfurt/M. 1908.
- TROMMER, G. (1985): Die Dorfteich-Naturgeschichte. In: RIEDEL, W. & TROMMER, G. (Hrsg.): Friedrich Junge, Der Dorfteich als Lebensgemeinschaft. Nachdruck der 3. Auflage. Lühr & Dircks, St. Peter-Ording.
- TROMMER, G. (1993): Natur im Kopf. Die Geschichte ökologisch bedeutsamer Naturvorstellungen in deutschen Bildungskonzepten. Deutscher Studienverlag, Weinheim, 2. Aufl.
- TROMMER, G. (2000): Kommentare zur Landschaft. In: TROMMER, G. & STELZIG, I. (Hrsg.): Naturbildung und Naturakzeptanz. Frankfurter Beiträge zur biologischen Bildung 2, shaker, Aachen, S. 85-116.
- TROMMER, G. (2005): Bohnen und Biomoleküle. In: GEBAUER, M. & GEBHARD, U. (Hrsg.): Naturerfahrung. Wege zu einer Hermeneutik der Natur. Die Graue Edition, Zug, S. 295-332.
- TROMMER, G. (2010): Der Prüfstein - Die Hypothese im Biologieunterricht Hermann Müllers. In: MÜNZ, H. & MORKRAMER, M. (Hrsg.): Hermann Müller-Lippstadt (1829-1883). Basiliken Presse, Natur und Text, Rangsdorf, S. 134-163.
- TROMMER, G. (2013): „So viel als möglich die Beobachtungen der Erscheinungen“ - Die naturwissenschaftliche Didaktik von Hermann Müller, Oberlehrer in Lippstadt. In: SCHMIDT-LOSKE, K., WESTERKAMP, C., SCHNECKENBURGER, S., WÄGELE, W. (Hrsg.): Fritz und Hermann Müller. Naturforschung für Darwin. Basiliken Presse Natur und Text, Rangsdorf, S. 160-181.
- TROMMER, G. (2014): Durch Wildnis - Freigefühl mit Rucksack. In: LANGENHORST, B., LUDE, A. & BITTNER, A. (Hrsg.) (2014): Wildnisbildung. oekom, München, 54 S.
- VERBAND BOTANISCHER GÄRTEN e.V. : Biodiversitätsbildung. Aufgesucht am 20.05.2015 in [http://www.verband-botanischer-gaerten.de/Elemente/downloads/Ankuendigung\\_Qualifizierungskurs\\_Multiplikator\\_Biodiversitaetsbildung.pdf](http://www.verband-botanischer-gaerten.de/Elemente/downloads/Ankuendigung_Qualifizierungskurs_Multiplikator_Biodiversitaetsbildung.pdf).  
[http://www.verband-botanischer-gaerten.de/Elemente/downloads/Flyer\\_Biodiversitaetsbildung\\_DBU.pdf](http://www.verband-botanischer-gaerten.de/Elemente/downloads/Flyer_Biodiversitaetsbildung_DBU.pdf).
- WALDER, F. (2002): Der Schulgarten in seiner Bedeutung für Unterricht und Erziehung. Kinkhardt, Bad Heilbrunn.
- WINKEL, G. (Hrsg. 1985): Das Schulgartenhandbuch. Friedrich, Velber.

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. i.R. Dr. Gerhard Trommer  
Goethe-Universität Frankfurt/M.  
FB Biowissenschaften - Didaktik  
privat: In der Masch 7  
38165 Lehre  
Tel. 05308-2649  
g-trommer@t-online.de

### *Bisher erschienen:*

- KISON, H.-U. & WERNECKE J. (2004): Die Farn- und Blütenpflanzen des Nationalparks Hochharz. Forschungsbericht. Wernigerode, 184 S. (vergriffen)
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2007) (Hrsg.): Walddynamik und Waldumbau in den Entwicklungszonen von Nationalparks. Tagungsbericht zum Wald-Workshop des Nationalparks Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 1. 73 S.
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2008) (Hrsg.): Tun und Lassen im Naturschutz. Tagungsbericht zur 7. wissenschaftlichen Tagung im Nationalpark Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 2. 119 S.
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2009) (Hrsg.): Aktuelle Beiträge zur Spechtforschung - Tagungsband 2008 zur Jahrestagung der Projektgruppe Spechte der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 3. 92 S.
- BAUMANN, K. (2009): Entwicklung der Moorvegetation im Nationalpark Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 4. 244 S.
- SCHULTZ, T. (2010): Die Großpilzflora des Nationalparks Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 5. 216 S.
- KARSTE, G.; WEGENER, U.; SCHUBERT, R. & KISON, H.-U. (2011): Die Pflanzengesellschaften des Nationalparks Harz (Niedersachsen). Eine kommentierte Vegetationskarte. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 6. 80 S.
- KARSTE, G.; SCHUBERT, R.; KISON, H.-U. & WEGENER, U. (2011): Die Pflanzengesellschaften des Nationalparks Harz (Sachsen-Anhalt). Eine kommentierte Vegetationskarte. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 7 (unveränderter Nachdruck des Ausgabe von 2006). 59 S.
- KOPERSKI, M. (2011): Die Moose des Nationalparks Harz. Eine kommentierte Artenliste. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 8. 248 S.
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2012) (Hrsg.): Waldforschung im Nationalpark Harz - Waldforschungsfläche Bruchberg; Methodik und Aufnahme 2008/09. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 9. 120 S.
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2013) (Hrsg.): Zur Situation der Gewässer im Nationalpark Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 10. 91 S.
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2013) (Hrsg.): Die Libellen des Nationalparks Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 11. 211 S.
- NATIONALPARKVERWALTUNG HARZ (2014): Waldentwicklung und Wildbestandsregulierung im Nationalpark Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 12. 97 S.
- SCHIKORA, H.-B. (2015): Die Websspinnen des Nationalparks Harz. Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz, Band 13. 371 S.

