



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Statistische Analyse lokaler Verbreitungsgrenzen alpiner
Pflanzenarten am Hochschwab/Steiermark/Österreich“

Verfasser

Klaus Steinbauer

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2011

Studienkennzahl lt.
Studienblatt:

A 444

Studienrichtung lt.
Studienblatt:

Ökologie

Betreuerin / Betreuer:

O. Univ.-Prof. Mag. Dr. Georg Grabherr

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1	Gebietsbeschreibung	6
1.2	Untersuchungsgebiet	9
1.3	Fragestellung	10
2.	Methodik	12
2.1	Freilandarbeit	12
2.1.1	Abmessungen, Einrichtung und Verortung der Aufnahmeflächen	12
2.1.2	Standortsfaktoren	14
2.1.3	Methoden der Vegetationserhebung.....	17
2.2	Regression Tree Models.....	18
2.2.1	Begriffsbestimmungen	18
2.2.2	Maß für die Vertrauenswürdigkeit des Modells: die deviance	19
2.2.3	Zurück schneiden der tree models: das pruning.....	21
2.2.4	Anteil erklärter Varianz durch das tree model	21
2.2.5	Statistische Signifikanz der tree models.....	22
2.3	GLM (Generalised linear model)	23
2.3.1	Anwendung des GLM und Hinweise zur grafischen Ausgabe	24
2.4	Twinspan Analyse (Hill 1979)	24
2.5	Weitere statistische Methoden	25
2.5.1	Boxplots	25
2.5.2	Pearson's Korrelationskoeffizient.....	25
2.5.3	Regressionsanalyse (lineare Regression)	26
2.6	Gruppierung der statistischen Ergebnisse	26
3	Ergebnisse	28
3.1.	Verteilung der erhobenen Standortsfaktoren in Transektflächen und Plots.....	28
3.2.	Verwendete Variablen in den tree models	30
3.3.	Vegetationsanalyse mittels Twinspan (Hill 1979)	33
3.3.1.	Gruppe 1: offener Polsterseggenrasen der oberen alpin Stufe	34
3.3.2.	Gruppe 2: offene und geschlossene Polsterseggenrasen der mittleren alpin Stufe	35
3.3.3.	Gruppe 3: <i>Festuca pumila</i> - <i>Agrostis alpina</i> -Gesellschaft Übergang der oberen subalpin Stufe	35
3.3.4.	Gruppe 4: <i>Festuca pumila</i> - <i>Agrostis alpina</i> -Gesellschaft der oberen subalpin Stufe	36
3.3.5.	Gruppe 5: Blaugras-Horstseggenhalden der oberen subalpin Stufe.....	37
3.3.6.	Gruppe 6: Schuttrassen mit Einblütiger Simse und Blaugras-Horstseggenhalden der unteren subalpin Stufe	37
3.3.7.	Gruppe 7: Rostseggenrasen der mittleren subalpin Stufe	38
3.3.8.	Gruppe 8: Blaugras-Horstseggenhalden und Rostseggenrasen der mittleren subalpin Stufe	38
3.4.	Vorkommenswahrscheinlichkeit und Verbreitungsgrenzen subalpin- und alpin-verbreiteter Pflanzenarten: die Ergebnisse der tree models und GLMs.....	39
3.4.1.	Gruppe A: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes, aber keiner deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.	39
3.4.2.	Gruppe B: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes und einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze	43
3.3.3	Gruppe C: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in alpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes, aber keiner deutlichen unteren Verbreitungsgrenze..	47

3.3.4	Gruppe D: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in oberen Bereichen des Untersuchungsgebietes und einer deutlichen unteren Verbreitungsgrenze.	50
3.4	Momentane Verbreitungsgrenzen subalpiner und alpiner Pflanzenarten.....	54
3.5	Zusammenhang zwischen Artenzahl und Höhe (lineare Regression und Pearson's Korrelationskoeffizient, Presence/Absence vs. Line Pointing)	56
4.	Diskussion	58
4.1	Diskussion der Aufnahmemethoden	58
4.2	Diskussion der Vegetationsanalyse	60
4.3	Diskussion der tree models	61
4.4	Vergleich tree models und GLMs	62
4.5	Vergleich der Twinspan-Analyse mit tree models und GLMs	64
4.6	Interpretation der statistischen Ergebnisse	65
4.7	Ökologische Gruppen und zukünftige Entwicklung	67
	Literaturnachweis	71
	Anhang	74
	Zusammenfassung	74
	Abstract	75
	Arten und ihre Häufigkeiten.....	76
	Vegetationstabellen der Twinspan-Analyse.....	87
	Ergebnisse der statistischen Analyse mit tree models und GLMs	91
	Verwendete R-skripts	122
	Tree models	122
	Funktion für die Randomisation der Presence/Absence Daten	126
	Schleife zur Erstellung der GLMs	128
	Lebenslauf	132

1. Einleitung

Seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. mehren sich die Anzeichen einer globalen Veränderung. Zu den eindeutigen Hinweisen dafür zählen die Abnahme des weltweiten Gletschereises, eine Umverteilung der Niederschläge mit einer Zunahme in Teilen Europas, Nord-, Südamerikas und Asiens und einer Abnahme in der Sahelzone, dem mediterranen Raum, Südafrika und Südasien, die Erhöhung des Meeresspiegels um 1.3mm und eine Erhöhung der Jahresmitteltemperaturen, sowohl an Land, als auch in den Ozeanen. Die globale Oberflächen Temperatur erhöhte sich in einem Zeitraum von 1906 – 2005 um 0.74°C (Easterling et al. 2000; Seung-Ki et al. 2011; IPCC 2007). Die mittleren Temperaturen der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, sind nordhemisphärisch sehr wahrscheinlich die höchsten Werte einer durchgehenden 50 Jahr-Periode innerhalb der letzten 500 Jahre, vermutlich sogar der letzten 1300 Jahre (IPCC 2007). Bekannt ist dieses Phänomen unter dem Namen Klimaerwärmung oder globale Erwärmung. Hauptverursacher ist eine anthropogen bedingte, atmosphärische Veränderung der Treibhausgaskonzentration. Zu den wichtigsten klimawirksamen Treibhausgasen zählen Kohlendioxid (CO₂), Methangas (CH₄), Lachgas (N₂O) und verschiedene Halogenkohlenwasserstoffe (IPCC 2007).

Eine Vielzahl von Studien bestätigt den Einfluss der globalen Erwärmung auf eine Reihe von Lebensräumen unserer Erde (z.B. Grabherr et al. 1994; Grabherr et al. 2010; Parmesan et al. 2000; Parmesan & Yohe 2003; IPCC 2007) und Modelle lassen eine Veränderung dieser, in naher Zukunft vermuten (z.B. Gottfried et al. 1998; IPCC 2007; Strom et al. 2011).

Im Mittelpunkt vieler Klimafolgenforschungen stehen von Kälte dominierte Lebensräume, die auf Temperaturerhöhung recht empfindlich reagieren dürften. Neben den Polarregionen gehören auch unsere Hochgebirge zu jenen Gebieten, deren Lebensgemeinschaften durch tiefe Jahresmitteltemperaturen geprägt sind. Große Veränderungen könnte eine Klimaerwärmung auf Hochgebirge, durch ihre Stellung als Diversitäts Hot Spots haben (Gottfried et al. 2002; Körner 2003). Ein höher wandern von Pflanzenarten ist bereits nachweisbar und könnte in weiterer Folge zu einer Verschiebung, der ansonsten recht stabilen Vegetationszonen führen (Gottfried et al. 1994; Grabherr et al. 1994; Parolo & Rossi 2008; Walther et al. 2005). Bei einer Verschiebung der Vegetationszonen nach oben könnten jene Arten,

welche nur auf die obersten Gipfelbereiche beschränkt sind massiv an Habitaten einbüßen und dadurch immer seltener werden. Dies könnte bei Gebirgen geringerer Höhe, wie den Nordöstlichen Kalkalpen rasch zum Verlust von Arten führen. Auf lokaler Ebene ist der Verlust einzelner Arten sehr wahrscheinlich (Grabherr et al. 2010). Brisant ist dies zusätzlich, da der Endemitenanteil in den Nordöstlichen Kalkalpen mit der Höhe zunimmt (Pauli et al. 2003). Dieser Trend beschränkt sich nicht nur auf die Nordöstlichen Kalkalpen, sondern auf Hochgebirge weltweit (Nagy & Grabherr 2009).

Stellenweise ist in alpinen Bereichen bereits eine Erhöhung der Minimumtemperatur um 2°C für das 20. Jh. nachgewiesen worden (Beniston 2000). Durch einen meist starken Höhengradienten und einem damit verbundenen Temperaturgradienten (durchschnittlich ändert sich die Temperatur um -0.6°C pro 100m), gelten Hochgebirge als empfindliche Lebensräume gegenüber einer Klimaerwärmung (Nagy & Grabherr 2009). Schon seit einigen Jahrzehnten sind sie daher Mittelpunkt vieler Klimafolgenforschungen (z.B. Grabherr et al. 2000; Pauli et al. 2003; Pauli et al. 2001; Pauli et al. 2007; Walther et al. 2005). Eines dieser Forschungsprojekte ist GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) im Rahmen dessen auch vorliegende Arbeit entstanden ist (Grabherr et al. 2000; Grabherr et al. 2010). GLORIA untersucht klimabedingte Vegetationsveränderungen an den höchsten Punkten verschiedener Gebirge weltweit. Unter anderem gehört das Karstplateau des Hochschwab/Steiermark zu obigem Netzwerk. Während das Hauptaugenmerk bei GLORIA vor allem auf Gipfelregionen unterschiedlicher Höhenstufen gerichtet ist, liegt der Focus dieser Studie allerdings im Bereich oberhalb der Baumgrenze und knapp unterhalb der Gloria-Aufnahmeflächen des Hochschwab-Massives. Da erhöhte Temperaturen zu Veränderungen der gesamten Vegetation und nicht ausschließlich in den obersten Bereichen führen werden, scheint es gerechtfertigt, auch diese tieferen Bereiche genauer zu untersuchen. Wanderbewegungen von Pflanzen sind auch hier zu erwarten, könnten jedoch auf verschiedene Barrieren stoßen, welche ähnlich deutliche Ergebnisse, wie sie bereits für Gipfelregionen vorliegen (Pauli et al. 2003; Pauli et al. 2001), abmildern. Beispielsweise sind geschlossene alpine Rasen-Gesellschaften zu langlebigen und stabilen Lebensgemeinschaften zu zählen, was eine Einwanderung durch Arten tieferer Standorte möglicherweise verzögert (Körner 2003; Pauli et al. 2003). Andererseits kann es durch eine Zunahme der Niederschläge zu einer Verstärkung von erosiven

Prozessen kommen (Beniston 2006; Dehn et al. 2000), welche in weiterer Folge neuen Arten ein vordringen erleichtern. Die zukünftige Entwicklung der alpinen Vegetation lässt sich nur schwer mit ausreichender Genauigkeit vorhersagen. Fest steht jedoch, dass es Veränderungen geben wird. Diese Arbeit soll die Basis für weitere Vegetationsuntersuchungen sein, welche vielleicht innerhalb bereits einer Dekade signifikante Unterschiede im Vergleich zum Erhebungsjahr 2008, feststellen können.

Das Hochschwab-Massiv eignet sich als Untersuchungsgebiet sehr gut, da seine Vegetation schon lange gut bekannt ist, und zahlreiche Arbeiten darüber verfasst wurden (z.B. Dirnböck et al. 1999; Pachernegg 1973; Zückert 1995). Zusätzlich erscheint es sinnvoll einen Berg zu untersuchen, der bereits im GLORIA-Netzwerk vorhanden ist, um das Wissen, bezüglich dieses Standortes, zu vergrößern. Durch das Fehlen von Almbewirtschaftung im Gebiet kann eine Beeinflussung der Untersuchungsflächen durch Weidevieh ausgeschlossen werden. Die Gämssen- (*Rupicapra rupicapra*) und Steinbock- (*Capra ilex*) Populationen sind dagegen recht hoch.

1.1 Gebietsbeschreibung

Das Hochschwab-Massiv ist ein im Bundesland Steiermark gelegener Teil der nordöstlichen Kalkalpen im Bezirk Bruck an der Mur. Mit einer maximalen Höhe von 2277m gehört er mit Rax und Schneeberg zu den letzten Alpenausläufern, die in östlicher Richtung noch über 2000m Höhe erreichen. Gemeinsam mit den beiden anderen Bergen ist ihm außerdem die Nutzung seines Grundwassers für die Stadt Wien. Abgegrenzt wird das Gebiet durch das Salzatal im Norden, den Seebergsattel im Osten, Aflenzer Bürgeralm im südlichen Teil (bzw. Stübmingsbachtal und Fölztal) und den Präbichl im Westen (Abb.1).

Geologisch besteht das Massiv hauptsächlich aus Kalk und Dolomit, was sich sehr deutlich durch Verkarstung im gesamten Gebiet zeigt. Dolinen, Uvalas und Poljen sind häufige Karstformen im Gebiet (Zückert 1995). Trotz des basischen Untergrundes finden sich bezüglich der Bodentypen auch bodensaure Formationen, bedingt durch reliktdäre Lehmsedimente und silikatische Lösungsrückstände, deren

Flächenanspruch nicht zu unterschätzen ist (Dirnböck et al. 1999 aus Mandl et al. (1998) und Zückert (1996)).

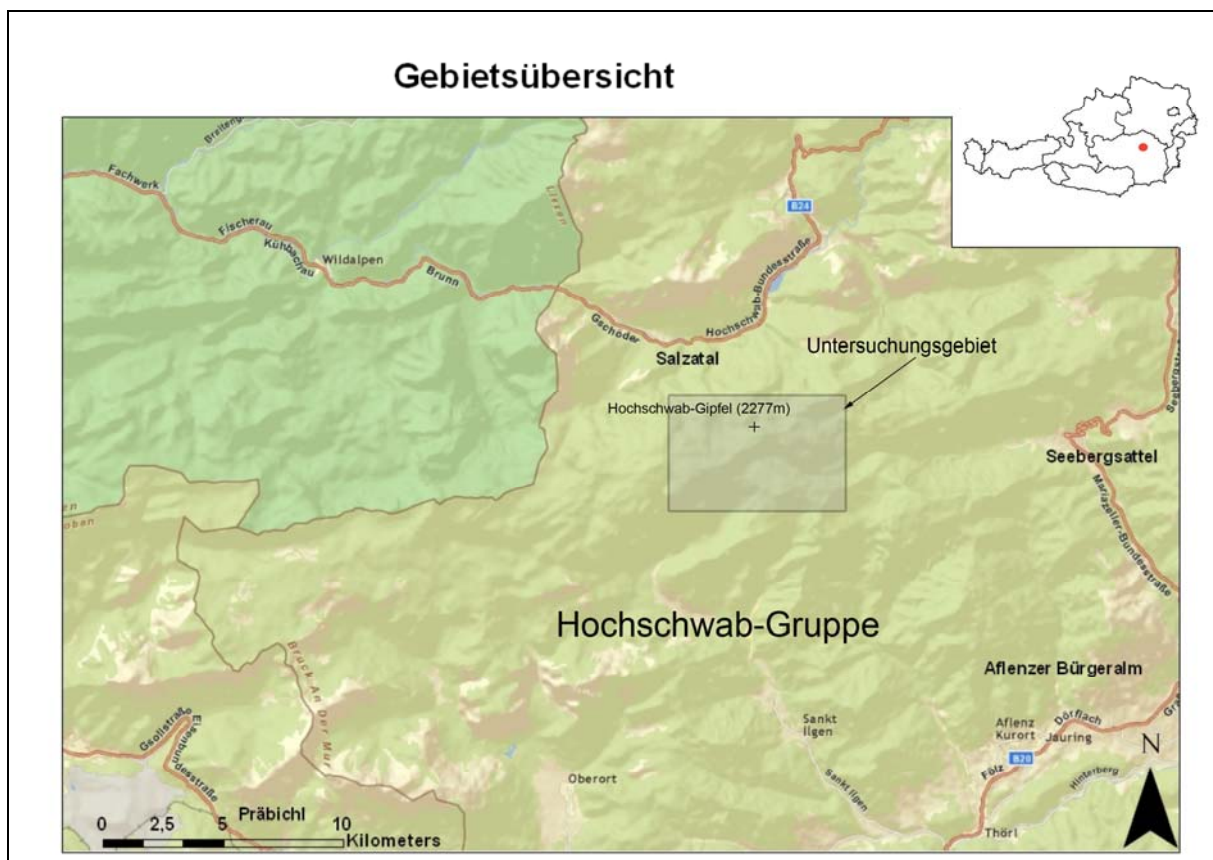


Abb. 1 Lage des Untersuchungsgebiets innerhalb der Hochschwab-Gruppe mit den natürlichen Grenzen des Massives. (Verändert nach Basemap Streets)

Wie andere Berge der nordöstlichen Kalkalpen, weist auch der Hochschwab ein typisches Plateau auf (Raxlandschaft), welches sich über eine Länge von ca. 35km in Ost-West-Richtung erstreckt (Pauli et al. 2003). Insgesamt erstrecken sich die subalpinen und alpinen Bereiche des Massivs über eine Fläche von ca. 60km² (Dirnböck et al. 1999 aus Wakonigg (1970)).

Das gesamte Gebiet zeichnet sich durch hohe Niederschläge über 2000mm im Jahr aus. Besonders in den Gipfelregionen sind auch höhere Werte zu erwarten. Dabei fallen zwischen 45% - 80% des Niederschlags als Schnee (Dirnböck et al. 1999 aus Wakonigg (1970)). Abb.2 zeigt Klimadiagramme dreier, dem Untersuchungsgebiet, sehr nahe gelegener Orte. Die bestimmenden Wetterlagen kommen aus Nordwest-, West- und Südwestlicher Richtung. Ein deutlicher Unterschied bezüglich der Niederschläge ergibt sich im Vergleich der Nord- mit den Südlagen. Letztere liegen häufiger im Regenschatten (Dirnböck et al. 1999 aus Wakonigg (1970)). Der starke

Regenschatteneffekt des Hochschwab-Massivs bei Northwest Wetterlagen ergibt sich durch die geringere Höhe der in dieser Richtung vorgelagerten Berge (Umwelt.Steiermark 2011).

Bezüglich der Temperaturen findet man im Untersuchungsgebiet ein typisches Gebirgsklima vor, welches sich oberhalb von 2000m wie folgt charakterisieren lässt. Die Durchschnittstemperatur für den kältesten Monat Jänner liegt bei -7°C , für den wärmsten Monat Juli bei 8°C . Das Jahresmittel liegt bei Werten zwischen 0°C und 1°C ein. Die Zahl der Frosttage ist mit 200 – 220 Tagen pro Jahr recht hoch (Umwelt.Steiermark 2011). Es muss jedoch betont werden, dass es sich hierbei nur um Abschätzungen und keine genauen Messungen handelt.

Da keine bremsenden Gebirgsstöcke in unmittelbarer Nähe vorhanden sind, ist der Wind ein weiterer prägender Faktor im Gebiet. Gerade die Plateau-Lagen des Hochschwabs gehören zu den windreichsten Gegenden der Steiermark (Umwelt.Steiermark 2011).

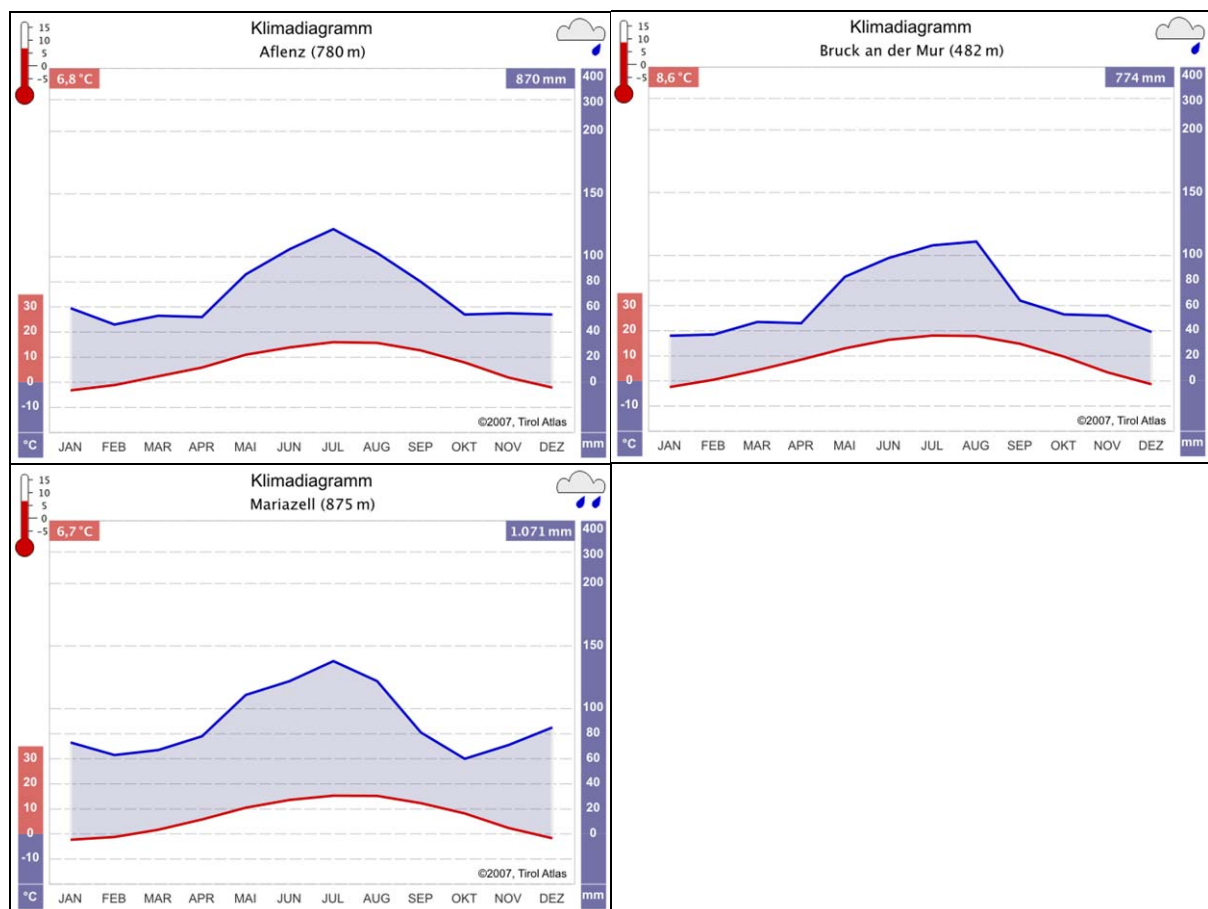


Abb. 2 Klimadiagramme dreier Ortschaften aus dem Hochschwabgebiet. (Quelle: Tirol Atlas 2011)

1.2 Untersuchungsgebiet

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein ausgewählter Bereich des oben beschriebenen Gebiets genauer untersucht, der sich vor allem um die Gipfel des Zagelkogels (2255m), G'hacktkogel (2214m), des Hochschwabgipfels (2277m) selbst und den „Weihbrunnkogel“ (2065m) konzentrierte (Abb.2). Die Nordgrenze befand sich etwa 300 Höhenmeter oberhalb der Edelbodenalm (1344m) und die Ostgrenze auf Höhe der Voisthalerhütte (1654m). Südlich wurde die Südabdachung des Karl-Hochkogels (2096m) und westlich der Bereich um den Zagelkogel als Grenzen angenommen. Zagelkogel, G'hacktkogel und Weihbrunnkogel sind bereits Teil des GLORIA-Netzwerkes. Hochschwabgipfel und Karl-Hochkogel zählen nicht dazu.



Abb. 3 Das engere Untersuchungsgebiet mit Lage der Transektflächen in blau. (Quelle: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen)

Die Waldgrenze liegt im Untersuchungsgebiet bei ca. 1800m bis 1900m. Dies ist auch die Obergrenze der subalpin-Stufe. Als Untergrenze selbiger wird meist die Höhengrenze der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) angesehen, welche im Gebiet maximal bei ca. 1500m angesiedelt ist (Zückert 1995). Durch Almwirtschaft und frühen

Nutzung der Bergwälder und Latschengebüsche für die Eisenindustrie liegt die Baumgrenze heute ca. 250m tiefer (Dirnböck 1999). An die subalpin-Stufe schließt nach oben die alpine Stufe an, die sich von der Waldgrenze bis zu den höchsten Gipfeln des Hochschwab-Massives erstreckt. Hier dominieren verschiedene Rasengesellschaften (Zückert 1995). Alle untersuchten Standorte befinden sich in Höhenlagen zwischen 1671m und 2262m und decken somit subalpine und alpine Bereiche des Gebiets ab.

1.3 Fragestellung

Hochgebirge repräsentieren Lebensräume mit vergleichbaren Umweltbedingungen weltweit. Infolge dessen haben sich zahlreiche Konvergenzen herausbildet. Beispiele dafür sind Schopfbäume der tropischen Hochgebirge oder Polsterpflanzen, welche in der alpin-Stufe vieler Erdteile mit zahlreichen Arten vertreten sind (Burga et al. 2004). Trotzdem gleicht kein Berg dem anderen, denn neben der Höhe sind es Wasserverfügbarkeit und Saisonalität die großen Einfluss auf diesen Lebensraum haben (Grabherr et.al. 2010). Eine allgemeine Vorhersage der Veränderungen in Hochgebirgen durch den Klimawandel wird dadurch erschwert. Das Ziel der Arbeit ist daher keine Ableitung allgemein gültiger Trends, sondern ganz gezielt für das Untersuchungsgebiet aufzuzeigen, wie die alpine und teilweise subalpine Vegetation am Hochschwab, oberhalb der Baumgrenze, momentan verbreitet ist und vorausschauend die möglichen Veränderungen dieses Berges bezüglich des Klimawandels zu beschreiben. Außerdem gilt es den Einfluss von Höhe, Exposition, Inklinatation und Vegetationsbedeckung auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit bestimmter Pflanzenarten zu untersuchen. Drei unterschiedliche Methoden kamen dafür zum Einsatz:

1. eine Vegetationsanalyse mittels *TWINSPAN* (Hill 1979)
2. *Regression Tree Models*
3. *Generalised Linear Models* (GLM)

Ein Vergleich dieser drei Methoden ist ebenfalls Teil der Arbeit. Abschließend sollen die Möglichkeiten zweier unterschiedlicher Erhebungsmethoden, mit Hilfe derer

Vegetationsdaten erhoben wurden, im Hinblick auf Erfassung der Vegetation und Erfassung von möglichen Veränderungen der Vegetation, bewertet werden.

2. Methodik

2.1 Freilandarbeit

2.1.1 Abmessungen, Einrichtung und Verortung der Aufnahmeflächen

Zur Datenerhebung wurden, ausgehend von den Gipfeln G'hacktkogel, Zägelkogel, Hochschwab und Weihbrunnkogel, Transekte erstellt. Bei einem Transekt handelt es sich um eine gedachte Gerade, welche vom Gipfel bis zur Baumgrenze verläuft (Abb.4). Um eine mögliche Veränderung der Vegetation mit der Höhe zu dokumentieren, wurden entlang der Transekte in regelmäßigen Abständen Vegetationsaufnahmen gemacht. Pro Gipfel sollten mehrere Transektflächen in unterschiedlichen Expositionen errichtet werden. Der anfängliche Plan sah vor, dies alle 50 Höhenmeter zu tun. Aufgrund der schwierigen Reliefsituation und aus zeitlichen Gründen vergrößerte sich der Abstand im Laufe der Freilandarbeit auf 100 Höhenmeter.

Zur Vegetationsaufnahme dienten sogenannte Transektflächen (Abb.4). Dabei handelte es sich um 100m lange und 1m breite Flächen, die im Gelände folgendermaßen installiert wurden. Der Aufbau der Transektflächen begann immer am Mittelpunkt (dieser sollte im Idealfall auch auf dem Transekt liegen) der Flächen. Beginnend von diesem wurde ein 50m langes Maßband, möglichst hangparallel (d.h. parallel zu den Isolinien des jeweiligen Standortes), gespannt. Die Maßbandskala startete in der Mitte mit 0m und endete an beiden Transekt-Endpunkten bei 50m. Ein hangparalleler Verlauf der Transektflächen war nötig, weil die Vegetationsaufnahmen einen repräsentativen Ausschnitt auf einer Höhenstufe liefern sollten. Dafür waren zwei Personen notwendig. Eine fixierte das Maßband am Mittelpunkt und dirigierte die zweite Person, welche das Maßband an der 50m Marke gespannt hielt, nach oben oder unten bis es hangparallel war. Ob das Maßband hangparallel war, versuchte die Person am Mittelpunkt für die 50m zu schätzen. Kleinere Geländeunebenheiten, die sich auch von Jahr zu Jahr verändern können fanden dadurch keine Beachtung. Mit einem zweiten 50m Maßband wiederholten sich, wiederum ausgehend vom Mittelpunkt, die oben beschriebenen Arbeitsschritte auch

auf der anderen Seite. Die resultierenden Transektflächen waren dadurch nie 100m durchgehend gerade, sondern am Mittelpunkt mehr oder weniger geknickt.

Dem Verlauf der Maßbänder folgend wurde als nächstes 0.5m oberhalb und unterhalb eine Schnur gespannt und in regelmäßigen Abständen, mittels Zeltheringen, im Boden fixiert. An den beiden 50m Marken kreuzte die Schnur die Maßbänder in einem 90° Winkel. Jede Transektfläche teilte sich in zehn 1 x 10m Abschnitte, Plots genannt. Dünne Bambusstöcke mit einer Länge von ca. 1.2m und einem Durchmesser von 5mm grenzten die Plots, alle 10m entlang der Maßbandmarkierungen, ab. Innerhalb der Transektflächen erhielt jeder Plot einen Zahlenwert von 1 bis 10. Die Nummerierung startete bei hangaufwärtsgerichtetem Blick am Linken Eck mit Plot 1. Plot 2, 3 usw. schlossen jeweils rechts an. Den Abschluss bildete Plot 10 am rechten äußersten Eck. Nur die Kombination aus Plotnummer und Meterangaben des Maßbandes gewährleistete eine eindeutige Ortsangabe innerhalb der Transekte.

Rot bemalte Holzpflöcke markierten, entlang der beiden Maßbänder, sowohl die äußeren Ecken, als auch den Mittelpunkt. Diese wurden an Ort und Stelle belassen und mittels GPS verortet. Alle Plotflächen, ihre Eckpunkte, sowie die Kreuzungspunkte zwischen Plotgrenzen und Maßband wurden fotodokumentiert. Gleiches geschah für die Mittelpunkte der Transektflächen. Für ein wiederauffinden der Untersuchungsflächen muss man zuerst die gespeicherten GPS-Koordinaten verwenden. Befindet man sich einmal in der Nähe der untersuchten Standorte, dienen die Fotos und die markierten Holzstöcke, welche noch Vorort sein sollten, dazu, die Transektflächen möglichst genau zu rekonstruieren.

Übersicht der erhobenen Daten

1. Seehöhe des Transekts: Messung mittels Luftdruckabhängigem Altimeter
2. Exposition/Inklination pro Plot: Messung mittels Recta-Kompaß
3. Vegetationsbedeckung: <25%, 25-75%, >75%
4. Gefäßpflanzenarten:
 - a. Pro Plot
 - b. *Line pointing*
 - i. Pflanzenarten
 - ii. Wenn keine Pflanzenarten: Oberflächentypen

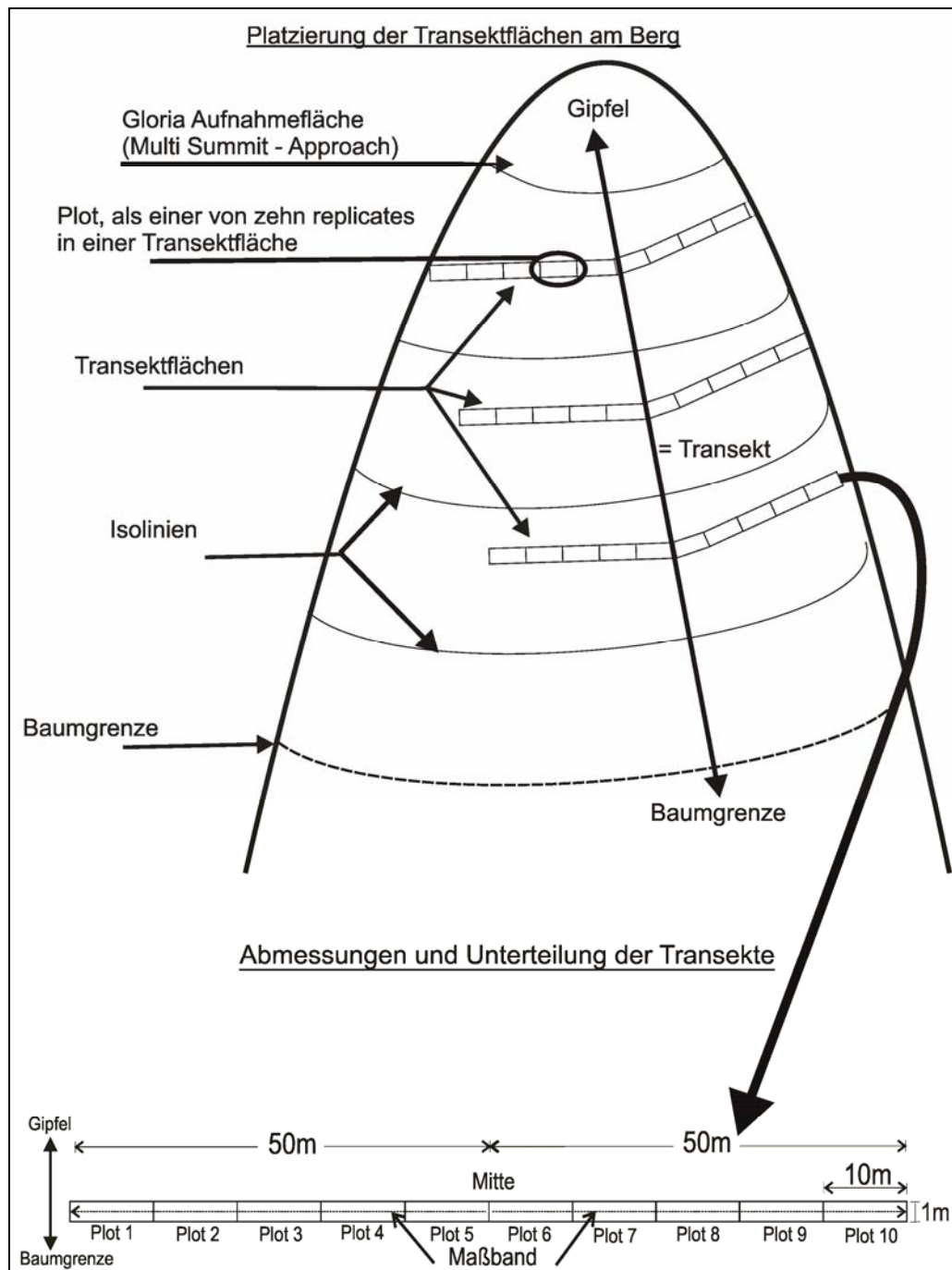


Abb. 4 Schematische Darstellung der Freilandmethodik zur Erhebung der Vegetationsdaten.

2.1.2 Standortsfaktoren

Um das Vorkommen der gefundenen Pflanzenarten zu beschreiben, war die Erfassung verschiedener Standortsfaktoren für jede Transektfläche nötig. Neben der Seehöhe waren dies Vegetationsbedeckung, Inklination (Hangneigung) und Exposition. Die letzten drei können sich im Verlauf von 100m doch recht stark ändern, weshalb ihre Messung für jeden Plot separat erfolgte. Die Höhe wurde für die

gesamte Transektfläche am Mittelpunkt, mit einem Luftdruckabhängigen Altimeter ermittelt. Die Erhebung der Vegetationsbedeckung erfolgte über drei Kategorien. Dies waren *Offen*, *Halboffen* und *Geschlossen* (Abb.5), wobei es galt, die jeweiligen Bedeckungswerte abzuschätzen:

- *Offen*: Vegetationsbedeckung weniger als 25%
- *Halboffen*: Vegetationsbedeckung zwischen 25% und 75%
- *Geschlossen*: Vegetationsbedeckung über 75%

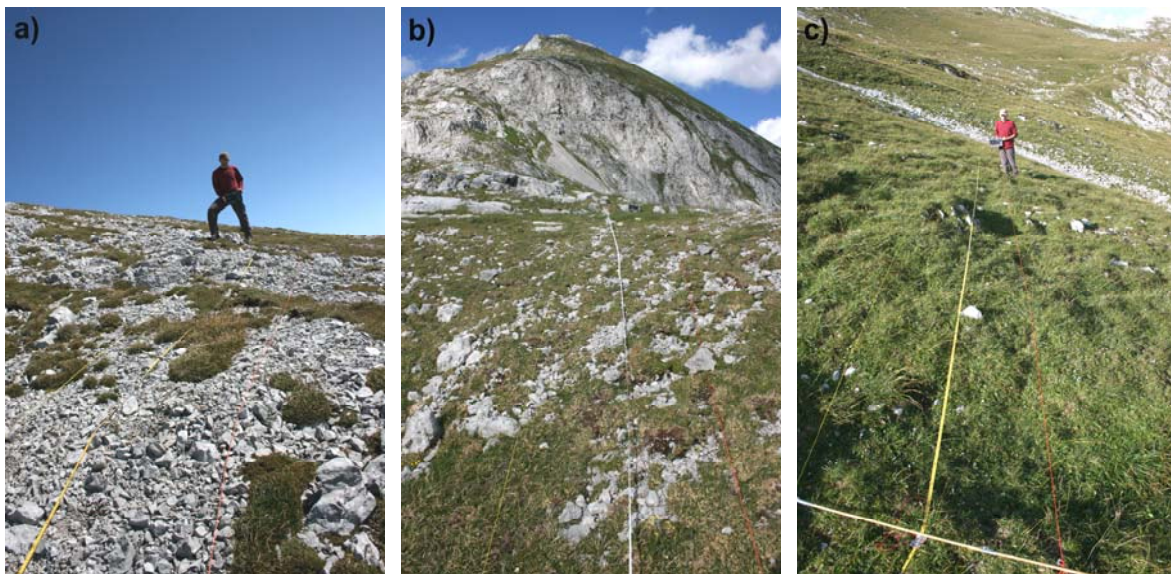


Abb. 5 Plots mit unterschiedlichen Vegetationsbedeckungskategorien. a) Offen, b) Halboffen, c) Geschlossen

Die Messung der Exposition erfolgte in Kompassgraden ($O = 90^\circ$, $S = 180^\circ$, $W = 270^\circ$, $N = 360^\circ/0^\circ$). Für eine weitere statistische Analyse wurden diese Werte in Kreisfunktionen umgewandelt. Da Kompasswerte nur von $0^\circ - 360^\circ$ existieren, könnten bei Vorhersagen über Vorkommensschwerpunkte bestimmter Arten Fehler auftreten. Darauf wird nun etwas genauer eingegangen. Das Ziel der statistischen Analyse ist es, bevorzugte Expositionen (neben den anderen Standortsfaktoren) von Pflanzenarten zu finden. Dazu wird die Vorkommenswahrscheinlichkeit oberhalb und unterhalb eines bestimmten Schwellenwertes angegeben. Beispielsweise könnte eine Pflanzenart in Expositionen kleiner als 50° vorgekommen sein. Im Zuge der statischen Analyse erhält man eine bestimmte Vorkommenswahrscheinlichkeit für einen Bereich von $0^\circ - 50^\circ$, was einer Nord bis Nordost Exposition entspricht. Nun könnte dieselbe Art aber auch in Nord bis Nordwest Expositionen, also von $310^\circ -$

360° zu finden gewesen sein. Insgesamt wäre die Vorkommenswahrscheinlichkeit dieser Art damit in Nord Expositionen größer. Dies lässt sich bei einer Exposition in Grad leider nicht erfassen. Deshalb wurde die für jeden Plot vorliegende Exposition in ein Southing (Expsouth) und Easting (Expeast) mithilfe der Sinus und Kosinus Funktionen, nach folgenden Formeln umgerechnet (Abb.6):

$$\text{Expeast} = \text{Sinus} (\text{Exposition} \times \pi / 180)$$

$$\text{Expsouth} = - \text{Kosinus} (\text{Exposition} \times \pi / 180)$$

Sowohl für Expeast als auch für Expsouth sind Werte zwischen -1 und 1 möglich. Jeder Expositionswert der mit diesen Formeln berechnet wurde, steht nicht für einen genauen Wert am Kreis, sondern für ein Kreissegment. Diese Umrechnung führt daher dazu, dass die Expositionen der Plots nicht mehr für eine genaue Exposition stehen sondern für einen Expositionsbereich. Beim Expsouth stehen negative Werte für Expositionen von 271° - 360°/0° - 89° und positive für 90° - 270°. Expeast deckt bei negativen Werten einen Bereich von 181° - 359° und bei positiven von 360°/0° - 180° ab.

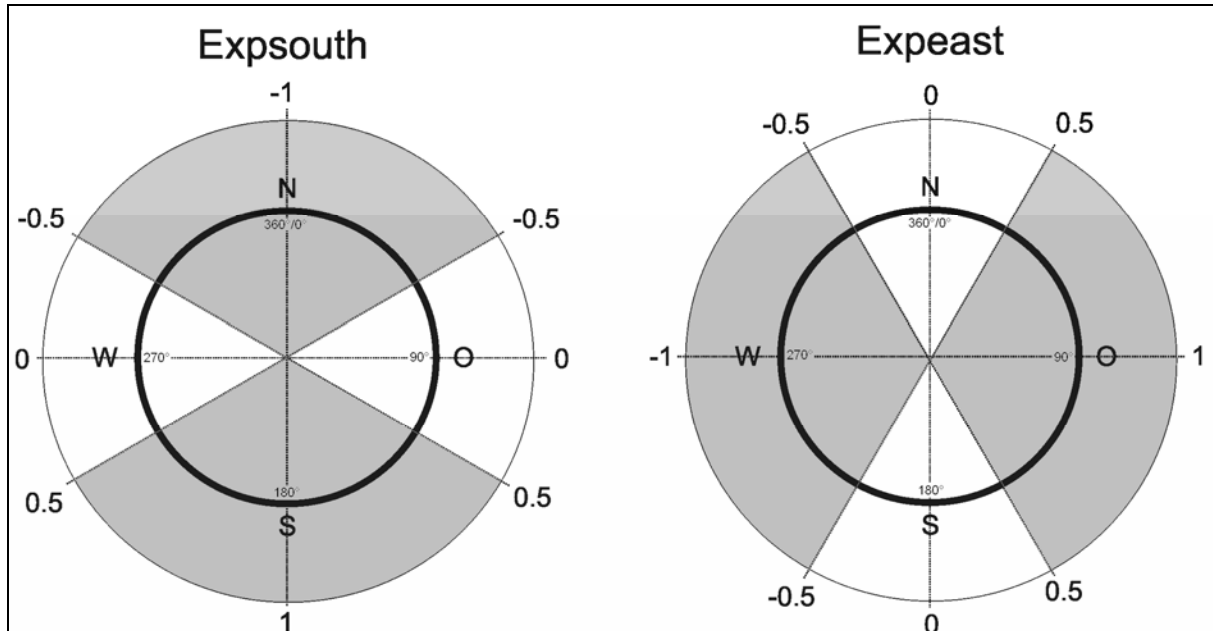


Abb. 6 Schematisierter Kompass mit den Werten des Southings und Eastings am äußeren Kreis.

Die Pflanzennamen folgen der Nomenklatur der Flora Europaea (Tutin et al. 1968-1980; Tutin et al. 1964)

2.1.3 Methoden der Vegetationserhebung

Zwei verschiedene Methoden dienen der Vegetationserhebung. Dabei handelte es sich einerseits um die Erstellung von Artenlisten für jeden der 10 Plots pro Transektfläche. Daraus ergaben sich *Presence/Absence* Daten (PA). Für die zweite Methode, dem sogenannten *Line Pointing*, war es nötig, mit einem etwa 40cm langen, geraden Metallstab, mit 3mm Durchmesser, jeden vollen Meter des Maßbandes den Boden zu berühren und die jeweilige Pflanzenart bzw. Pflanzenarten zu notieren, welche der Stab traf (Abb.7). 100 Punkte (*Points*) sind auf diese Weise pro Transektfläche möglich und dienen so der Erhebung der *Frequency* Daten. Die Frequency Daten sind hier auch häufig unter dem Namen *Pointing* Daten zu finden. Zusammenfassend erhält man somit für jeden Transekt 10 Artenlisten mit PA Daten und eine Frequenzliste, wobei jede Art 100 Mal die Chance hat, getroffen zu werden. Traf der Pointing-Stab keine Pflanzenart, wurde stattdessen einer der folgenden Oberflächentypen notiert:

- Fels: Gesteinsmaterial, welches sich nicht bewegen lässt. Die umgebende Vegetation deutet daraufhin, dass es sich um einen stabilen, nicht mobilen Standort handelt.
- Ruhschutt: Gesteinsmaterial, welches sich bewegen lässt. Die umgebende Vegetation deutet aber darauf hin, dass seit längerem keine Bewegung stattgefunden hat und es sich demnach um einen stabilen Standort handelt.
- Regschutt: Gesteinsmaterial, welches sich bewegen lässt. Die umgebende Vegetation deutet daraufhin, dass sich das Gestein erst seit kurzem an der Fundstelle befindet und sich wahrscheinlich auch weiter bewegen wird.
- offener Boden: anstehende Erde
- Litter: abgestorbenes organisches Material
- Fäzes: tierische Ausscheidungen

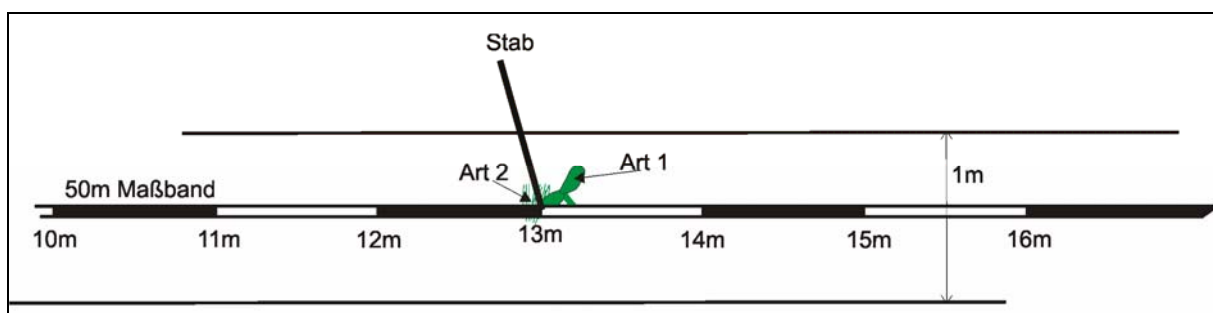


Abb. 7 Schematische Darstellung der Line Pointing Methode. Da die Pflanzenarten oft sehr nahe beieinander wachsen sind auch mehrfach „Treffer“ an einem Punkt möglich.

2.2 *Regression Tree Models*

Sämtliche statistische Analysen wurden ausschließlich mit der Software R unter Verwendung der Benutzeroberfläche Tinn.R (Faria 2009) und dem package `tree()` durchgeführt.

Um die Vorkommenswahrscheinlichkeit der gefundenen Pflanzenarten von den erhobenen Standortsfaktoren abzuleiten, wurden Regression tree models verwendet. Neben ihrer leichten Interpretierbarkeit, geben diese einen guten Überblick über relevante, und nicht relevante Variablen. Darüber hinaus schaffen sie ein klares Bild der Datenstruktur und ermöglichen einen intuitiven Einblick in die Interaktionen der Variablen (Crawley 2002).

2.2.1 **Begriffsbestimmungen**

Da die Terminologie der tree models zum Großteil aus dem anglikanischen Sprachraum kommt, wird diese auch hier übernommen. Im Regression tree model wird eine kontinuierliche abhängige Variable (*response*), durch wiederholtes binäres aufteilen einer oder mehrerer unabhängiger Variablen (*predictor*), erklärt. Die unabhängigen Variablen können sowohl numerisch und/oder kategorisch sein.

Anders, als beispielsweise bei einer linearen Regression, muss nicht der Anwender entscheiden, welche Variablen im Modell verwendet werden. Der Algorithmus des tree models nimmt nur solche predictor Variablen, die signifikant zur Erklärung des response beitragen. Jene Variable, welche den response am Besten erklärt, wird zuerst herangezogen um den Datensatz in zwei Teile zu trennen. Der Teilungspunkt wird als *split* bezeichnet (Abb.8). Wie das Modell entscheidet, welche Variable viel und welche wenig Einfluss hat, wird im Kapitel 2.2.2 erklärt. Nach der Ersten Teilung der Daten erhält man zwei Gruppen, welche nun abermals, durch die bestmögliche predictor Variable, in zwei weitere Gruppen untergliedert werden usw. Die Endpunkte, oder auch die endständigen Äste, tragen den Namen *leaves* und die Anzahl der leaves wird als *size* bezeichnet. Die Aufteilung der Daten erfolgt theoretisch solange, bis jeder mögliche Fall des responses in einem eigenen Ast des Modells liegt.

2.2.2 Maß für die Vertrauenswürdigkeit des Modells: die deviance

Am Anfang des tree models, noch vor der ersten Verzweigung, steht der *root* (Abb.8). Bei jedem Knoten wird versucht möglichst homogene Gruppen in einen Ast zu bekommen. Als Maß, wie viel *Varianz* innerhalb des Datensatzes erklärt wird, verwendet das tree model die *deviance*. Diese berechnet sich aus dem *log-likelihood* des besten Modells minus dem *log-likelihood* des aktuellen Modells (Ripley 1996).

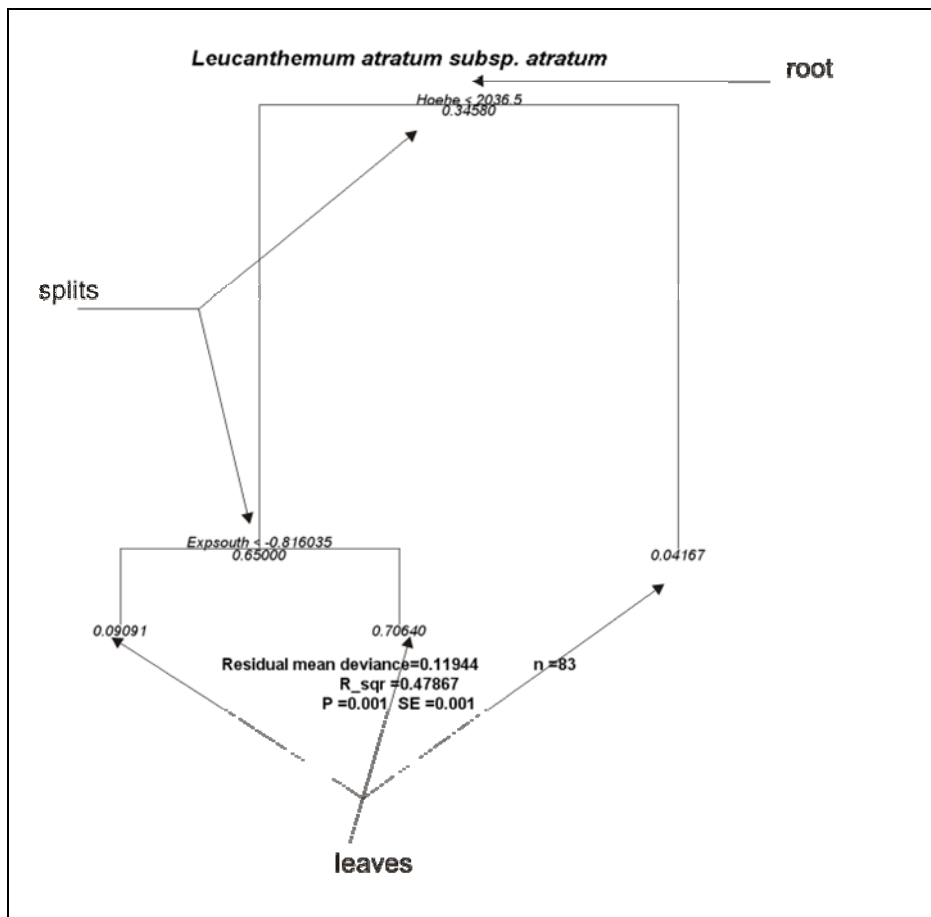


Abb. 8 Ein einfaches tree model und seine wichtigsten Teile.

Folgt man dem Tree vom Beginn seiner Datenaufteilung bis zum Ende, beginnend also beim *root*, so erklären die unabhängigen Variablen anfangs die abhängige Variable noch nicht. Jeder weitere *split* trägt aber dazu bei, die abhängige Variable besser zu erklären und reduziert damit die *deviance*. Ziel des Modells ist es, mit den

unabhängigen Variablen, den response möglichst gut zu erklären. Das beste Modell ist daher jenes, welches die deviance am meisten reduziert. Auch für die Datenaufteilung im tree model gilt, je kleiner die deviance durch einen split wird, desto aussagekräftiger ist er. Die deviance am root wird auch als Null-deviance oder *SST (total sum of squares)* bezeichnet und trägt den höchst möglichen Wert (Crawley 2002). Mit jedem split reduziert sich die deviance. Aus der Differenz zwischen Null-deviance und der deviance des aktuellen Modells wird die *SSR (residual sum of squares)* berechnet.

Je mehr Varianz durch die unabhängigen Variablen erklärt wird, desto geringer wird die deviance. Könnte, durch die unabhängigen Variablen, die abhängige Variable vollständig erklärt werden, würde die deviance den Wert null annehmen.

Die Daten werden solange binär aufgeteilt, bis keine weitere Reduktion der deviance mehr möglich ist bzw. zu wenige Fälle in einem Ast landen. Rein theoretisch könnte dies solange geschehen, bis nur mehr ein Fall in jedem Ast landet. Damit würde das Modell die Daten zwar vollständig erklären, lässt jedoch keinen Spielraum für Vorhersagen mehr zu. Daher findet bei weniger als fünf Fällen (dies ist die default Einstellung) in einem Ast keine weitere Aufteilung mehr statt (Crawley 2002; Roff 2006).

Ein weiterer Vorteil des tree models besteht im grafischen Output, der eine sehr leichte Dateninterpretation erlaubt. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Äste, die von jedem split ausgehen, zu werfen. Ihre Länge spiegelt die Reduktion der deviance wider. Je länger ein Ast, umso geringer die verbleibende deviance (Roff 2006).

Für die Auftrennung der Daten bei jedem split wird jener Wert des predictors verwendet, der zwei möglichst unterschiedliche Gruppen bildet (Crawley 2002). Mit unterschiedlichen Gruppen ist gemeint, dass sie sich in ihren Mittelwerten maximal unterscheiden.

Am Ende jedes leaves, jedoch auch bei den splits ist eine Zahl mit einem Wert zwischen 0 und 1 sichtbar (Abb.8). Sie gibt die Wahrscheinlichkeit mit der eine Pflanzenart unter Berücksichtigung der vorgenommenen Teilungen auftritt, wieder. Für *Leucanthemum atratum subsp. atratum* sagt der leave ganz links beispielsweise eine Vorkommenswahrscheinlichkeit von 9% oder 0.09 unterhalb von 2036.5m und einer Expsouth die kleiner als -0.816035 ist voraus. Bei gleicher Höhengrenze, allerdings einer Exposition von mehr oder gleich -0.816035 ist sie deutlich sicherer mit ca. 71% Wahrscheinlichkeit zu finden.

2.2.3 Zurück schneiden der tree models: das pruning

tree models neigen grundsätzlich dazu, zuviel in die Daten zu interpretieren und machen deshalb zu viele splits. Daher muss eine Möglichkeit gefunden werden, den Fehler abzuschätzen um das Modell zurück zu „schneiden“. Diesen Vorgang bezeichnet man als pruning. Dazu wird meist eine V-fold Cross-Validation verwendet. Der Datensatz wird dabei zufällig in V möglichst gleich große Teile geteilt und der Tree, der zuvor mit den gesamten Daten erstellt wurde, nun mit den Teildaten gebaut (Breiman et al. 1984).

Meist wird eine 10-fold Cross-Validation verwendet. Den Datensatz unterteilt man zufällig in zehn gleichgroße Abschnitte. Davon wird nun mit neun Teilen ein tree model erstellt, der Zehnte Teil dient zum Testen des Modells. Für das beste tree model sollte die deviance ein Minimum erreichen (Roff 2006). Bei mehreren Durchläufen der 10-fold Cross-Validation ergeben sich meist Unterschiede in der optimalen size. Da die Cross-Validation zufällig unterschiedliche Teile des Datensatzes verwendet, müssen zwangsläufig nicht dieselben Ergebnisse herauskommen. Deshalb wird die Cross-Validation mehrfach durchgeführt und ein Mittelwert aus den verschiedenen sizes für das prunen verwendet. Damit geht man der Möglichkeit, ein statistisch nicht repräsentatives tree model zu wählen, aus dem Weg. 50 Durchläufe liefern konstante Ergebnisse und wurden auch von anderen Autoren bereits verwendet (De'ath & Fabricius 2000).

2.2.4 Anteil erklärter Varianz durch das tree model

Um ein Maß für die Güte der tree models zu erhalten wurde R^2 , als Bestimmtheitsmaß, verwendet. Dies beschreibt den Anteil der Total Sum of Squares (SST), welche sich durch das Regressionsmodell erklären lässt. Folgende Formel wurde zur Berechnung herangezogen:

$$R^2 = SSR / SST$$

(Crawley 2002)

Eine Reduktion der residual sum of squares SSR erfolgt mit jedem split (Venables & Ripley 2002). Um SSR zu berechnen muss die deviance des Modells von der SST abgezogen werden.

$$SSR = SST - \text{deviance des Modells}$$

Die endgültige Formel zur Berechnung von R^2 sieht daher folgendermaßen aus:

$$R^2 = (SST - \text{residual deviance des Modells}) / SST.$$

2.2.5 Statistische Signifikanz der tree models

Die statistische Signifikanz der tree models wurde nach einer Grundidee von Roff (2006) getestet, die leicht modifiziert wurde. Die Null-Hypothese besagt, dass es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen response und unabhängigen Variablen gibt. Dies wird getestet, indem man den response randomisiert, aus diesen Daten ein neues tree model erstellt und dessen residual deviance mit der des ursprünglichen Modells vergleicht. Daraus kann ein probability value P und ein Standard Fehler SE berechnet werden (Roff 2006). Je nachdem, wie oft die Randomisierung durchgeführt wird verändern sich P und SE. Führt man etwa die Randomisierung 100-mal durch kann P minimal den Wert 0.01 erreichen. Für diese Arbeit wurden 1000 Randomisierungen durchgeführt, was einen minimalen P-Wert von 0.001 ergibt.

$$P = (\text{Anzahl der deviances} \leq SST) / (\text{Anzahl der Randomisierungen}).$$

Dies ist die Wahrscheinlichkeit der residual deviance eines randomisierten Datensatzes, gleich oder kleiner als die nachgewiesene deviance zu sein (Roff 2006).

$$SE = \sqrt{(P * (1 - P) / (\text{Anzahl der Randomisierungen}))}$$

(Roff 2006).

Der Standard Fehler (SE) ist ein Maß für die statistische Zuverlässigkeit (Crawley 2002). Im Fall der tree models gibt er Auskunft über die statistische Zuverlässigkeit des P-Wertes. Die Wahrscheinlichkeit, dass es ein tree model gibt, mit geringerer oder gleicher deviance als das verwendete Modell, liegt bei:

$$P\text{-Wert} \pm 1 \text{ SE.}$$

2.3 GLM (*Generalised linear model*)

Um die Ergebnisse aus den tree models zu ergänzen, wurde zusätzlich für jede Art ein einfaches GLM gerechnet. Grundsätzlich setzt sich ein solches aus drei Teilen zusammen:

1. Fehlerstruktur
2. *linear predictor*
3. *link function*

(Crawley 2002)

1. Bezüglich Fehlerstruktur sind in einem GLM auch schiefe Verteilungen und strikt gebundene Verteilungen (bei Proportionen) erlaubt. Der Fehler muss nicht normalverteilt sein. Verschiedene Fehlerverteilungen, wie Poisson-, Binomial-, Gamma- und Exponential-Verteilung kann man explizit angeben (Crawley 2002).
2. Der linear predictor ist ein weiteres wichtiges Merkmal. Im GLM wird jedem beobachteten response Wert ein vorhergesagter Wert (*predicted value*) zugeordnet. Dieser predicted value wird von den verschiedenen Transformationen der Werte, welche den linear predictor beeinflussen, bestimmt. Der linear predictor berechnet sich aus der linearen Summe der Effekte einer oder mehrerer erklärender Variablen (Crawley 2002).
3. Die link function verbindet den Mittelwert der response Variablen mit dem linear predictor. Verschiedene link functions stehen zur Auswahl. Für binomial verteilte Daten bietet sich die likelihood function an (Crawley 2002).

Die Grundvoraussetzungen, um ein GLM anwenden zu dürfen, sind jedoch eine Normalverteilung der Residuen, ein linearer Zusammenhang zwischen response und

unabhängigen Variablen. Außerdem muss die Varianz über den Datenbereich homogen sein. Eine stichprobenartige Überprüfung dieser Bedingungen erfolgte und war gegeben.

Die Vertrauenswürdigkeit der Modelle wurde mittels Konfidenzintervall (CI) auf dem 95% Niveau abgeschätzt. Berechnet wurde dieses nach der Formel:

$$CI = \text{Student's } t \text{ from tables} \times \text{standard error}$$

(Crawley 2002).

2.3.1 Anwendung des GLM und Hinweise zur grafischen Ausgabe

Alle GLMs verwenden die Höhe als Prädiktor um Aussagen über die Vorkommenswahrscheinlichkeiten der Pflanzenarten zu treffen. Wie bei den tree models wurden auch hier ausschließlich die Presence/Absence Daten berücksichtigt. Für die Analyse dieser musste, da es sich um proportionale Daten handelt, die binomiale Fehlerverteilung eingesetzt werden.

Überlicherweise wird bei der grafischen Darstellung eines GLM der Prädiktor auf die x-Achse und der Response auf die y-Achse geplottet. Für alle Grafiken dieser Arbeit, die auf einem GLM beruhen, trifft dies nicht zu. Hier liegt der Prädiktor auf der y-Achse und der Response auf der x-Achse.

2.4 Twinspan Analyse (Hill 1979)

Twinspan (Hill 1979) ist ein numerisches Ordinationsverfahren zur Gruppierung von Vegetationsdaten. Dafür sucht es nach Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung unterschiedlicher Vegetationsaufnahmen. Jeweils ähnliche Aufnahmen werden in einer Gruppe zusammengefasst. Als Software diente JUICE (Tichý et al. 2011). Die resultierenden Gruppen sollten verschiedenen Pflanzengesellschaften zuordenbar sein. Dazu wurden die Pflanzengesellschaften Österreichs (Grabherr & Mucina 1993), sowie die Arbeit von Dirnböck et al. (1999) über das Hochschwabgebiet als Referenz, verwendet.

2.5 Weitere statistische Methoden

2.5.1 Boxplots

Der Boxplot wird hier kurz erklärt, weil er mehrfach in Grafiken vorkommt. Allgemein zeigt ein Boxplot, wie Stichprobenwerte um den Median verteilt sind (Abb.9). Die Box enthält die mittleren 50% der Stichprobenwerte. Begrenzt wird die Kiste (box) durch die Länge der Interquartildistanz. Die Linien über und unter der Box (whiskers) reichen bis zu den Beobachtungswerten, mit weniger als einer Interquartildistanz Abstand. Kreise reichen über das 1.5 oder 3 fache der Interquartildistanz hinaus (Trempp 2005).

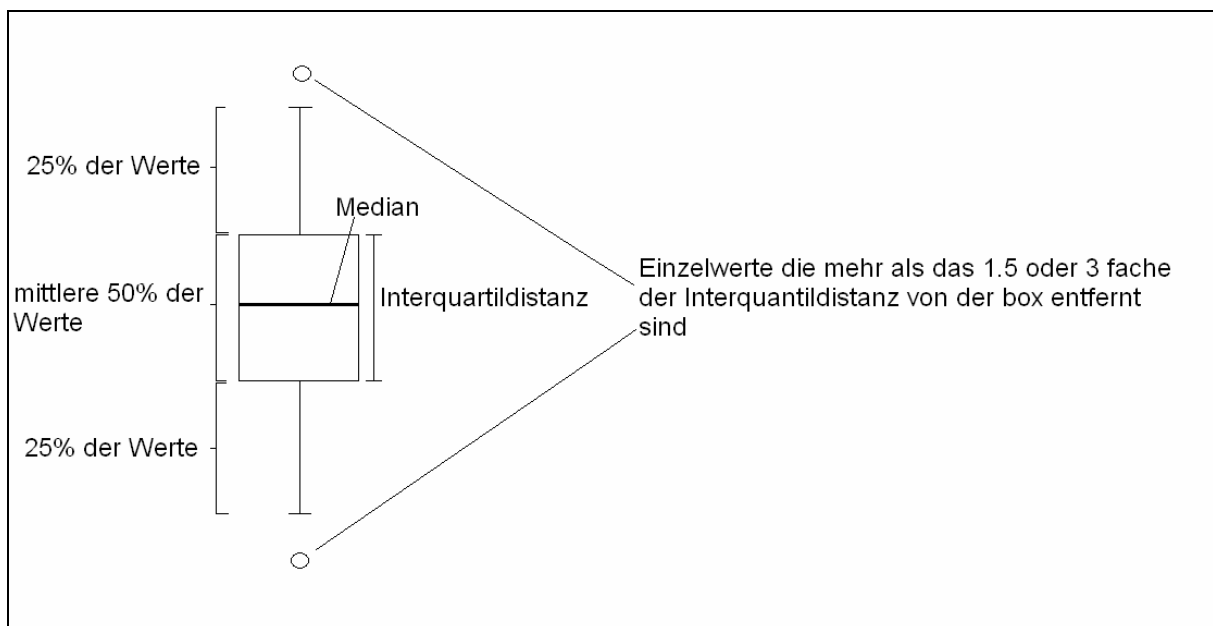


Abb. 9 Darstellung eines Boxplots und seiner wichtigsten Teile.

2.5.2 Pearson's Korrelationskoeffizient

Das Ziel einer Korrelationsanalyse ist es, den Zusammenhang zwischen Variablen zu beschreiben. Es wird dabei von einem linearen Zusammenhang ausgegangen. Der Korrelationskoeffizient beschreibt diesen und kann dafür Werte von -1 bis +1 annehmen. Ein Wert von 0 besagt, dass es keinen linearen Zusammenhang gibt. Für

Pearson's Korrelationskoeffizient sollten die Messungen normalverteilt sein (Trempe 2005). Zusätzlich zum Korrelationskoeffizienten erhält man einen P-value und ein 95%- Konfidenzintervall. Der P-value gibt Auskunft über die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten und das Konfidenzintervall gibt die Streuung um den Korrelationskoeffizienten wieder.

2.5.3 Regressionsanalyse (lineare Regression)

Die Regressionsanalyse versucht den Zusammenhang einer abhängigen Variable von einer unabhängigen Variable zu beschreiben. Werden die beiden Variablen gegeneinander geplottet erhält man eine Punktwolke. Gesucht wird eine Gerade, welche die Daten (die Punktwolke) möglichst gut erklärt. Dafür müssen die quadrierten Abstände der Gerade zu jedem Punkt minimal sein. Als Bestimmtheitsmaß dient R^2 , welches den Anteil an erklärter Gesamtvariation wiedergibt (Trempe 2005).

2.6 Gruppierung der statistischen Ergebnisse

Alle Pflanzenarten, mit denen es möglich ist, ein signifikantes oder rand-signifikantes Modell auf dem $P \leq 0.05$ Niveau zu erstellen, werden einer der folgenden Gruppen zugeteilt:

- Gruppe A: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes, aber keiner deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.
- Gruppe B: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes und einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.
- Gruppe C: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in alpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes, aber keiner deutlichen unteren Verbreitungsgrenze.
- Gruppe D: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in alpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes und einer deutlichen unteren Verbreitungsgrenze.

Da eine Herausarbeitung der Verbreitungsgrenzen vorrangig ist, sind die Pflanzen auch im Hinblick darauf geordnet. Ist in den Ergebnissen der tree models eine klare Verbreitungsgrenze erkennbar, wird die Art der entsprechenden Gruppe zugeordnet. Für manche Arten ist es möglich ein signifikantes GLM, jedoch kein tree model zu erstellen. Diese werden trotzdem einer der vier Gruppen zugeteilt, weil zumindest in einem Fall ein Trend erkennbar ist.

Als Schwellenwert für eine scharfe obere Grenze wird ein Presence/Absence-Wert von ≤ 0.10 , für eine scharfe untere Grenze Presence/Absence-Wert ≤ 0.13 angenommen. Bei Modellen, die diesen Werten sehr nahe kommen, wird zusätzlich das GLM zur Beurteilung miteinbezogen. Die angegebenen Grenzwerte wurden erst nach der abgeschlossenen statistischen Analyse mit tree models und GLM ermittelt. Damit waren möglichst viele Pflanzenarten eindeutig einer Gruppe zuordenbar.

3 Ergebnisse

3.1. *Verteilung der erhobenen Standortsfaktoren in Transektflächen und Plots*

Insgesamt ließen sich im Hochschwabgebiet 24 Transekte einrichten. Der Höchste lag auf 2262m und der niedrigste auf 1671m. Die Häufigkeit der unterschiedlichen Werte/Kategorien für die vier erhobenen Standortsfaktoren ist in Abb.10 dargestellt. Alle vier Diagramme beziehen sich auf die Plots. Seehöhe und Exposition zeigen weitestgehend gleichmäßige Verteilungen. Plots in Höhen von 1600m – 1700m sind aber deutlich unterrepräsentiert. Bezüglich Inklination (Hangneigung) sind Plots mit Werten um die 20° am häufigsten. Diese kamen 78-mal vor. Steiler als 40° konnten keine Aufnahmeflächen errichtet werden und nur ein einziger Plot wies keine Neigung auf.

Die drei Vegetationsbedeckungskategorien offen, halboffen und geschlossen sind sehr ungleich verteilt. Halboffene Formationen waren mit 119-mal am weitesten verbreitet, gefolgt von 92 offenen Plots. 29 Aufnahmeplots wiesen eine geschlossene Vegetationsdecke auf. Wie die Standortsfaktoren zueinander verteilt sind zeigt Abb.12. Die Vegetationsbedeckung wurde dabei nicht berücksichtigt.

Aus Gründen der Geländetopologie war es nicht möglich, alle Himmelsrichtungen gleichmäßig zu beproben. Während dies aus Abb.10 noch nicht ersichtlich ist, geht es jedoch aus Abb.11 hervor. Hier sind allerdings nicht die Plots, sondern die Transektflächen nach ihrer Exposition in vier Gruppen eingeteilt. Die Boxplots in Abb.11 zeigen den Höhenbereich, welchen jeder dieser vier Gruppen abdeckt. Besonders vollständig sind acht Transekte in nördlichen Expositionen, die mit NW – NE dargestellt sind.

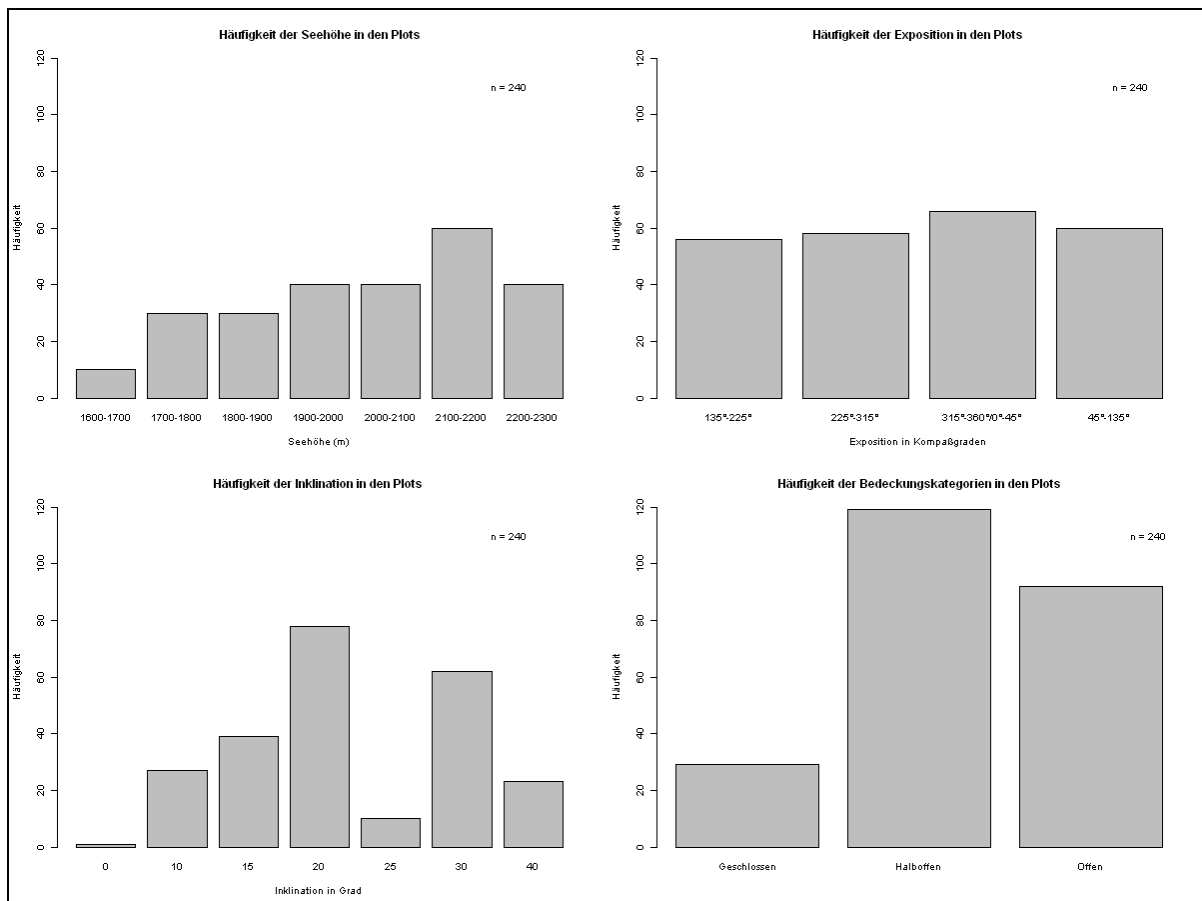


Abb. 10 Darstellung der vier erhobenen Standortsfaktoren, mit ihrer Verteilung in den Plots. Die Seehöhe wurde zwar pro Transektfläche bestimmt. Für eine bessere Vergleichbarkeit, ist sie hier auf die Plots bezogen, dargestellt.

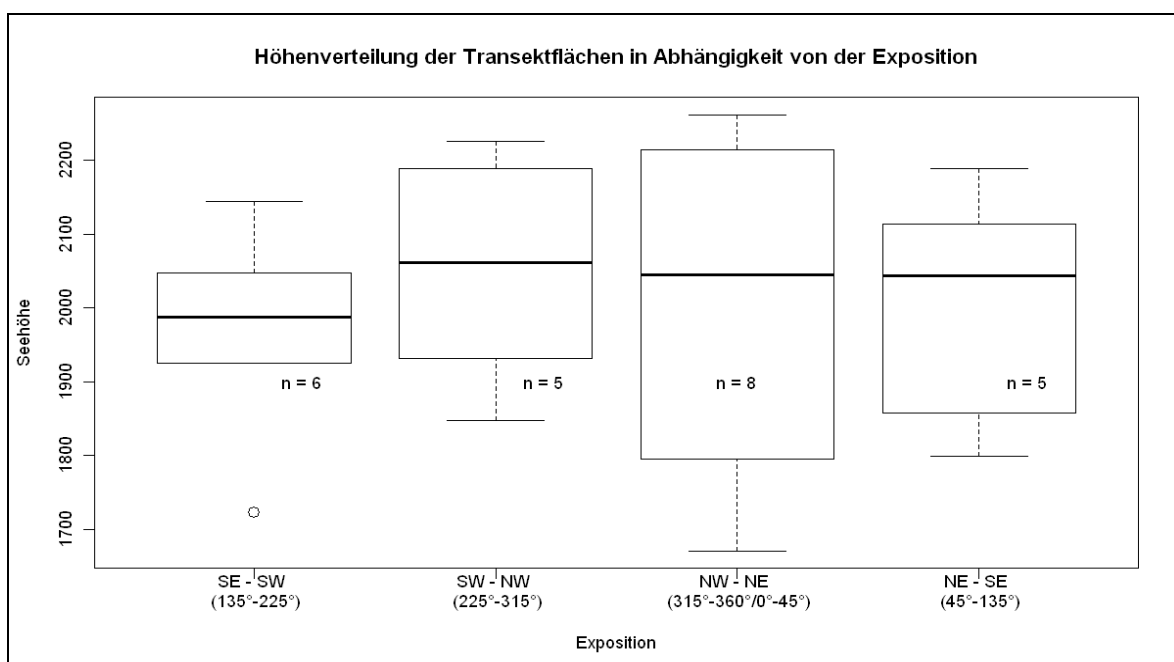


Abb. 11 Die Transektflächen weisen Unterschiede bezüglich ihrer Höhenverteilung in verschiedenen Expositionen auf.

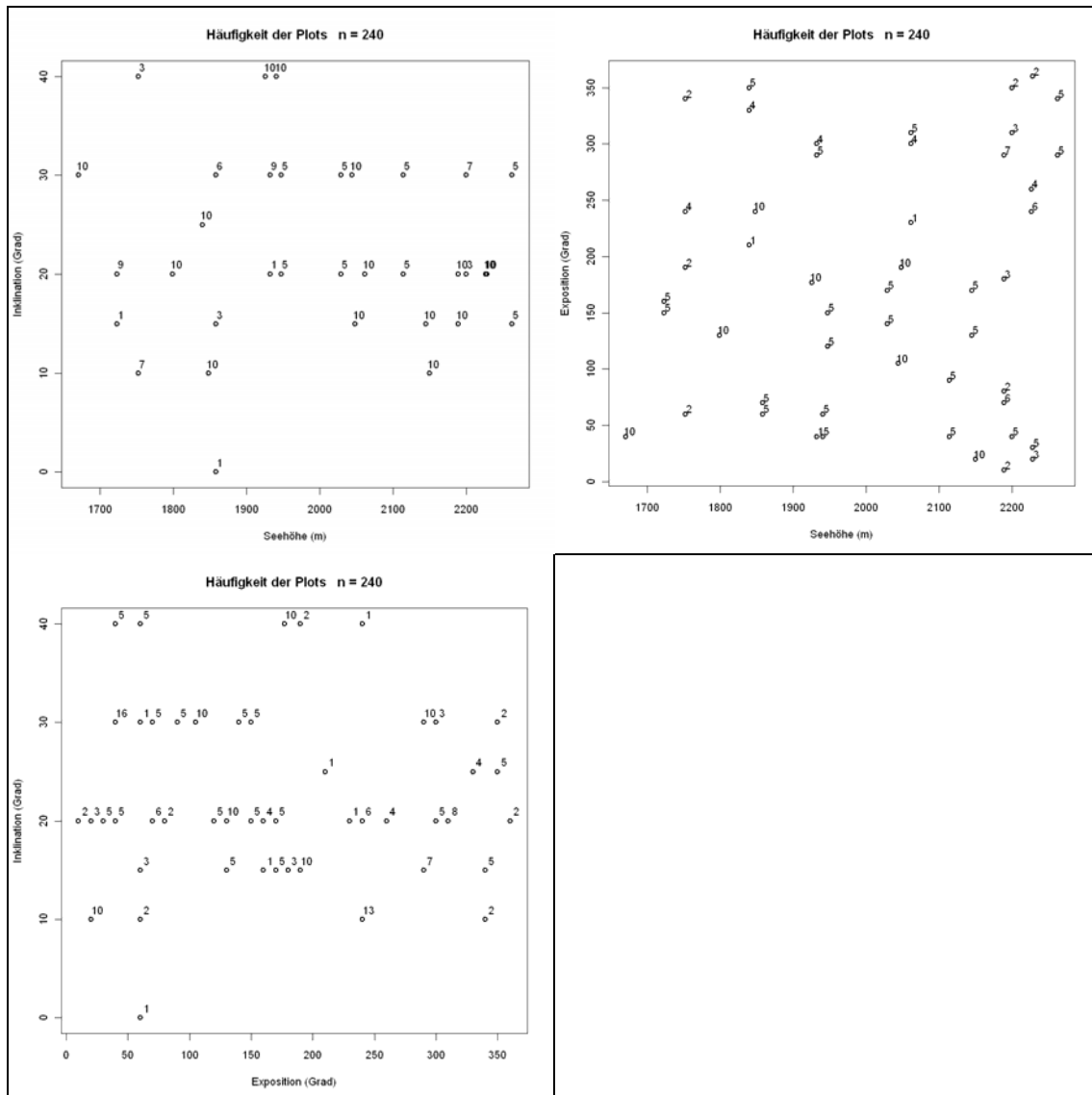


Abb. 12 Verteilung verschiedener Standortsfaktoren in den Plots. Die Werte in den Grafiken geben die Anzahl übereinander liegender Punkte an.

3.2. *Verwendete Variablen in den tree models*

Dieser Teil der Ergebnisse berücksichtigt ausschließlich die Plot-Daten. Sowohl zur Erstellung der tree models, als auch der GLMs wurden ausschließlich die Presence/Absence Daten (PA) aus den Plots verwendet.

Insgesamt konnten in den 24 Transektflächen, 228 Pflanzenarten nachgewiesen werden, 218 davon waren höhere Gefäßpflanzen. Mit 120 Arten war es möglich tree models zu erstellen, wobei nicht bei allen eine ausreichende Stichprobengröße vorhanden war. Deshalb reduzierte sich die Zahl der tree models weiter auf 89.

Alle vier unabhängigen Variablen wurden in den Modellen verwendet, allerdings mit sehr unterschiedlicher Häufigkeit (Abb.13). Da die Exposition in ein Southing (Expsouth) und Easting (Expeast) umgerechnet wurde sind in Abb.13 fünf Variablen dargestellt. Mit Abstand am Wichtigsten war die Höhe, welche in 107 Modellen als Prädiktor Verwendung fand. Nur halb so oft, nämlich 53-mal, kam Exposition_Southing vor. 38-mal konnte Exposition_Easting verwendet werden und 30 bzw. 29-mal Inklination und Bedeckung.

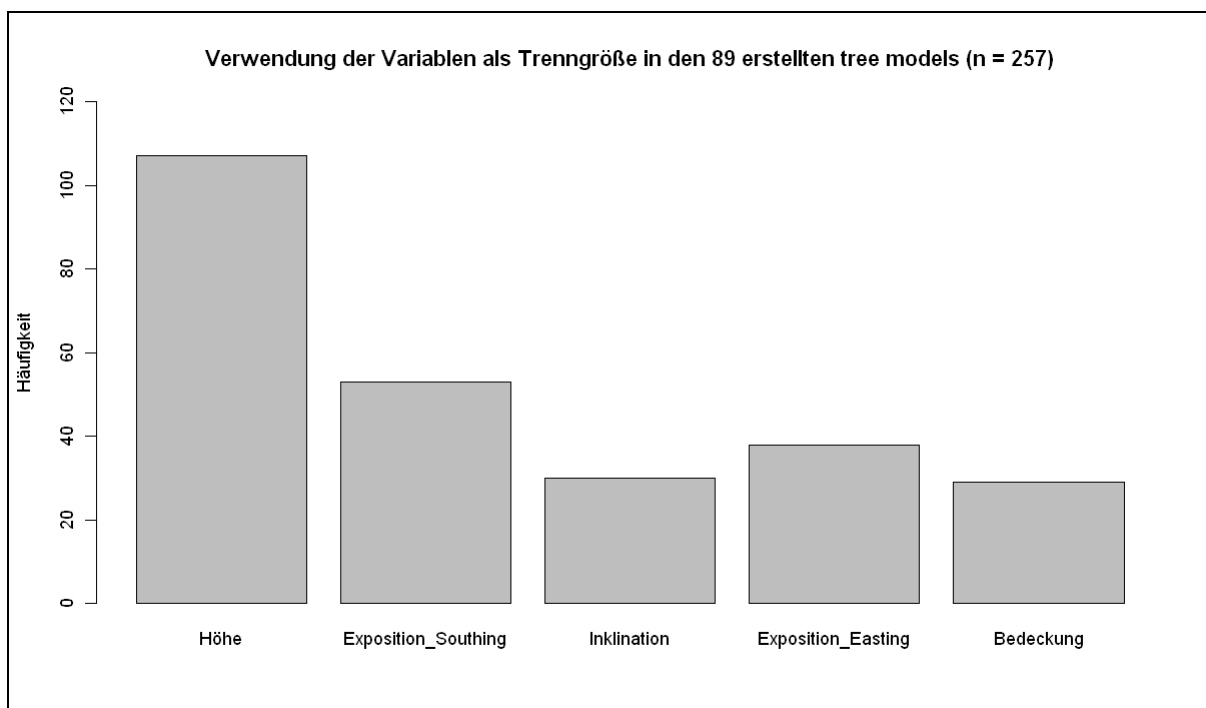


Abb. 13 Die Höhe ist der wichtigste Prädiktor der tree models.

Ein ganz ähnliches Bild ergibt sich bei Berücksichtigung nur der Ersten splits aller tree models. Da die Variablen dafür meistens zu einem sehr großen Teil an reduzierter deviance im Modell beitragen, wird ihre Häufigkeit hier gesondert betrachtet, um einen Eindruck von der Wichtigkeit der einzelnen Variablen zu bekommen (Abb.14).

Hier zeigt sich, dass die Höhe nicht nur am Häufigsten in den 89 tree models verwendet wird, sondern meist auch für den Ersten split. 69-mal ist dies der Fall. Die übrigen Variablen kommen dagegen vergleichsweise selten vor. Exposition_Southing immerhin noch 11-mal; Inklination, Exposition_Easting jeweils fünf-, und Bedeckung dreimal.

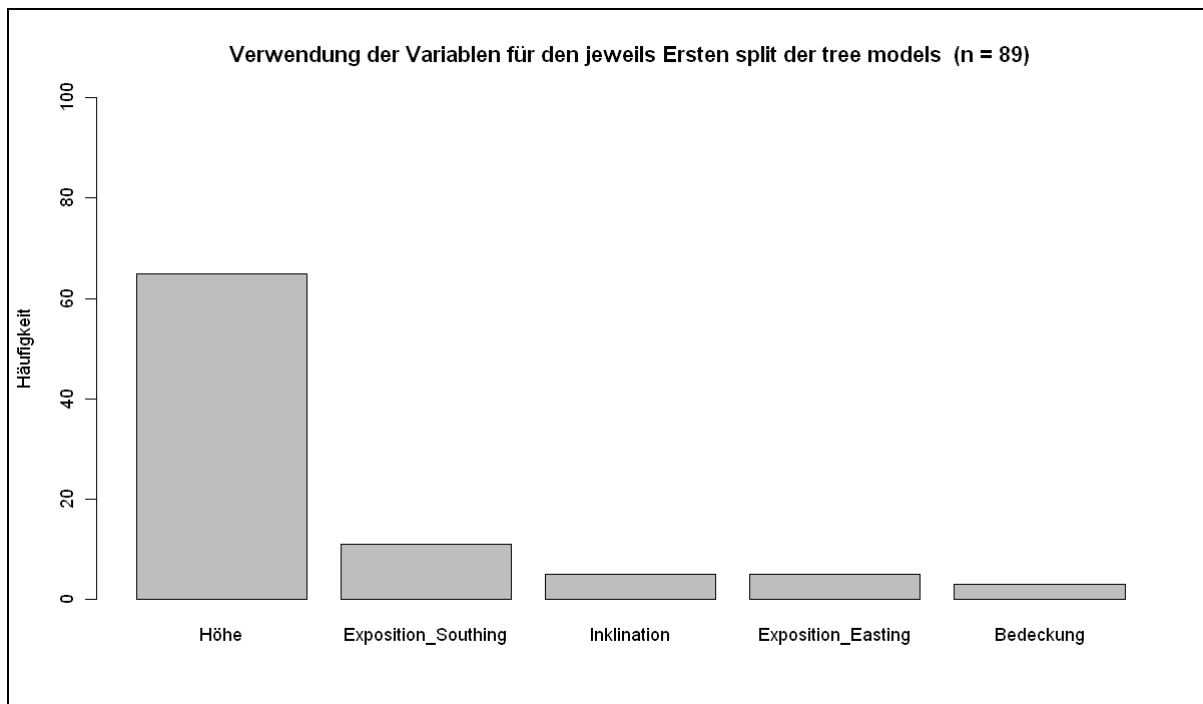


Abb. 14 Die Höhe wird deutlich häufiger, als andere Variablen verwendet.

3.3. Vegetationsanalyse mittels Twinspan (Hill 1979)

Alle Vegetationsaufnahmen sind in die Klasse Seslerietea albicantis zu stellen. Die verwendeten Methoden zur Vegetationsaufnahme beruhten, im Unterschied zur klassischen Methode nach Braun-Blanquet, nicht auf homogenen Untersuchungsflächen. Dies ließ eine schwierige Herausarbeitung der Pflanzengesellschaften erwarten, da viele nur fragmentarisch in den Plots vorhanden sein könnten.

Die Twinspan-Analyse trennte dennoch sehr deutlich Aufnahmen mit einer Artzusammensetzung des Caricion firmae von solchen mit typischer Struktur des Seslerion coeruleae voneinander. Acht Gruppen konnten auf diese Weise unterschieden werden.

Erschwert wird die Vegetationsanalyse durch eine enge Verzahnung beider Verbände im Freiland. Gruppe 1 und Gruppe 8 lassen sich sehr klar einer Assoziation zuordnen, wogegen dies bei den mittigen Gruppen deutlich schwerer fällt. Arten, welche die Beiden Verbände deutlich Trennen, sind für das Caricion firmae *Arenaria ciliata* subsp. *ciliata*, *Armeria maritima* subsp. *alpina*, *Crepis terglouensis*, *Draba sauteri*, *Minuartia sedoides*, *Minuartia verna* subsp. *verna*, *Pedicularis rosea* subsp. *rosea* und *Silene acaulis* subsp. *acaulis*.

Für das Seslerion coeruleae tun selbiges *Agrostis alpina*, *Anthyllis vulneraria* subsp. *alpestris*, *Aster bellidiastrum*, *Biscutella laevigata* subsp. *laevigata*, *Campanula scheuchzeri*, *Carduus defloratus* subsp. *defloratus*, *Carex sempervirens*, *Dianthus alpinus*, *Gentianella germanica*, *Galium anisophyllum*, *Homogyne discolor*, *Leucanthemum atratum* subsp. *atratum*, *Parnassia palustris*, *Ranunculus montanus*, *Scabiosa lucida*, *Soldanella alpina* und *Thlaspi alpinum* subsp. *alpinum*. Während sich Gruppe 1 sehr deutlich zu den offenen Firmeten rechnen lässt und Gruppe 8 sehr gut zur Seslerio-Caricetum sempervirentis Assoziation passt, ist wie bereits erwähnt eine eindeutige Zuordnung der anderen Vegetationsaufnahmen schwieriger. Bei Gruppe sieben ist jedoch ein Rückgang von *Carex firma* noch ein wichtiges Merkmal. Außerdem wird *Primula elatior*, eine wichtige Trennart des Caricion ferrugineae hier dominant.

Mehrere Gradienten sind aus der Twinspan-Analyse ablesbar. Das sind zum Einen Arten des Caricion firmae, welche die Gruppen 1 – 4 dominieren, gegen die des

Seslerion coeruleae in den Gruppen 6 – 8. Säurezeiger sind hauptsächlich von Gruppe 3 – 5 häufig wobei sie in letzterer am stärksten vertreten sind. Ein weiterer Trend zeigt sich bei Betrachtung der Weiderasen. Typische Vertreter dieser finden sich hauptsächlich in Gruppen 5 – 8. Dagegen sind die Arten der Schuttfuren bevorzugt in Gruppen niedrigerer Nummer. Alle verwendeten Vegetationstabellen finden sich im Anhang wieder.

Tab. 1 Verteilung der Standortsfaktoren und Zahl der Plots in jeder Gruppe für die acht Gruppen der Twinspan-Analyse.

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
Anzahl der Aufnahmen	57	15	28	32	21	16	40	31
Mittlere Seehöhe (m)	2191	2181	1965	2090	1950	1896	1815	1864
Mittlere Inklination (Grad)	22	17	24	19	22	28	23	26
Vegetationsbedeckung offen	30	5	14	9	1	7	20	6
Vegetationsbedeckung halboffen	26	5	12	19	12	8	15	22
Vegetationsbedeckung geschlossen	1	5	2	4	8	1	5	3

3.3.1. Gruppe 1: offener Polsterseggenrasen der oberen alpin Stufe

Mit 57 enthaltenen Plots handelt es sich hier um die größte Gruppe. Abgedeckt sind vor allem halboffene und offene Standorte, die eine charakteristische Artenzusammensetzung eines offenen Firmetums zeigen (Tab.1). Nur eine Vegetationsaufnahme fällt bezüglich Bedeckungsstruktur in die geschlossene Kategorie. Alle Plots liegen oberhalb von 2000m und durchschnittlich auf 2191m. 96 Arten kommen in diesen Flächen vor, wobei *Arenaria ciliata subsp. ciliata*, *Carex firma*, *Crepis terglouensis*, *Draba sauteri*, *Pedicularis rosea subsp. rosea*, *Saxifraga paniculata* und *Silene acaulis subsp. acaulis* zu jenen gehören, die einen deutlichen Unterschied zu anderen Gruppen erkennen lassen. *A. ciliata subsp. ciliata*, *C. terglouensis*, *D. sauteri* und *S. paniculata* erreichen hier ihre größte Stetigkeit, innerhalb aller Gruppen. Einige Vertreter der Schneeböden wie *Pritzelago alpina subsp. alpina*, *Salix reticulata* und *Salix retusa*, sowie solche der Schuttfuren wie *C. terglouensis*, *Petrocallis pyrenaica*, *Potentilla clusiana*, *S. paniculata* und *Sesleria*

ovata sind ebenfalls noch häufig zu finden. Weiderasen, Flächen mit Versauerung und Quellfluren sind in jedoch sehr selten.

Assoziationen: Caricetum firmae

3.3.2. Gruppe 2: offene und geschlossene Polsterseggenrasen der mittleren alpin Stufe

Es liegt hier nun die kleinste Gruppe vor, welche nur 15 Aufnahmen enthält. Sowohl was die Standortbedingungen, als auch die Artenkombination dieser Plots betrifft, ist eine große Ähnlichkeit zur Gruppe 1 erkennbar. Alle Flächen liegen oberhalb von 2000m, bis auf eine Ausnahme sogar über 2100m (durchschnittlich 2181m, (Tab.1)). Was die Vegetationsbedeckung betrifft, so treten nun halboffene und geschlossene Stellen in den Vordergrund. Wie bei Gruppe 1 sind noch immer die Firmetum-Arten vertreten, welche diese ersten beiden Gruppen gegen das Seslerion *coeruleae* sehr deutlich abgrenzen. Schnee- und Weiderasenarten sowie Versauerungszeiger treten leicht in den Vordergrund. Schuttarten werden dagegen im Vergleich zu Gruppe 1 seltener. Nach dem vorliegenden Datenmaterial, ließe sich diese Gruppe zwar auch den offenen Polsterseggenrasen zuordnen. Gerade bei der Vielzahl an Varianten, die für das Caricetum firmae beschrieben sind, scheint es aber doch gerechtfertigt, auch feine Unterschiede bei der Vegetationsanalyse zu berücksichtigen. Damit vereint Gruppe 2 Flächen, die von den offenen-, zur feuchten bzw. sauren Variante der geschlossenen Firmeten überführt.

dominante Assoziation: Caricetum firmae

3.3.3. Gruppe 3: *Festuca pumila*-*Agrostis alpina*-Gesellschaft Übergang der oberen subalpin Stufe

Ab Gruppe 3 ist der Einfluss von *Agrostis alpina* sehr stark erkennbar. Es handelt sich um Standorte mittlerer Seehöhe von 1752m bis 2061m (vgl.Tab.1). Außerdem

ist eine Zunahme der Säurezeiger zu verzeichnen, was auf eine zunehmende Moder-Humusschicht (Dirnböck et al. 1999) bei diesen Standorten hindeutet. Letzte Tatsache, gemeinsam mit einem verstärktem Auftreten von *A. alpina* spricht für das Festucetum pumilae, wenngleich Gruppe 3 noch starke Beeinflussung durch Firmetum-Arten zeigt. Dies äußert sich auch in einer recht hohen Artenzahl von 121. Zusätzlich beginnt in Gruppe 3 der Einfluss des Seslerion coeruleae stärker zu wirken. Dies ist aus der erhöhten Stetigkeit von *Carex sempervirens* und *Dianthus alpinus* abzuleiten. Im Vergleich zu den anderen Gruppen, ist keine eindeutig zuordenbare Artenkombination erkennbar. Vielmehr ist eine Abnahme charakteristischer Arten typisch, was jedoch auf die Vermischung mehrerer Gesellschaften zurückzuführen ist.

dominante Assoziation: Festucetum pumilae

weitere Assoziation: Caricetum firmae

3.3.4. Gruppe 4: *Festuca pumila*-*Agrostis alpina*-Gesellschaft der oberen subalpin Stufe

Ein viel klareres Bild auf die Gesellschaft liefert Gruppe 4. Die Charakterarten *A. alpina*, *Carex atrata* subsp. *atrata*, *Festuca quadriflora* und *Potentilla crantzii* sind hier in dieser Kombination mit höchster Stetigkeit, innerhalb der Daten, vorhanden; wenngleich nun auch *C. sempervirens* und *D. alpinus* sehr häufig zu finden sind. Es deutet sich bereits eine Überleitung zum Seslerio-Caricetum sempervirentis an, aber bis Gruppe 4 dominieren Arten des Caricion firmae. Es sind dies vor allem *halboffene* Standorte zwischen 1752 und 2048m bzw. durchschnittlich 2090m (Tab.1).

Assoziationen: Festucetum pumilae

weitere Assoziationen: Caricetum firmae
Seslerio-Caricetum sempervirentis

3.3.5. Gruppe 5: Blaugras-Horstseggenhalden der oberen subalpin Stufe

Der Einfluss des *Caricion firmae* und der *Festuca-Agrostis*-Matten ist in dieser Gruppe zwar noch deutlich spürbar. Dennoch sind nun die Charakterarten des *Seslerion coeruleae* mit hoher Stetigkeit vorhanden. Deshalb kann ein Großteil der Plots dem *Seslerion coeruleae* zugerechnet werden. Daneben erreichen auch die Säurezeiger hier ihren Höhepunkt, was für eine gut ausgebildete Humusschicht spricht. Gruppe 5 enthält vor allem halboffene bis geschlossene Standorte in Höhen um die 2000m (Tab.1). Durchschnittlich liegen die Flächen auf 1950m.

Assoziation : *Seslerio-Caricetum sempervirentis*

weitere Assoziationen: *Festucetum pumilae*
 Caricetum firmae

3.3.6. Gruppe 6: Schuttrassen mit Einblütiger Simse und Blaugras-Horstseggenhalden der unteren subalpin Stufe

Im Gegensatz zu Gruppe 5 sind die Standorte hier wieder lückiger und liegen durchschnittlich auf 1896m (Tab.1). Es gibt jedoch auch Ausreißer auf maximal 2114m. Neben dem *Seslerio-Caricetum sempervirentis* tritt auch das *Alchemillo decumbentis-Juncetum monanthi* auf. Säurezeiger werden hier deutlich seltener, Schneearten nehmen dagegen zu. Beides passt gut zu letzterer Gesellschaft, die bevorzugt an Schuttreichen Standorten, wie etwa Dolinen siedelt. Dort wo Rasenbildung möglich ist, treten dagegen die Blaugras-Horstseggenhalden in den Vordergrund.

Dominante Assoziationen: *Seslerio-Caricetum sempervirentis*

weitere Assoziation: *Alchemillo decumbentis-Juncetum monanthi*

3.3.7. Gruppe 7: Rostseggenrasen der mittleren subalpin Stufe

Dies ist die einzige Gruppe bei der eine auffällige Abnahme von *Carex firma* zu verzeichnen ist. Dafür tritt das Caricetum ferrugineae mit typischen Arten wie *Carex ferruginea* selbst und *Primula elatior* stark in Erscheinung. Mit 178 Arten ist es zudem die artenreichste Gruppe. Da es sich hier um die im Durchschnitt niedrigsten Lagen handelt (vgl.Tab.1), kann dies mit einer starken Durchmischung von Arten tieferer Lagen erklärt werden. Auffällig ist zusätzlich eine starke Zunahme der Weiderasenarten gegenüber voriger Gruppen.

Assoziationen: Caricetum ferrugineae

weitere Assoziation: Seslerio-Caricetum sempervirentis

3.3.8. Gruppe 8: Blaugras-Horstseggenhalden und Rostseggenrasen der mittleren subalpin Stufe

Vergleichend mit den übrigen Gruppen ist hier die charakteristische Artenkombination des Seslerio-Caricetum sempervirentis am deutlichsten ausgeprägt. Auch die Charakterarten des Seslerion coeruleae sind mit sehr guter Stetigkeit vorhanden. Wie in der vorherigen Gruppe, so spielt auch hier das Alchemillo decumbentis-Juncetum monanthi eine gewisse Rolle. Darüber hinaus treten Arten der Weiderasen sehr stark in den Vordergrund. Von den Standortsbedingungen her handelt es sich größtenteils um lückige Rasen auf ca. 1864m (Tab.1). Außerdem fällt auf, dass Pflanzen der Rostseggenrasen noch einen gewissen Einfluss haben.

Die Gruppe enthält zwar mit 1671m auch die tiefsten Aufnahmeflächen. Wie die vorhandenen Daten jedoch zeigen, können Firmetum- Arten sehr weit nach unten eine Rolle spielen.

Assoziationen: Seslerio-Caricetum sempervirentis

weitere Assoziationen: Alchemillo decumbentis-Juncetum monanthi
 Caricetum ferrugineae

3.4. *Vorkommenswahrscheinlichkeit und Verbreitungsgrenzen subalpin- und alpin- verbreiteter Pflanzenarten: die Ergebnisse der tree models und GLMs*

Für jede der vier Gruppen werden einige Pflanzenarten exemplarisch dargestellt. Die Grafiken der übrigen Arten befinden sich im Anhang. Alle hier präsentierten Modelle sind hochsignifikant. Die Modelle im Anhang sind meist hochsignifikant, jedoch zumindest rand-signifikant.

3.4.1. Gruppe A: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes, aber keiner deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.

Gruppe A enthält 21 Pflanzenarten. Für *Silene pusilla* war es nur möglich, ein GLM zu rechnen. Da dieses jedoch signifikant ist (Tab.10, Anhang) wurde es im Ergebnisteil mitberücksichtigt. 20 Arten blieben somit zur Erstellung der tree models.

3.4.1.1. Carex sempervirens

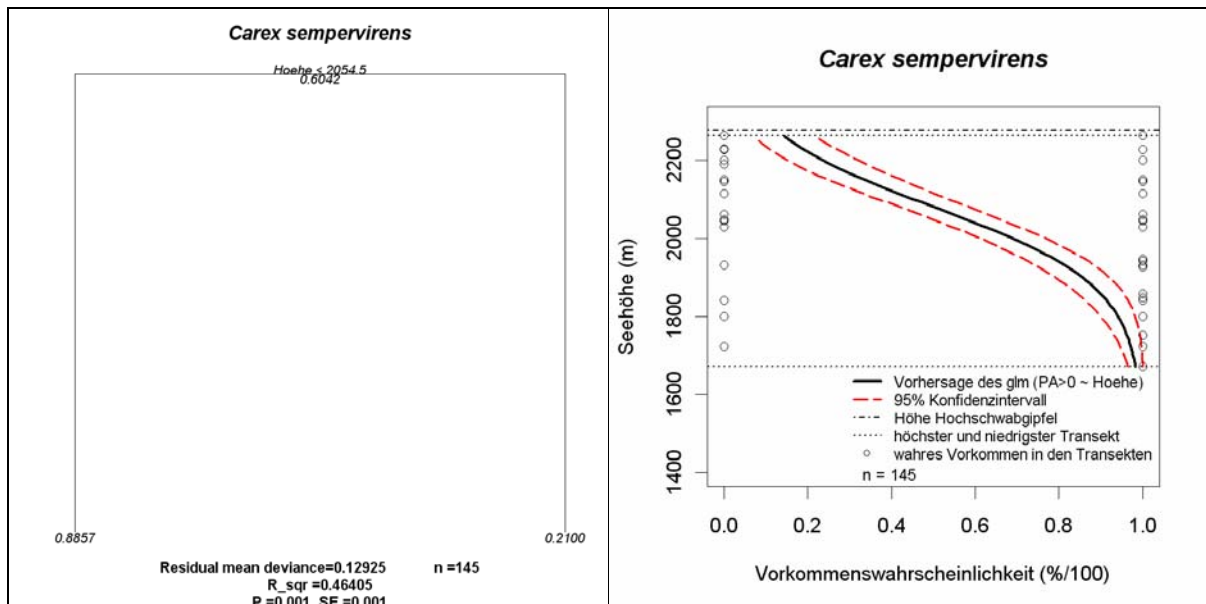


Abb. 15 Einfaktorielles tree model (links) und GLM (rechts). Die Höhe hat in beiden Fällen einen signifikanten Einfluss (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Das tree model (Abb.15) verwendet nur die Höhe als Prädiktor. Diese hat jedoch einen großen Einfluss und kann 46% ($R^2 = 0.46405$) der auftretenden Varianz erklären. Unterhalb von 2054.5m liegt die Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Carex sempervirens* bei 89% (PA = 0.8857). Darüber ist sie deutlich geringer mit 21% (PA = 0.2100) anzutreffen. Dieser Wert liegt deutlich über der gesetzten Schwelle für eine scharfe obere Verbreitungsgrenze von $PA \geq 0.10$, weshalb sie eindeutig Gruppe A zuordenbar ist.

Auch das GLM (Abb.15) zeigt eine signifikante Abnahme der Vorkommenswahrscheinlichkeit mit der Höhe (Tab.10, Anhang). Im Bereich der höchsten Transektfläche bei 2262m wächst sie mit ca. 10% Wahrscheinlichkeit. Unterhalb von 1800m dagegen zu über 90%.

3.4.1.2. Agrostis alpina

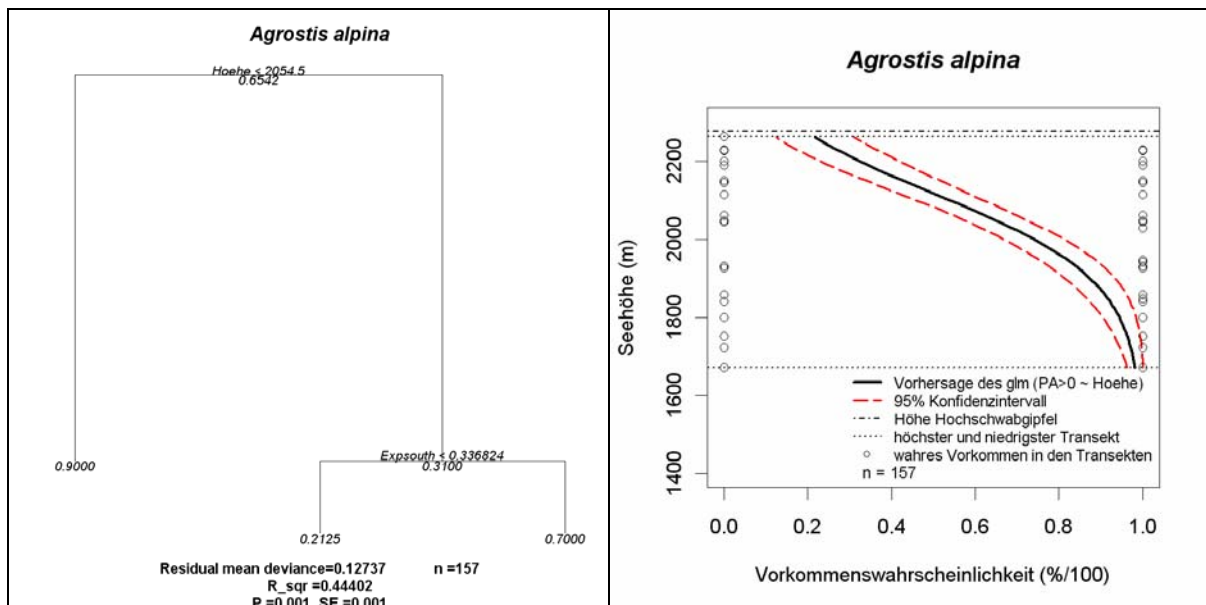


Abb. 16 Zweifaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts). Die Höhe hat in beiden Fällen einen signifikanten Einfluss (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Agrostis alpina wächst unter 2054.5m mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% (PA = 0.90) (Abb.16). Darüber kann sie in Südexpositionen von 110°-150° (*Expsouth* < 0.336824) noch zu 70% (PA = 0.70), in allen weiteren zu 21% (PA = 0.2125) vorkommen. Höhe und Exposition erklären 44% der Varianz ($R^2 = 0.44402$).

Eine höhere Vorkommenswahrscheinlichkeit bei geringerer Seehöhe ist auch aus dem GLM ablesbar (Abb.16, Tab.10, Anhang). Unterhalb von 1900m liegt diese bei über 80% und nimmt nach unten weiter zu.

3.4.1.3. Primula clusiana

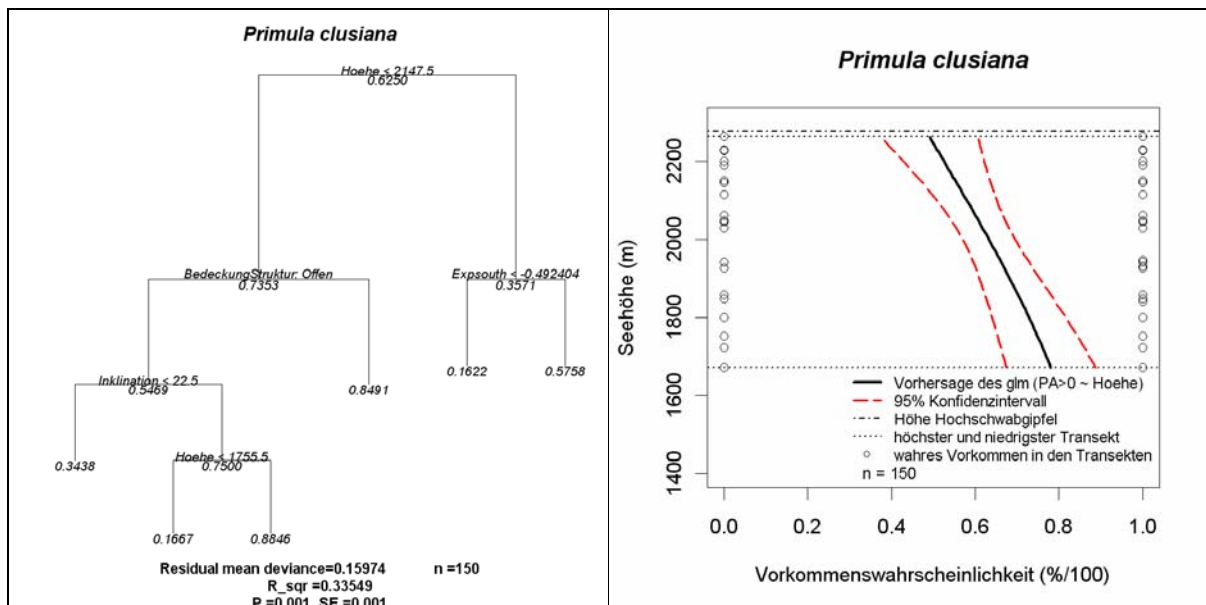


Abb. 17 Mehrfaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts). Die Höhe hat in beiden Fällen einen signifikanten Einfluss (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Primula clusiana wächst an Standorten zwischen 2147.5m bis 1755.5m, halboffener oder geschlossener Vegetationsbedeckung und einer Inklination von mehr als 22.5° zu 88% (PA = 0.8846) (Abb.17). Bei halboffener oder geschlossener Vegetationsbedeckung werden steilere Hänge bevorzugt. In selbigen Höhenbereich, jedoch an offenen Flächen, hat die Inklination keinen signifikanten Einfluss. Hier liegt die Vorkommenswahrscheinlichkeit bei 85% (PA = 0.8491). Oberhalb von 2147.5m liegt die Auftretenswahrscheinlichkeit bei Expositionen von 61°-299°(Expsouth≥-0.492404) bei 58% (PA = 0.5758). In den verbleibenden nördlichen Expositionen ist ein Vorkommen mit 16% (PA = 0.1622) weniger wahrscheinlich. Vier verwendete Prädiktoren führen zu einem R² von 34% (R² = 0.33549).

Auch das GLM (Abb.17) zeigt eine höhere Vorkommenswahrscheinlichkeit in tieferen Höhenlagen. Nach oben liegt dieser Wert jedoch nie unter 40% (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

Weiters fallen in diese Gruppe:

Aster bellidiastrum, *Campanula pulla*, *Campanula scheuchzeri*, *Euphrasia minima* subsp. *minima*, *Euphrasia salisburgensis*, *Festuca rupicaprina*, *Galium anisophyllum*, *Gentiana clusii*, *Gentianella germanica*, *Homogyne discolor*, *Phyteuma orbiculare*,

Ranunculus montanus, *Scabiosa lucida*, *Sedum atratum*, *Selaginella selaginoides*, *Silene pusilla*, *Thlaspi alpinum subsp. alpinum* und *Viola biflora*.

3.4.2. Gruppe B: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes und einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze

41 Pflanzenarten ließen sich dieser Gruppe zuordnen. Damit handelt es sich um die größte der vier Gruppen.

3.3.2.1 *Biscutella laevigata subsp. austriaca*

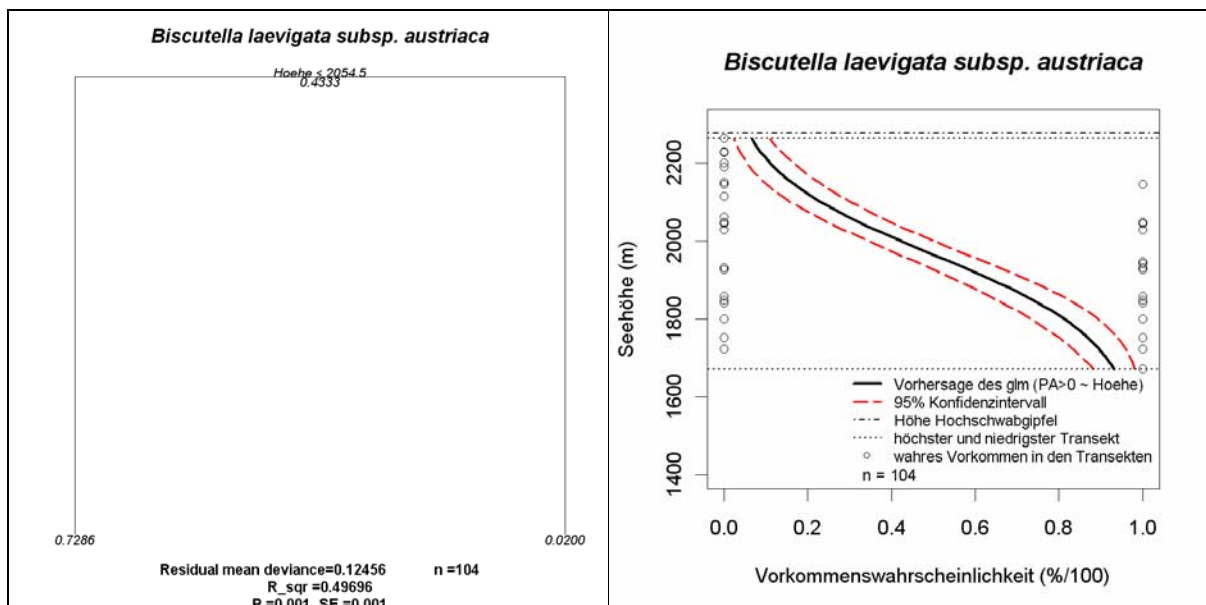


Abb. 18 Einfaktorielles tree model (links) und GLM (rechts). Die Höhe hat in beiden Fällen einen signifikanten Einfluss (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Unterhalb von 2054.5m kommt *Biscutella laevigata subsp. laevigata* mit 73% (PA = 0.7286) Wahrscheinlichkeit vor (Abb. 18). Darüber zeigt die Art eine deutliche Verbreitungsgrenze mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 2% (PA = 0.02).

Dieser Wert liegt deutlich unterhalb des Schwellenwerts für eine scharfe obere Verbreitungsgrenze von $PA \leq 0.10$. Die Höhe erklärt 50% ($R^2 = 0.49696$) der Varianz.

Das GLM (Abb.18) lässt ebenfalls eine höhere Vorkommenswahrscheinlichkeit bei geringerer Höhe erkennen. Bei 2200m liegt diese ca. bei 10% (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

3.3.2.2 *Leucanthemum atratum subsp. atratum*

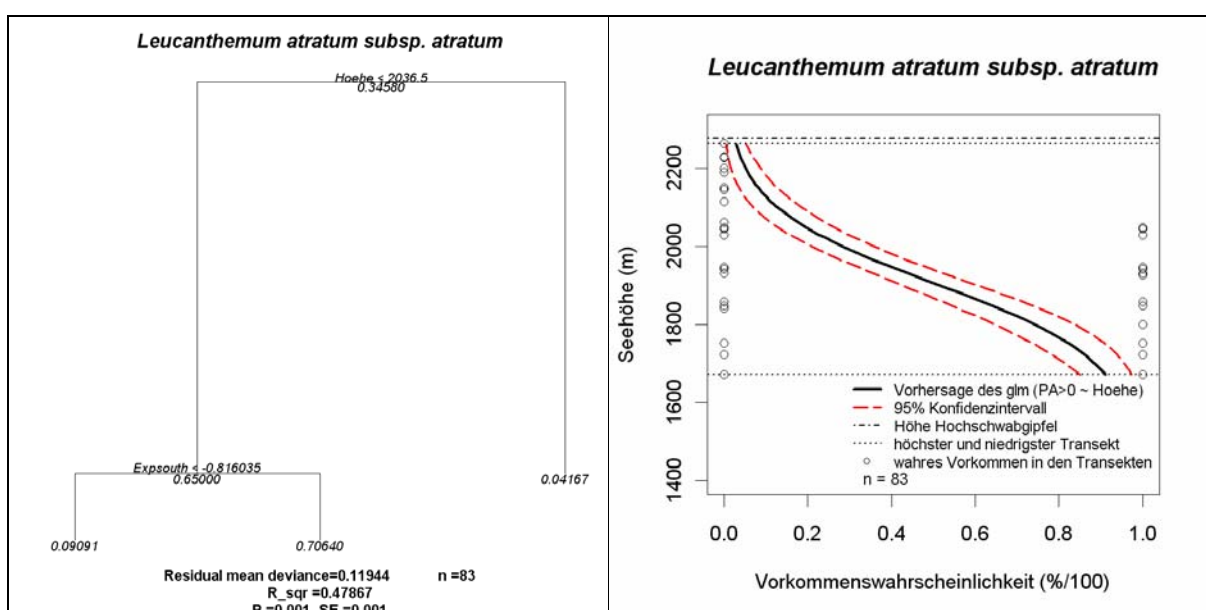


Abb. 19 Zweifaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts). Die Höhe hat in beiden Fällen einen signifikanten Einfluss (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Mit 70% ($PA = 0.7064$) liegt die höchste Vorkommenswahrscheinlichkeit für *Leucanthemum atratum subsp. atratum* unterhalb von 2036.5m und einer Exposition zwischen $35^\circ - 325^\circ$ ($Expsouth \geq -0.816035$) (Abb.19). Oberhalb dieser Höhe besitzt die Art eine scharfe obere Verbreitungsgrenze mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 4% ($PA = 0.04167$).

Wie das tree model, so zeigt auch das GLM einen Verbreitungsschwerpunkt in tiefen Lagen (Abb. 19). Oberhalb von 2100m, nähert sich die Vorhersagekurve des GLM asymptotisch einer Vorkommenswahrscheinlichkeit von 0% an. Es zeichnet sich damit auch im GLM eine obere Verbreitungsgrenze ab (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

3.3.2.3 *Dianthus alpinus*

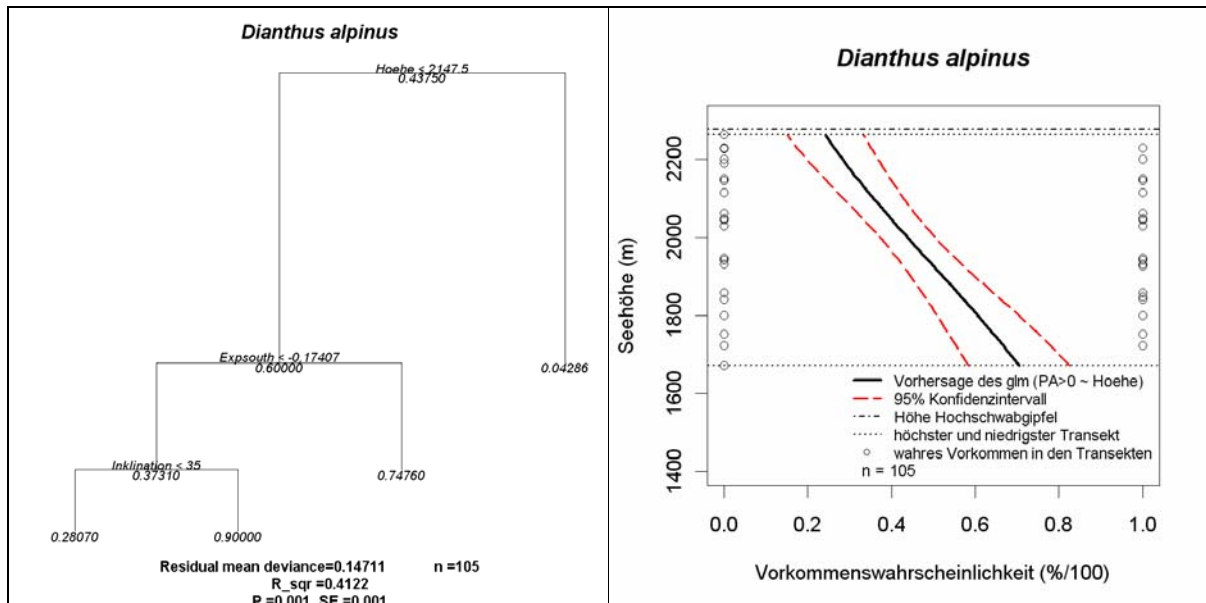


Abb. 20 Mehrfaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts). Die Höhe hat in beiden Fällen einen signifikanten Einfluss (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Eine Vorkommenswahrscheinlichkeit von 90% (PA = 0.90) gibt das tree model für *Dianthus alpinus* an Standorten, unterhalb von 2147.5m, einer Exposition zwischen 281° - 360°/0° - 79° (Expsouth<-0.17407) und einer Inklination von mehr als 35° an (Abb.20). Im selben Höhenbereich kommt die Art zwischen 80°-280° Expositionen zu 75% (PA = 0.7476) vor. Oberhalb von 2147.5m zeigt das tree model eine scharfe Verbreitungsgrenze für diese Art, mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 4% (PA = 0.04286).

Laut GLM (Abb.20) hat *D. alpinus* ebenfalls eine höhere Vorkommenswahrscheinlichkeit in tiefen Lagen des Untersuchungsgebietes. Eine scharfe obere Verbreitungsgrenze ist jedoch nicht erkennbar (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

Weiters fallen in diese Gruppe:

Achillea clavennae, *Achillea clusiana*, *Acinos alpinus* subsp. *alpinus*, *Adenostyles alliariae* subsp. *alliariae*, *Adenostyles alpina*, *Anemone narcissifolia* subsp. *narcissifolia*, *Anthoxanthum odoratum* subsp. *alpinum*, *Anthyllis vulneraria* subsp. *alpestris*, *Asplenium trichomanes-ramosum*, *Campanula cochlearifolia*, *Carduus*

defloratus subsp. *defloratus*, *Carex ferruginea* subsp. *ferruginea*, *Cerastium carinthiacum*, *Coeloglossum viride*, *Cystopteris alpina*, *Deschampsia cespitosa* subsp. *cespitosa*, *Geranium sylvaticum* subsp. *sylvaticum*, *Helianthemum nummularium* subsp. *glabrum*, *Heracleum austriacum* subsp. *austriacum*, *Hieracium villosum*, *Huperzia selago* subsp. *selago*, *Juncus trifidus* subsp. *monanthos*, *Leontodon hispidus*, *Ligusticum mutellina*, *Lotus corniculatus* agg., *Parnassia palustris*, *Phleum alpinum* subsp. *rhaeticum*, *Pinguicula alpina*, *Potentilla aurea* subsp. *aurea*, *Potentilla brauniana*, *Primula elatior*, *Ranunculus hybridus*, *Rhodothamnus chamaecistus*, *Silene alpestris*, *Silene vulgaris* subsp. *vulgaris*, *Soldanella alpina*, *Tofieldia calyculata* und *Vaccinium myrtillus*.

3.3.3 Gruppe C: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in alpinen Bereichen des Untersuchungsgebietes, aber keiner deutlichen unteren Verbreitungsgrenze.

Die Zahl der Pflanzenarten mit oberem Verbreitungsschwerpunkt fällt im Vergleich zur Gruppe mit unterem Hauptvorkommen deutlich geringer aus. Nur 24 Arten konnten dieser Kategorie zugewiesen werden. Von diesen 24 Pflanzen wurden zwei weitere gestrichen, weil sie eine zu kleine Stichprobe (n = 15) repräsentierten.

3.3.3.1 *Helianthemum oelandicum subsp. alpestre*

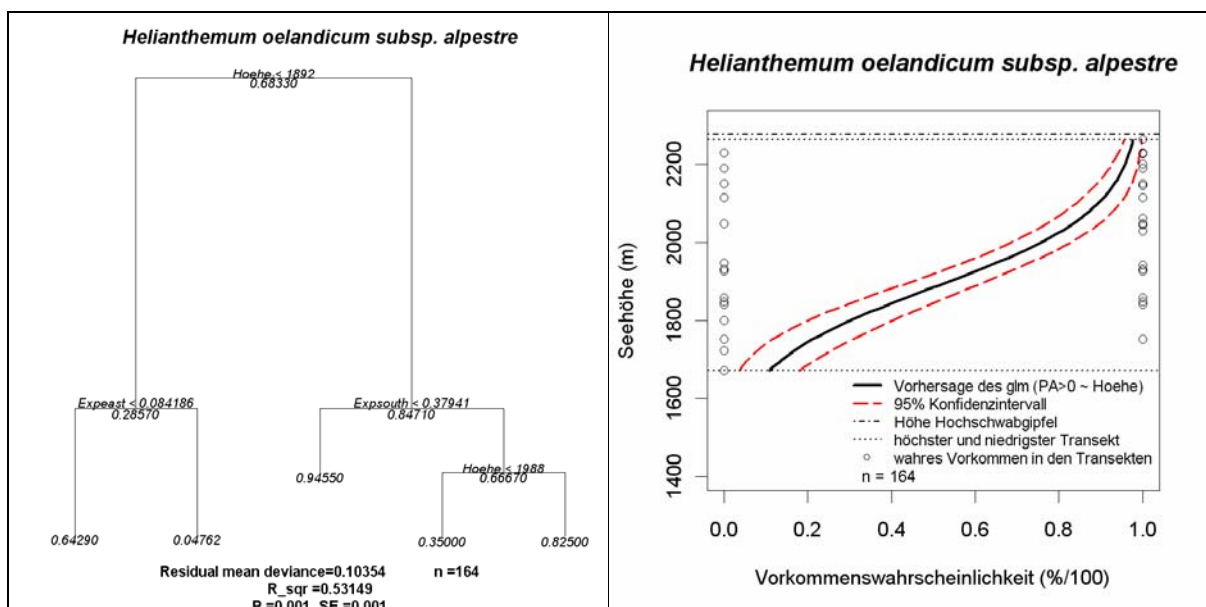


Abb. 21 Mehrfaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts) (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Das tree model (Abb.21) prognostiziert eine Vorkommenswahrscheinlichkeit von 95% (PA = 0.9455) für *Helianthemum oelandicum subsp. alpestre* oberhalb von 1892m und Expositionen zwischen 249°-360°/0°-111° (Expsouth<0.37941). Bei Expositionen von 112°-248° und einer Höhe über 1988m kommt die Art mit einer Wahrscheinlichkeit von 83% (PA = 0.825) vor. Unter 1892m wächst *H. oelandicum subsp. alpestre* mit 64% (PA = 0.6429) Wahrscheinlichkeit in Expositionen zwischen 176°-360°/0°-4° (Expeast<0.084186). In Expositionen von 5°-175° unterschreitet die Art den Schwellenwert für eine deutliche untere Verbreitungsgrenze von PA ≤ 0.13.

Da die Vorkommenswahrscheinlichkeit aller anderen Expositionen in denselben Höhenlagen deutlich über dem Schwellenwert liegt, verbleibt sie in Gruppe C. Auch die vorhergesagte Vorkommenswahrscheinlichkeit aus dem GLM (Abb.21) zeigt eine signifikante Abnahme mit der Höhe (Tab.10, Anhang), ohne deutliche untere Verbreitungsgrenze.

3.3.3.2 *Silene acaulis subsp. acaulis*

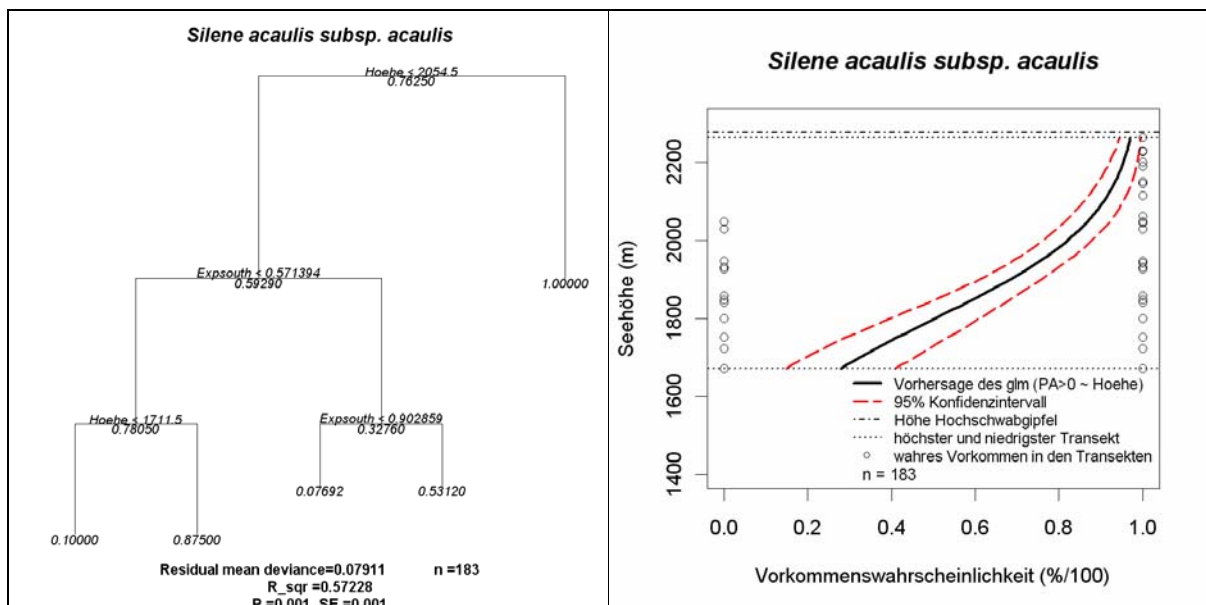


Abb. 22 Zweifaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts) (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Höhe und ExpSouth verwendet das tree model (Abb.22) um die Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Silene acaulis subsp. acaulis* zu beschreiben. Über 2054.5m liegt ihre Auftretenswahrscheinlichkeit bei 100% (PA = 1.0). Darunter wächst sie mit 88% (PA = 0.875) Wahrscheinlichkeit zwischen 1711.5m und 2054.5m in Expositionen von 236°-360°/0°-124° (ExpSouth<0.571394). Außerdem kann sie unter 2054.5m bei Expositionen zwischen 173°-187° (ExpSouth<0.902859) zu 53% auftreten. *S. acaulis subsp. acaulis* zeigt damit eine deutliche Präferenz höherer Lagen im Untersuchungsgebiet, jedoch keine scharfe untere Verbreitungsgrenze.

Der Höhentrend des tree models wird durch das GLM (Abb.22) bestätigt. Auch hier ist keine deutliche Verbreitungsgrenze auszumachen (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

3.3.3.3 Salix reticulata

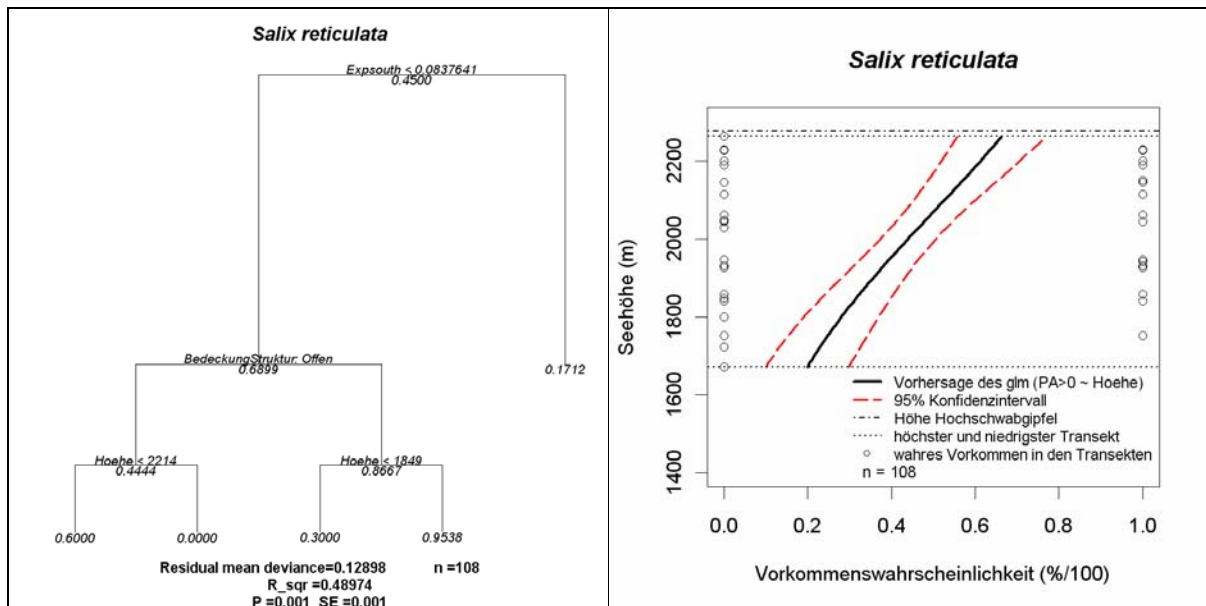


Abb. 23 Mehrfaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts) (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Salix reticulata wächst am Wahrscheinlichsten bei einer Exposition von 266° - $360^{\circ}/0^{\circ}$ - 94° ($\text{Expsouth} < 0.0837641$) (Abb.23). Zusätzlich führen halboffene oder geschlossene Vegetationsbedeckung bei einer Seehöhe über 1849m zu einer Vorkommenswahrscheinlichkeit von 95%. Unterhalb von 2214m bei gleicher Exposition und offener Vegetationsbedeckung beträgt dieser Wert 60%. Den größten Einfluss, unter den verwendeten Standortsfaktoren, auf ein Vorkommen von *S. reticulata* hat die Exposition. Dennoch zeigt das tree model auch eine größere Vorkommenswahrscheinlichkeit in höheren Lagen des Untersuchungsgebietes. Das GLM (Abb.23) zeigt die Zunahme der Vorkommenswahrscheinlichkeit noch etwas deutlicher (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

Weiters fallen in diese Gruppe:

Armeria maritima subsp. *alpina*, *Bartsia alpina*, *Campanula alpina* subsp. *alpina*, *Carex atrata* subsp. *atrata*, *Carex parviflora*, *Doronicum glaciale*, *Dryas octopetala*, *Gentiana brachyphylla* subsp. *favratii*, *Gentiana pumila* subsp. *pumila*, *Hedysarum hedysaroides*, *Myosotis alpestris*, *Pedicularis verticillata*, *Polygonum viviparum*, *Potentilla clusiana*, *Pritzelago alpina* subsp. *alpina*, *Ranunculus alpestris* subsp. *alpestris*, *Salix retusa*, *Saxifraga aizoides* und *Saxifraga paniculata*.

3.3.4 Gruppe D: Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in oberen Bereichen des Untersuchungsgebietes und einer deutlichen unteren Verbreitungsgrenze.

Diese Gruppe beinhaltet elf Arten. Tree models konnten für zehn Pflanzenarten erstellt werden. Aufgrund einer geringen Stichprobengröße war dies für *Draba aizoides* nicht möglich. Sie wurde aber dennoch in der statistischen Analyse mitberücksichtigt, da das GLM (Abb.58, Anhang) einen signifikanten Höhentrend (Tab.10, Anhang) zeigt.

3.3.4.1 *Arenaria ciliata subsp. ciliata*

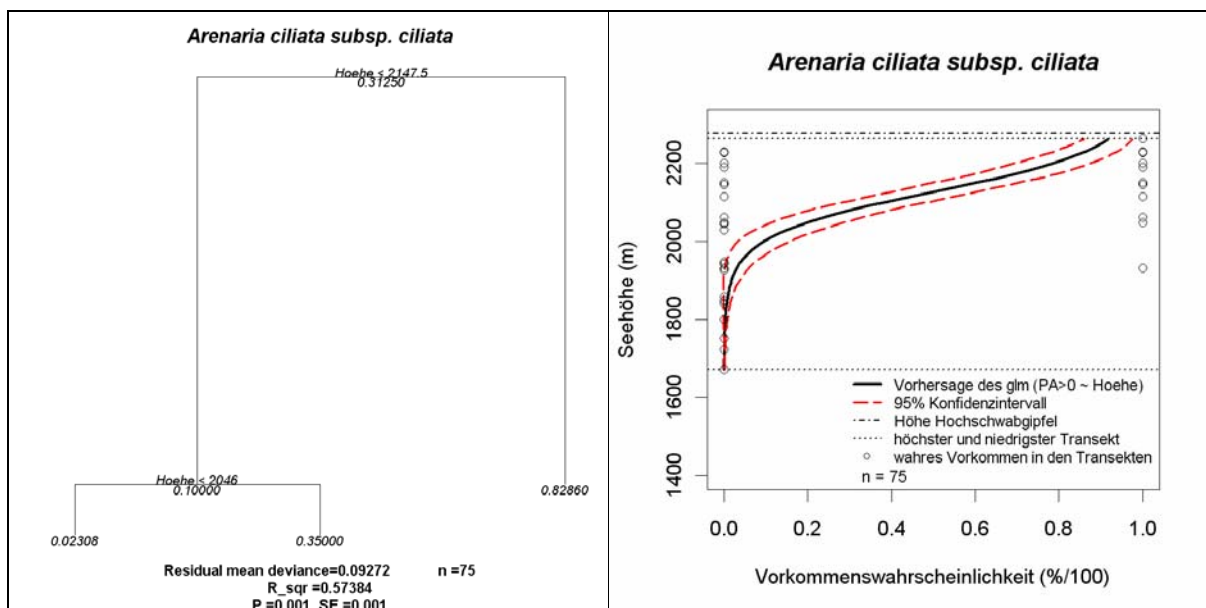


Abb. 24 Einfaktorielles tree model (links) und GLM (rechts) (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Im tree model für *Arenaria ciliata subsp. ciliata* (Abb.24) zeigt sich eine deutlich höhere Vorkommenswahrscheinlichkeit ab 2147.5m. Unterhalb von 2046m kommt sie nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 2% ($PA = 0.02308$) vor und weist damit eine scharfe untere Verbreitungsgrenze auf. Die Höhe als erklärende Variable hat großen Einfluss auf ein Vorkommen der Art worauf das R^2 von 57% ($R^2 = 0.57384$) hinweist.

Wie schon im tree model ersichtlich, so lässt auch das GLM (Abb.24) eine Zunahme der Vorkommenswahrscheinlichkeit mit der Höhe erkennen. Unterhalb von ca. 1850m geht die Vorkommenswahrscheinlichkeit gegen Null, womit auch hier eine scharfe untere Verbreitungsgrenze dargestellt ist (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

3.3.4.2 *Minuartia verna subsp. verna*

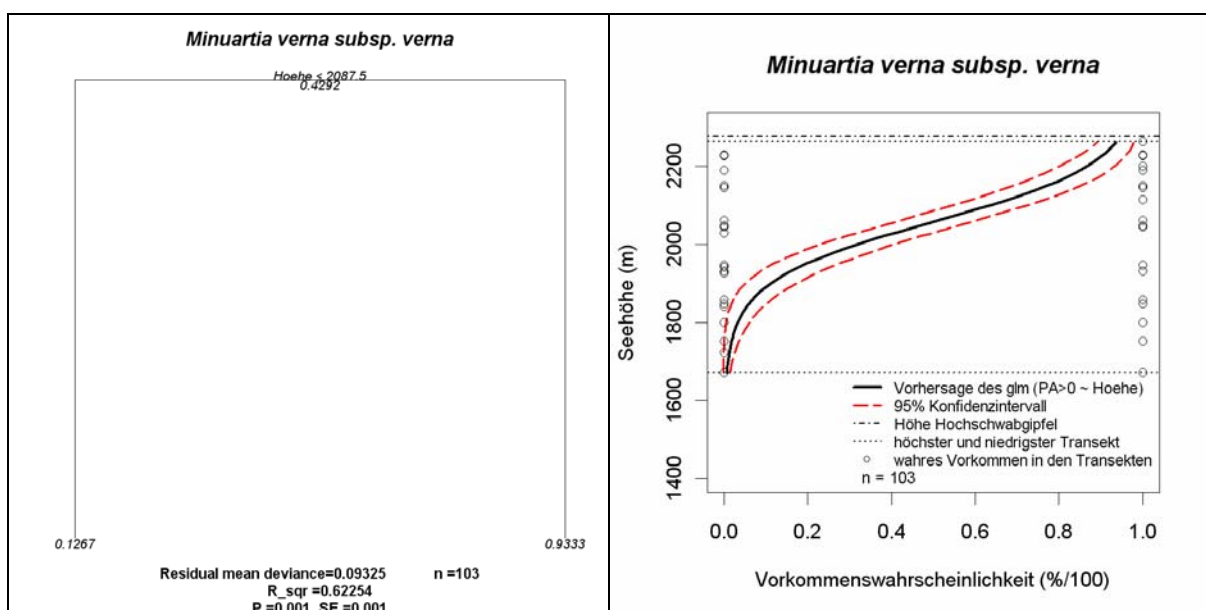


Abb. 25 Einfaktorielles tree model (links) und GLM (rechts) (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Minuartia verna subsp. verna* hat unter den erhobenen Standortsfaktoren ausschließlich die Höhe signifikanten Einfluss (Abb.25). Allein diese erklärt 62% der auftretenden Varianz ($R^2 = 0.62254$). Über 2087.5m ist die Wahrscheinlichkeit für ein Vorkommen der Art mit 93% (PA = 0.9333) sehr hoch. Darunter mit 13% (PA = 0.1267) vergleichsweise niedrig. Damit fällt die Art gerade noch unter den Schwellenwert für eine scharfe untere Verbreitungsgrenze.

Auch die Vorhersagekurve des GLM (Abb.25) zeigt eine Abnahme der Vorkommenswahrscheinlichkeit mit abnehmender Seehöhe. Unterhalb von 1800m nähert sich die Vorhersagekurve einer Vorkommenswahrscheinlichkeit von Null asymptotisch an,

was ebenfalls für eine scharfe untere Verbreitungsgrenze spricht (Werte zur Signifikanz des GLM, siehe Tab.10, Anhang).

3.3.4.3 Minuartia sedoides

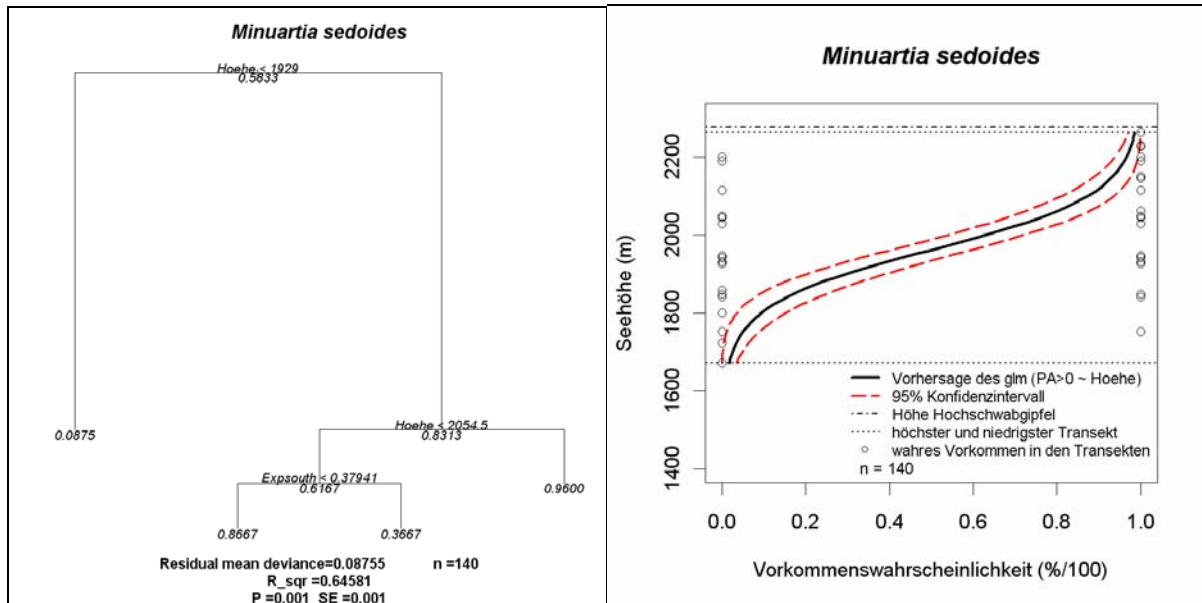


Abb. 26 Zweifaktorielles tree model (links) und einfaktorielles GLM (rechts) (Signifikanz-Werte GLM siehe Tab.10, Anhang).

Höhe und Exposition werden im tree model von *Minuartia sedoides* verwendet, um deren Vorkommenswahrscheinlichkeit zu beschreiben (Abb.26). Über 2054.5m wächst die Art mit einer Wahrscheinlichkeit von 96% (PA = 0.96). Zwischen 1929m und 2054.5m kommt sie in Expositionen von 249°-360°/0°-111° (Expsouth<0.37941) mit 87%iger (PA = 0.8667) Wahrscheinlichkeit vor. Unterhalb von 1929m ist ein Vorkommen von *M. sedoides* mit 8%iger Wahrscheinlichkeit zu erwarten. Damit zeigt sie eine deutliche untere Verbreitungsgrenze.

Eine größere Vorkommenswahrscheinlichkeit in höheren Bereichen des Untersuchungsgebietes ist auch aus den Ergebnissen des GLM ablesbar (Abb.26, Tab.10, Anhang). Unterhalb von 1800m deutet sich leicht eine scharfe untere Verbreitungsgrenze an.

Weiters fallen in diese Gruppe:

Carex firma, *Crepis terglouensis*, *Draba aizoides*, *Draba sauteri*, *Pedicularis rosea* subsp. *rosea*, *Petrocallis pyrenaica*, *Saxifraga exarata* subsp. *moschata* und *Sesleria ovata*.

3.4 Momentane Verbreitungsgrenzen subalpiner und alpiner Pflanzenarten

Sollte die Jahresmitteltemperatur steigen und andere abiotischen Faktoren annähernd gleich bleiben, ist für jene in Abb. 27 und Abb. 28 aufgeführten Arten ein Höhersteigen zu erwarten. Die obere Grafik zeigt boxplots jener Pflanzenarten, die einen unteren Verbreitungsschwerpunkt aufweisen und eine scharfe obere Verbreitungsgrenze besitzen. Ein Nachobenwandern ist für diese Arten aufgrund der Höhe des Hochschwab-Massives ohne weiteres möglich. Der untere Teil zeigt jene Arten mit oberem Verbreitungsschwerpunkt und scharfer unterer Grenze. Für diese Pflanzen ist ein weiteres nach oben wandern nicht mehr möglich, da sie bereits in den höchsten Gipfelregionen vorkommen. Auf besonders geringe obere Bereich beschränkt sind *Arenaria ciliata* subsp. *ciliata*, *Draba sauteri* und *Sesleria ovata*.

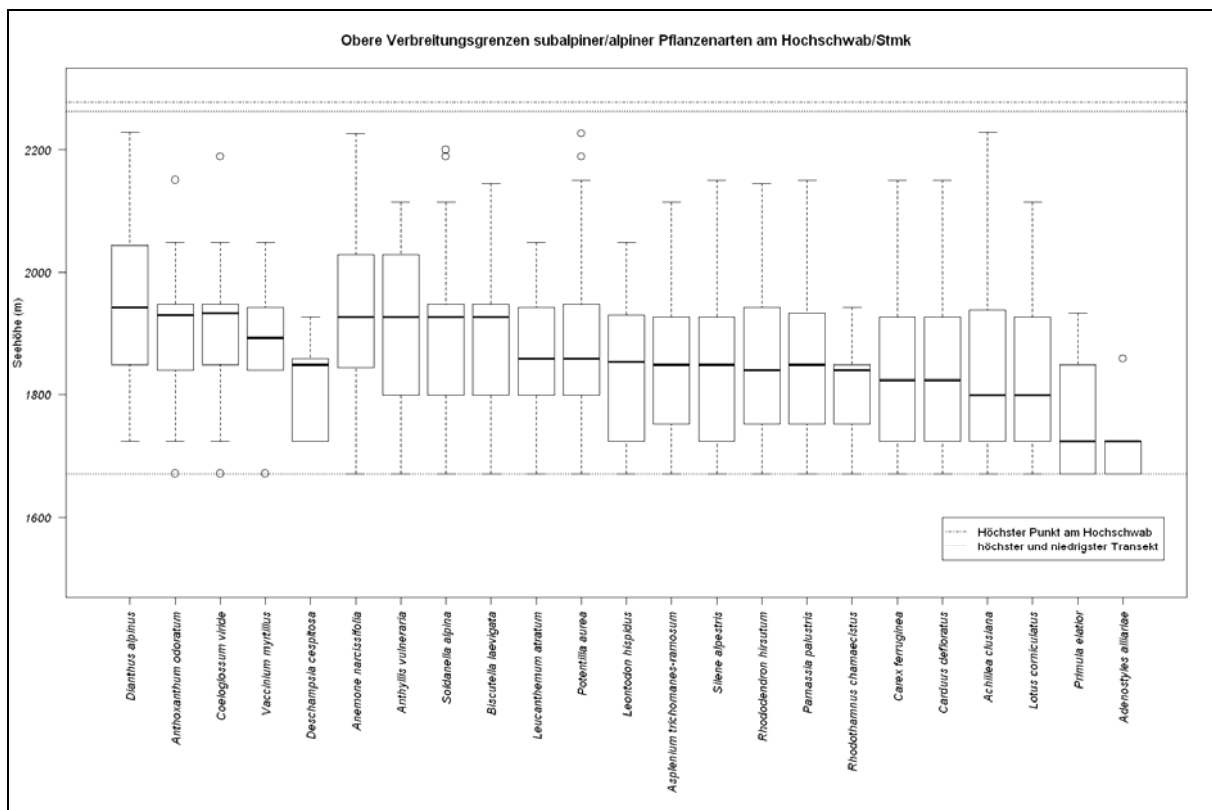


Abb. 27 Dargestellt sind Pflanzenarten, für die eine Migration nach oben aufgrund der Höhe des Gebiets noch möglich ist.

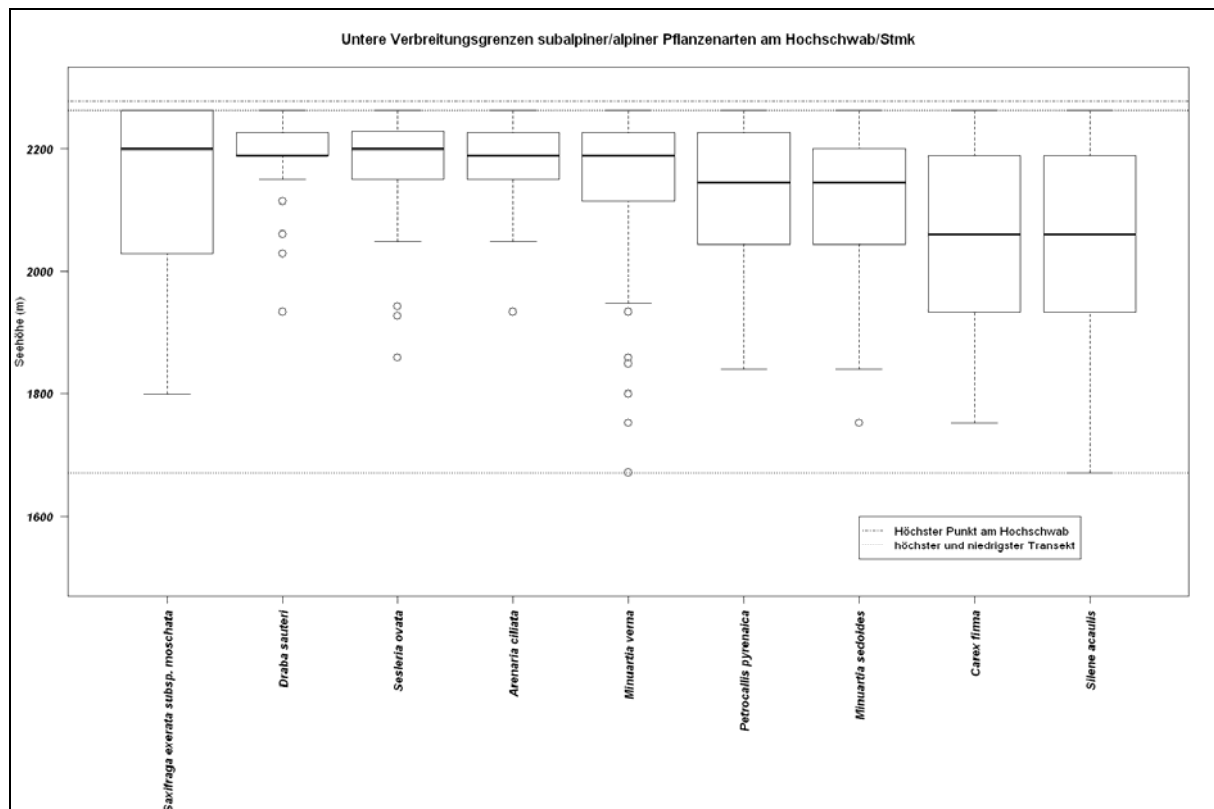


Abb. 28 Die Hauptverbreitung dieser Arten ist auf die obersten Bereiche im Gebiet konzentriert.

3.5 ***Zusammenhang zwischen Artenzahl und Höhe (lineare Regression und Pearson's Korrelationskoeffizient, Presence/Absence vs. Line Pointing)***

Im Vergleich zu den Presence/Absence Daten, konnte das Line Pointing 133 Arten, gegenüber 228, nachweisen. Trotzdem ergibt eine, für beide Methoden gerechnete, lineare Regression, ein sehr ähnliches Bild was die Abnahme der Artenzahl mit der Höhe betrifft (Abb.29). Die Pointing Daten zeigen diesbezüglich geringere Werte und eine geringer Artabnahme mit der Höhe. Zu erkennen ist letzteres an der steileren Regressionsgeraden im Falle des Pointings. Die Abnahme für die PA Daten ergibt rund zehn Arten pro 100m was ca. dem doppelten der zweiten Methode entspricht. Hier ist eine Artabnahme von ca. fünf Arten pro 100m zu erwarten. In beiden Fällen hat die Höhe einen signifikanten Einfluss auf die Artzahlen (Tab.2). Allerdings erklärt sie im Falle der Presence/Absence Daten über die Hälfte der auftretenden Varianz im Datensatz, worauf ein R^2 von 0.64 hinweist.

Ein weiterer wichtiger Unterschied liegt in der Häufigkeit, mit der Arten innerhalb der Daten repräsentiert sind. Acht kommen im Pointing mehr als 100-mal vor, 28 sind zwischen 20- und 100-mal vertreten und der Rest liegt unterhalb dieses Wertes. 76 Pflanzenarten sind weniger als zehnmal getroffen worden.

Demgegenüber stehen Häufigkeiten von 30 Arten, die über 100-mal, 85 Arten zwischen 20 und 100 und 90 Arten die weniger als zehnmal im Presence/Absence-Datensatz vorkommen. (siehe Tab. Anhang)

Tab. 2 Signifikanzwerte und Steigung der Geraden (Estimate) für die lineare Regression in Abb.29.

Presence/Absence Daten				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	283.83121	31.75367	8.939	8.93e-09 ***
Hoehe	-0.09779	0.01578	-6.198	3.08e-06 ***
Pointing Daten				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	127.03671	20.99129	6.052	4.32e-06 ***
Hoehe	-0.04665	0.01043	-4.473	0.000190 ***

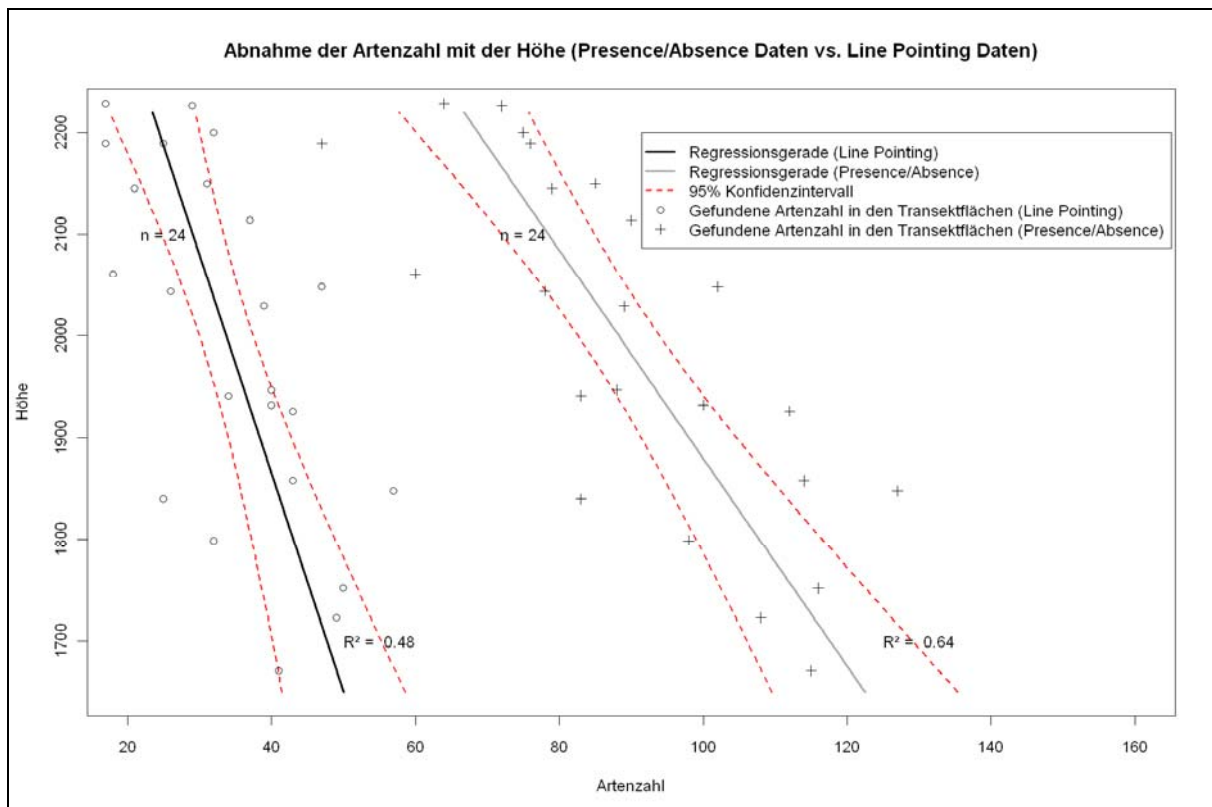


Abb. 29 Ergebnisse einer linearen Regression der Artenzahl gegen die Höhe für die beiden unterschiedlichen Aufnahmемethoden.

Zusätzlich zur linearen Regression wurde Pearsons Korrelationskoeffizient für beide Methoden berechnet (Tab.3). Die Normalverteilung der Daten wurde mittels der Funktion qqplot() getestet und war gegeben. Bei beiden Arten der Vegetationsaufnahmen ist Höhe und Artenzahl stark negativ korreliert und signifikant. Für die Presence/Absence Daten ist der Zusammenhang stärker.

Tab. 3 Ergebnisse einer Korrelationsanalyse mittels Pearson. Für beide Aufnahmемethoden wurde der Zusammenhang zwischen Artenzahl und Höhe untersucht.

	Korrelationskoeffizient	95% Konfidenzintervall	95% Konfidenzintervall	p.value
Presence/Absence	-0.80	-0.91	-0.58	3.08E-06
Line Pointing	-0.69	-0.86	-0.40	0.00019

4. Diskussion

Die erhobenen Standortsfaktoren sind ohne großen technischen Aufwand und vor allem schnell ermittelbar. Sie erlauben dennoch Aussagen über Vorkommenswahrscheinlichkeiten zahlreicher Pflanzenarten am Hochschwab-Massiv. Unter allen ermittelten Standortsfaktoren hat die Höhe am meisten Einfluss darauf, ob eine Pflanzenart mit hoher oder niedriger Wahrscheinlichkeit vorkommt. Dies zeigt einerseits die Häufigkeit mit der die Höhe in den tree models verwendet wird, andererseits auch in der erklärten Varianz (R^2) zu der sie in fast allen Modellen einen Großteil beiträgt. Der entscheidende Faktor, welcher sich mit der Höhe ändert ist die Temperatur. In der Atmosphäre nimmt sie durchschnittlich um 0.6°C pro 100m Höhengewinn ab. Die Temperatur steuert das Pflanzenvorkommen auf groben Niveau. Weitere Einflussfaktoren wie Niederschlag, Schneebedeckung, Sonneneinstrahlung und mikroklimatische Effekte überprägen diese grobe Bild der Vegetationsverteilung (Nagy & Grabherr 2009).

Manche Autoren gehen von räumlichen und zeitlichen Faktoren aus, welche die Lebensbedingungen in unterschiedlichen Höhen modifizieren und so an günstigen Standorten, Pflanzenarten weit über ihre normale Verbreitung hinaus, wachsen lassen. Zusätzlich werden diese Auswirkungen umso stärker, je höher man sich befindet (Körner 2003). Vorliegende Arbeit räumt der Höhe allerdings einen signifikanten Einfluss auf fast alle Pflanzenarten, mit denen es möglich war, tree models und/oder GLMs zu erstellen, ein.

4.1 Diskussion der Aufnahmemethoden

Im Sinne einer ökonomischen Arbeitsweise wäre es natürlich, sich auf eine der beiden Methoden zu beschränken. Das Pointing ist sicher schneller durchführbar, liefert jedoch geringere Artenzahlen. Damit steigt die Möglichkeit, seltene Arten gar nicht zu erwischen, was nicht im Einklang mit den Zielen dieser Arbeit steht. Ein Vergleich der Artenliste aus dem Line Pointing (Abb.6, Anhang) mit jener der

Presence/Absence Daten (Abb.7, Anhang) zeigt sehr schön einen Verlust seltener Arten im Line Pointing. Häufige Arten sind dafür überrepräsentiert. Darunter fallen die rasenbildenden Gräser *Agrostis alpina*, *Carex firma*, *Carex ferruginea subsp. ferruginea*, *Carex sempervirens*, *Festuca quadriflora* und *Sesleria albicans*, sowie Zwergsträucher wie *Dryas octopetala* und *Salix retusa*.

Gerade Arten, welche heute bereits auf die obersten Bereiche des Hochschwabs beschränkt sind gehören zu jenen, für die eine klimabedingte Veränderung ihres Ausbreitungsareals schwerwiegende Folgen hätte. Bei einer Verschiebung der Vegetationszonen nach oben haben diese keine Möglichkeit mehr, weiter auszuweichen. Doch gerade diese kommen nur sehr selten oder gar nicht, im Line Pointing vor. Beispiele dafür sind *Arenaria ciliata*, *Draba sauteri*, *Minuartia verna* und *Petrocallis pyrenaica*, die nicht öfter als zehnmal erfasst wurden, *D. sauteri* gar nur einmal. *Saxifraga exarata subsp. moschata* konnte im Line Pointing gar nicht nachgewiesen werden. Bei einer weiteren Abnahme der Präsenz dieser Arten am Hochswab wird die Wahrscheinlichkeit, sie mit der Line Pointing Methode zu treffen, immer geringer. Dies könnte im Falle einer Wiederholungsaufnahme der bearbeiteten Transektflächen natürlich auch als Auswirkung des Klimawandels gedeutet werden. Da jedoch keiner der Transektflächen wieder zu 100% genau an derselben Stelle zu errichten sein wird, kann dies ebenfalls zu einem solchen Resultat führen.

C. firma ist 676-mal im Line Pointing getroffen worden und damit die häufigste Art. Weil aber jeder Transekt 100 Punkte enthält und insgesamt 24 Transekte erstellt wurden, entspricht 676-mal treffen nur ca. 28%. Bei einem Vorkommen von 28% konnten mit Presence/Absence Daten bereits tree models gerechnet werden, allerdings auch nicht in jedem Fall. Dies mag einerseits daran liegen, dass es für manche Arten keine signifikanten Prädiktoren gab, andererseits jedoch auch am veränderten Stichprobenumfang beider Methoden. 2400 Möglichkeiten um vorzukommen hat jede Art im Pointing, gegen 240 im Fall der Presence/Absence Daten. Die vorletzte Zahl, gemeinsam mit den niedrigeren Frequenzzahlen der einzelnen Arten führt einfach häufig zu keinem statistisch signifikanten Ergebnis. Vor Augen halten muss man sich zudem die Aussagen der statistischen Analyse. Für die Pointing Methode würde eine solche die Wahrscheinlichkeit, an einem zufällig gewählten Punkt des Untersuchungsgebiets, eine bestimmte Art zu treffen, wieder geben. Im Gegensatz dazu entspricht die Analyse der Presence/Absence Daten

einer Auftretenswahrscheinlichkeit in 10m² Flächen. Natürlich liegt letztere höher und lässt sich dementsprechend leichter nachweisen.

Der einzige Vorteil der Pointing Methode bleibt ihre Schnelligkeit. Ansonsten scheint sie jedoch nicht angemessen und vor allem zu grob, um Vegetationsveränderungen in Gebieten, die dem Hochschwab strukturell ähnlich sind, zu erfassen. Dennoch, sollten in einigen Jahren die Untersuchungsflächen wieder mit der gleichen Methodik aufgenommen werden, würden Änderungen in der Frequenz der Pflanzenarten Hinweise auf vegetationsverändernde Vorgänge liefern.

Als Ausblick sei auf die Möglichkeit verwiesen, Pointing- und Presence/Absence Methode zu verknüpfen und somit Abundanzen für alle gefundenen Pflanzenarten zu erhalten. Dies könnte über die Erstellung eines Abundanz Index für jede Art auf folgende Weise geschehen:

$$\text{Abundanz Index} = \text{Frequency Wert} + \text{Presence/Absence Wert}$$

(mündliche Mitteilung von Jim und Catie Bishop).

Jede Art würde pro Transekt so einen eigenen Abundanz Index erhalten.

4.2 Diskussion der Vegetationsanalyse

Klassische Vegetationsanalysen nach Braun-Blanquet beruhen auf der Auswahl einer homogenen Aufnahme­fläche. Damit bewegen sich diese meist innerhalb einer Vegetationsgesellschaft. Die Art und Weise wie für diese Arbeit die Vegetation erhoben wurde, ließ erwarten, dass eine bunte Mischung an verschiedenen Gesellschaften in jeder einzelnen Aufnahme vereint sein könnte. Trotzdem war in jeder der acht Twinspan-Gruppen eine dominante Assoziation erkennbar. Charakteristisch für alpine Vegetation ist eine oftmals enge Verzahnung verschiedener Gesellschaftstypen. Deshalb ist nicht verwunderlich auch in diesen Aufnahmen die enge Verflechtung wieder zu finden. Erschwerend wirkte sich auf die Vegetationsanalyse allerdings die fast ausschließliche Beprobung alpiner Rasengesellschaften unter ähnlichen Standortbedingungen aus. Vergleichbare Arbeiten am Schrankogel/Tirol (Scholz & Hofer 2010) haben bei gleicher Methodik

wesentlich mehr Gesellschaften ansprechen können. Dies liegt hier aber hauptsächlich an einer zusätzlichen nivalen Stufe, die am Hochschwab fehlt. Dennoch lässt sich mit den 10m² Plots durchwegs recht gut Vegetationsanalyse betreiben und man kann damit schlüssige Ergebnisse erzielen.

4.3 Diskussion der tree models

Den zentralen Teil der statischen Arbeit stellen die tree models dar. Diese bieten Vorteile, was ihre Einfachheit und Interpretierbarkeit betrifft. Zur problemlosen Verwendung der tree models gilt es jedoch einiges zu beachten. Wie bei jeder Statistik hat natürlich die Auswahl der Stichproben enormen Einfluss auf das Ergebnis. Im Hochgebirge ist eine zufällige Flächenwahl jedoch nicht immer möglich. Steinschlag, Dolinen, zu starke Hangneigung, Felswände und Schneefelder erschweren dies enorm und führen zu einem nicht homogen beprobten Untersuchungsgebiet. Unter diesem Gesichtspunkt sind auch alle tree models zu verstehen. Jene Grenzwerte der unabhängigen Variablen, die für die Teilungen der tree models Verwendung finden, sind daher nicht als Absolutwerte zu betrachten, welche eindeutige Aussagen über das Vorkommen der gefundenen Pflanzenarten liefern. Sie sind auch im Hinblick auf ein inhomogenes beprobtes Untersuchungsgebiet zu interpretieren. Die gefundenen Teilungswerte der splits, besonders für Höhe und Exposition, lassen in vielen Fällen dennoch erkennen, welche Standortbedingungen für das Vorkommen einer Art günstiger oder weniger günstig sind.

Wichtig ist zudem, bei der Interpretation der Modelle immer auch Stichprobengröße und R^2 zu berücksichtigen. Bei kleinen Stichproben hat das tree model weniger prädiktiven, als einfach erklärenden Wert. Dies zeigt sich beispielsweise bei *Acinos alpinus subsp. alpinus* (Abb.41, Anhang). Hier erklärt das Modell einfach den Standort an dem die Art gefunden wurde und erreicht dabei ein hohes R^2 von 61%. Für Vorhersagen bezüglich Vorkommen der Art sollte es aber nicht verwendet werden.

Die Zahl der Fälle, welche minimal in einem Ast vorhanden sein musste, wurde auf der default Einstellung von fünf belassen. Hier wäre ein Wert von zehn Fällen oder knapp darüber wahrscheinlich besser gewesen. Dadurch wäre dem Problem der Abspaltung statistischer Ausreißer etwas entgegengewirkt. Jede Art konnte pro Transektfläche maximal zehnmal vorhanden sein und die Plots innerhalb einer Transektfläche waren hinsichtlich ihrer Standortsfaktoren oft ähnlicher als die Plots verschiedener Transektflächen. Bei minimal fünf Fällen in einem Ast kann es dadurch leicht passieren, dass eine komplette Transektfläche in einen leaf des tree models abgespalten wird. Dadurch könnte das tree model bestimmten Standortsfaktoren einen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen einer Art zuweisen, den diese in Wirklichkeit gar nicht haben. Die Standortsfaktoren, welche das tree model verwendet könnten in diesem einen Transekt zufällig mit einem weiteren Faktor vorkommen, der tatsächlich Einfluss auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit der Art hat.

Zusammenfassend sind tree models unter Berücksichtigung der Stichprobengröße, des R^2 und der minimalen Zahl der Fälle in einem leaf, trotzdem durchaus in der Lage, statistische Zusammenhänge aufzuzeigen. Darüber hinaus lassen sie ebenso Vorhersagen über die Vorkommenswahrscheinlichkeit zu. Neben dem package `tree()` existiert ein weiteres namens `rpart()`. Dies weist gegenüber Ersterem einige Verbesserungen, vor allem was die grafische Ausgabe der Modelle betrifft auf. Beispielsweise lässt sich hier für jeden leaf die Zahl der Fälle, bei gleichzeitiger Darstellung der Vorkommenswahrscheinlichkeit anzeigen. Ein 10 fold-Cross-Validation wird zudem automatisch durchgeführt. Allerdings lässt sich diese nicht so einfach wie im package `tree()` 50-mal machen, um dann einen Durchschnittswert zu berechnen. Auch mit `rpart()` wurden für alle Arten statistische Analysen durchgeführt die in fast allen Fällen mit jenen des package `tree()` völlig identisch waren. Lediglich die grafische Ausgabe zeigt kleine Unterschiede.

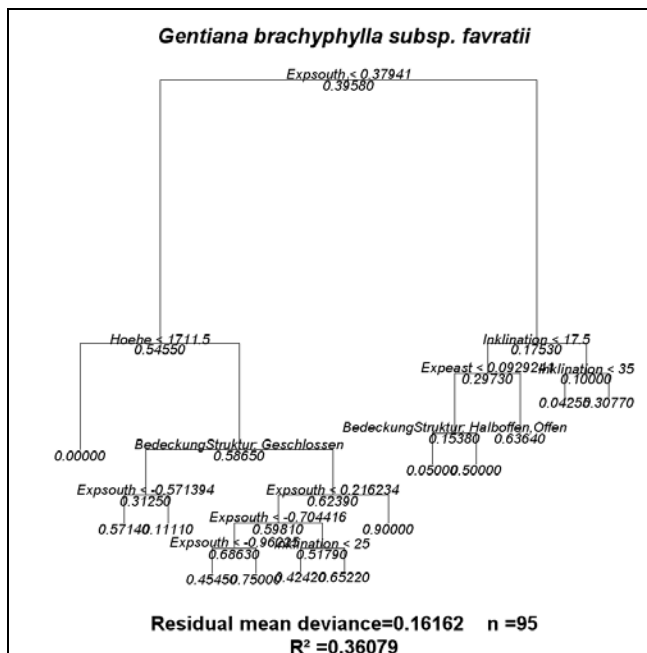
4.4 Vergleich tree models und GLMs

Da bei Beginn der statistischen Analyse nicht ganz klar war, wie gut tree models im Umgang mit Vegetationsdaten sind, wurde zusätzlich für jede Art ein GLM gerechnet, welches den Zusammenhang, zwischen Vorkommenswahrscheinlichkeit und Höhe

untersuchte. Der Vergleich beider Modelle weist große Übereinstimmungen auf und bestätigt damit die Resultate der Regression Tree Analyse zumindest bezüglich der Höhe. Mit kleinen Unterschieden beider Modellmethoden war dabei zu rechnen, weil ihnen unterschiedliche Algorithmen zu Grunde liegen. Während die tree models immer nach ähnlichen Gruppen im Datensatz suchen, was zu einer stufigen Vorhersage der Vorkommenswahrscheinlichkeit führt, arbeitet das GLM mit einer kontinuierlichen Korrektur seiner Vorhersage.

Einen wesentlichen Unterschied macht es jedoch, wenn eine der Methoden einen signifikanten Zusammenhang findet, das andere jedoch nicht. Dies ist zum Beispiel bei *Gentiana brachyphylla subsp. favratii* der Fall (Abb.49 und Abb.54 im Anhang). Während der Tree nur der Exposition einen signifikanten Einfluss zuschreibt, zeigt das GLM selbiges auch für die Höhe. Bei Betrachtung des ungestutzten Trees hat die Höhe unmittelbar nach der Exposition den größten Einfluss (Abb.30). Ein direkter Vergleich von GLM und tree model ist nicht möglich, werden doch eine unterschiedliche Anzahl von Prädiktoren in beiden Modellmethoden verwendet.

Da alle tree models automatisiert über Schleifenprogrammierung erstellt wurden (siehe Anhang: Schleife für tree models), ist von zu strengen Kriterien bei der Cross-Validation auszugehen. Von den 50 Durchläufen pro Art wurde die Minimal vorkommende tree size verwendet. Nimmt man stattdessen den Mittelwert wird ein Großteil der tree models sehr groß und zeigt vermehrt eine Abspaltung von Extremwerten (statistischen Ausreißern) im Datensatz. Deshalb stellte sich im Zuge dieser Analyse doch die Minimale tree size als bestmögliche Variante heraus. Sicherlich lassen sich für dieses Problem zukünftig andere Lösungen finden. Insgesamt erlauben die GLMs den Schluss, dass Regression Trees gute statistische Ergebnisse liefern und sie Trends, die in der Natur auftreten, darstellen können.



4.5 Vergleich der Twinspan-Analyse mit tree models und GLMs

4.5 Vergleich der Twinspan-Analyse mit tree models und GLMs

Die statistische Analyse mittels tree models und GLMs ergab vier Gruppen. Grundsätzlich sind Arten aus allen vier Gruppen auch in den acht Gruppen der Twinspan-Analyse vertreten. Ihre Häufigkeit variiert jedoch stark (Tab.4). Gruppen 5 bis Gruppe 8 fassen Plots mit einer durchschnittlichen Höhe unter 2000m zusammen. Man würde daher auch eine größere Häufigkeit von Arten aus den Gruppen A und B, also Arten mit subalpinem Verbreitungsschwerpunkt erwarten. Tab.4 zeigt genau dies. Arten der Gruppen A und B nehmen von links nach rechts in ihrer Häufigkeit zu.

Für Arten der Gruppen C und D tritt genau der umgekehrte Fall ein. Auch dies ist nicht weiter verwunderlich, handelt es sich doch bei dieser Gruppe um Arten mit alpinem Verbreitungsschwerpunkt. Arten der Gruppe D, welche zusätzlich eine scharfe untere Verbreitungsgrenze aufweisen, finden sich sehr häufig in Gruppe 1. Auch dieser Befund passt gut ins Gesamtbild, da hier die höchsten Plots zusammengefasst sind. Umgekehrt sind Arten mit scharfer oberer Verbreitungsgrenze (Gruppe B) in den tiefsten Plots (Gruppe 7) deutlich häufiger.

Tab. 4 Vergleich der Ergebnisse der Twinspan-Analyse (Gruppe 1-8) mit jenen der tree models bzw. GLMs (Gruppe A – D). Die Werte in der Tabelle geben die Summierten absoluten Häufigkeiten an.

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
mittlere Höhe (m)	2191	2181	1965	2090	1950	1896	1815	1864
Gruppe A								
22 Arten	76	82	185	305	255	194	536	463
Gruppe B								
41 Arten	20	13	99	121	213	154	744	533
Gruppe C								
22 Arten	713	214	261	451	200	157	197	169
Gruppe D								
11 Arten	398	86	98	141	55	27	23	32

4.6 Interpretation der statistischen Ergebnisse

Da die Interpretation der tree models prinzipiell recht einfach ist, sollen hier nur die wichtigsten Trends diskutiert werden. Besonders auffällig ist die Veränderung der Vorkommenswahrscheinlichkeit vieler Arten mit der Höhe. Hier stechen Werte zwischen 1929m und 2054.5m besonders hervor, die innerhalb vieler tree models zu signifikanten Änderungen selbiger führen. Die Höhe an sich gilt sehr häufig als wenig guter Prädiktor für das Auftreten von Pflanzen, weil sich je nach Relief, Exposition, Inklinaton, Schneebedeckungsdauer und anderen Faktoren ganz unterschiedliche Nischen ergeben können (Körner 2003). Sowohl tree models, als auch GLMs weisen dieser aber einen signifikanten Einfluss zu. Gerade in niedrigeren Gebirgen gehört die Höhe zu den wichtigsten und einflussreichsten Umweltgradienten, nehmen doch so wichtige Faktoren wie Luftdichte, Luftdruck und Temperatur kontinuierlich nach oben hin ab (Beniston 2006). Zusätzlich trägt auch die Plateau Situation am Hochschwab zur Verbreitung der Pflanzen bei, die natürlich zu stark veränderten Standortsfaktoren führt. An den Abhängen des Plateaus lassen sich von sonnigen, wärmeren Südstandorten, über schattige kühlere Nordhänge, Schneetälchen und Schotterfelder eine Vielzahl von Habitaten unterscheiden, die aber häufig noch zu

günstigen Lebensbedingungen führen. Am Plateau ändert sich diese Situation drastisch. Vor allem der Wind ist hier ein prägender Faktor, dem die Pflanzen nun viel stärker ausgesetzt sind. Eine schützende Schneedecke wird von ihm häufig weggeweht, die Bodenbildung verlangsamt sich durch Ausblasen von Bodenpartikeln und schützende Mikrohabitate sind seltener als an den Abhängen. Diese markante Veränderung ist aus den meisten tree models ableitbar, liegt der Beginn des Plateaus doch bei Höhen um die 2000m. Arten tieferer Standorte zeigen oberhalb eine geringere Auftretenswahrscheinlichkeit, was sich auf eine Verminderung geeigneter Standorte am Plateau zurückführen lässt.

Auch die Exposition hat einen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen der Pflanzenarten am Hochschwab. Unterschiede bestehen in erster Linie zwischen Nord und Süd Expositionen. Arten der Gruppen A und B erreichen in Südexpositionen vorwiegend höhere Lagen, während jene der Gruppen C und D in Nordlagen teilweise tiefer herunter wandern. Dies deckt sich einerseits mit Beobachtungen im Freiland, zeigt andererseits, dass Südexpositionen auch subalpin- verbreiteten Arten die Möglichkeit geben, in alpine Bereiche vorzudringen. Umgekehrt können alpine Arten besonders an Nordhängen ebenso weiter unten wachsen. Zu erklären ist dieses Phänomen durch die günstigeren Strahlungsverhältnisse an Südhängen, bzw. mit schlechteren an Nordhängen. Südexpositionen erreichen in den mittleren Breitengraden der Nordhemisphäre, verglichen mit anderen Expositionen am meisten Energie (Beniston 2006).

Bezüglich Ost West Expositionen finden die tree models ebenfalls signifikante Unterschiede innerhalb aller Gruppen. Allerdings wurde nicht das gesamte Hochschwabmassiv untersucht und zusätzlich erstreckt sich der Gebirgsstock in Ost West Richtung. Dies äußert sich in einer geringen Höhenamplitude der Westtransekte (Abb.11). Dies ist sicherlich mit ein Grund, weshalb manche Arten im Westen fehlen oder mit geringerer Wahrscheinlichkeit anzutreffen sind.

Inklination und Vegetationsbedeckung finden deutlich seltener ihren Weg in die tree models. Ihr Einfluss ist damit möglicherweise weniger wichtig als jener von Höhe und Exposition. Dies lässt sich aber nicht so ohne weiteres ableiten. Um bezüglich Inklination gute Aussagen treffen zu können, wären Flächen, die sich hinsichtlich Hangneigung deutlich unterscheiden, zu untersuchen gewesen. Wie aus Abb.10 ersichtlich ist, liegt die Inklination aller Plots generell in einem engen Bereich zwischen 0° und 40° wobei Standorte um die 20° klar dominieren. Diese knappe

Bandbreite lässt keine größeren Unterschiede zu. Dennoch finden sich innerhalb der tree models einige Fälle, bei denen die Inklination ein Vorkommen gut erklärt. Etwa bei *Primula clusiana*, die Flächen steiler als 22.5° bevorzugt (Abb.17). Dies passt recht gut, da sie als Begleitart der Kalkfelsspalten und Mauergesellschaften an stark geneigte Flächen angepasst ist. (Ellenberg 1996).

Die Vegetationsbedeckung wird am wenigsten von den Modellen verwendet. Im Fall von *Campanula scheuchzeri* (Abb.33, Anhang) ist jedoch zumindest eine Veränderung der bevorzugten Vegetationsbedeckung mit der Höhe erkennbar. Sie kommt hauptsächlich an geschlossenen Standorten vor, an tiefer gelegenen Flächen wird sie zusätzlich an halboffenen häufiger. Dies kann auf bessere Bedingungen in diesen Lagen zurückgeführt werden, die ihr ein besiedeln lückiger Gesellschaften erleichtern. Für die meisten Pflanzenarten sind die gewählten Kategorien allerdings viel zu grob, sind sie doch für 10m² Flächen vergeben worden. Viele alpine Arten nutzen Mikrohabitate und fallen durch diesen groben Raster durch. Dies dürfte die schlüssigste Erklärung sein, weshalb die Vegetationsbedeckung so selten Verwendung findet. Bei kleinräumiger Betrachtung kommt ihr sicherlich große Bedeutung zu.

Die erhobenen Standortsfaktoren stellen nur ein kleines Spektrum der auf die Pflanzen wirkenden Parameter dar. Darauf weisen die R² - Werte, welche nur selten über 50% erreichen. Zudem weisen Vegetationsdaten generell „rauschen“ innerhalb der Daten auf, was auch insbesondere auf alpine Vegetationsdaten zutrifft (Gottfried et al. 1998).

4.7 Ökologische Gruppen und zukünftige Entwicklung

Ältere Untersuchungen in den nordöstlichen Kalkalpen arbeiteten ökologische Pflanzengruppen heraus (Dirnböck 1994; Pachernegg 1973). Diese finden sich etwas vermischt, aber doch schwerpunktmäßig in einzelnen statistischen Gruppen vorliegender Analyse wieder.

Gruppe A beinhaltet jene Pflanzen die einen Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und keine scharfe Vorkommengrenze haben. Dementsprechend sollten hier rasenbildende Arten welche geschlossene Formationen an strahlungs- und

windgeschützten Stellen bevorzugen zu finden sein (Pachernegg 1973). *Agrostis alpina*, *Carex sempervirens* und *Homogyne discolor* sind nur drei Beispiele von insgesamt elf Arten, welche Pachernegg (1973) den Namen *Bartsia alpina* – Gruppe zuwies und die genau diese Bedingungen erfüllen (Pachernegg 1973). Geeignete Standorte für Pflanzen dieser Gruppe finden sich vermehrt in den subalpinen Bereichen. Dennoch finden sich viele unter ihnen, innerhalb geeigneter Mikrokimate, auch in den Gipfelbereichen. Eine, gegenüber Tieflagen signifikant reduzierte Vorkommenswahrscheinlichkeit, verweist darauf, lässt jedoch dadurch keine scharfe obere Grenze erkennen.

Gruppe B ist etwas indifferent. Es finden sich sowohl Arten letzter Gruppe, als auch solche der *Cerastium carinthiacum* – und *Geum montanum* – Gruppe (Pachernegg 1973). Diese stehen für völlig unterschiedliche Standortsbedingungen. Die erst genannte beschreibt offene, skellettreiche Gesellschaften mit Schotterflächen, zweite dagegen neutro- bis azidophile und geschlossene (Pachernegg 1973). Gruppe B repräsentiert Arten mit einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze. Beide Standortstypen sind zwar auch am Plateau vertreten, hier jedoch deutlich seltener im Vergleich zu den Hangbereichen. In den Gipfelbereichen fehlen sie völlig. Daraus lässt sich die deutliche obere Verbreitungsgrenze gut ableiten.

Gruppe A und B sind durch Klimaerwärmungsprozesse zwar nicht akut betroffen. Im Falle eines Höhersteigens der Vegetationszonen bleibt ihnen ja noch genug Platz. Es ist hier jedoch mit tief greifenden Veränderungen zu rechnen. Neben dem Klima hat auch die veränderte Baumgrenze durch ehemalige Almwirtschaft im Gebiet (Dirnböck et al. 1999), Einfluss auf die weitere Vegetationsentwicklung. Eine Zunahme von Baumarten würde sicherlich die Vegetationsgesellschaften, wie sie heute vorliegen umgestalten. Ob und wie weit Arten dieser beider Gruppen die Plateau-Lagen am Hochschwab besiedeln können wird auch stark von der Niederschlags- und Windentwicklung in den nächsten Jahrzehnten abhängen. Erhöhte Strahlung und Wind am Plateau sind für ein Höhersteigen dieser Pflanzenarten sicherlich nicht zuträglich. Viele der Arten sind aber bereits heute selbst in den Gipfelregionen, allerdings mit geringer Abundanz auffindbar. Eine Zunahme dieser in den höher gelegenen Transektflächen würde Hinweise auf klimabedingte Vegetationsveränderungen liefern.

Vereint in Gruppe C sind Arten mit oberer Hauptverbreitung. Bezüglich ökologischer Gruppen weist jene die größte Bandbreite auf. Schneebodenarten wie *Ranunculus*

alpestris subsp. *alpestris* sowie Arten offener und geschlossener Standorte sind vertreten. Es dominiert jedoch die *Silene acaulis* – Gruppe, welche sich durch eine breite ökologische Amplitude auszeichnet (Pachernegg 1973).

Gruppe D wird ausschließlich von Arten der *Potentilla clusiana* - und *Silene acaulis*-Gruppe gebildet (Pachernegg 1973). Erstere fasst offenere Standorte mit starker Sonneneinstrahlung und Windeinwirkung zusammen (Pachernegg 1973). Besonders die *Potentilla clusiana* – Gruppe beinhaltet Arten die durch ein temperaturbedingtes Höhersteigen in Bedrängnis kommen. Dazu zählen *Crepis terglouensis*, *Draba sauteri*, *Petrocallis pyrenaica* und *Saxifraga exarata* subsp. *moschata*. Hier vereinigt sind somit jene Arten, welche die obersten und extremsten Standorte des Hochschwabs besiedeln. Diese sind mit als Hauptbetroffene des Klimawandels am Hochswab zu sehen. Insgesamt ist für alle Arten der Gruppe C und D eine Verlagerung der unteren Verbreitungsgrenze nach oben und somit eine Veränderung ihrer Standorte zu erwarten. Die tree models zeigen sehr gut eine drastische Abnahme der Vorkommenswahrscheinlichkeit mit der Höhe unterhalb von ca. 2000m. Eine Ausnahme stellt *Carex firma* dar, die bis 1737.5m herunter wächst. Mit ziemlicher Sicherheit ist sie auch noch tiefer zu finden, da sie durch dynamische Vorgänge im Gebirge oft weit nach unten mitgenommen wird und auch dort noch gut überleben kann. Sie gehört zur, von Pachernegg (1973) beschriebenen, *Silene acaulis* – Gruppe, denen eine breitere ökologische Amplitude gemein ist.

Diese grobe ökologische Einteilung, gibt Aufschluss darüber, was sich mit der Höhe ändert, welche Standorte seltener werden und wie sich andere Standortsfaktoren graduell mit ihr wandeln. Der wohl auffälligste Trend ist ein Übergang von geschlossener, zu offener Vegetation nach oben.

Die Höhe hat definitiv einen signifikanten Einfluss auf die Höhenverbreitung alpiner Pflanzenarten. Luftdruck und Luftdichte nehmen nach oben ab (Beniston 2000) doch vor allem die Temperatur, insbesondere Extremtemperaturen, haben einen enormen Einfluss auf die Vegetation (Walter & Breckle 2002). Immerhin sinkt die Durchschnittstemperatur auch nachweislich um 0.6°C pro 100m Höhengewinn (Nagy & Grabherr 2009). Beniston(2000) bezeichnet die Höhe als einen stark trennenden und charakteristischen Faktor in Gebirgen. Andere Umweltfaktoren modifizieren den Einfluss der Höhe (Nagy & Grabherr 2009). Die daraus resultierenden Mikroklimata, ermöglichen es alpinen Pflanzen oft weit über ihre durchschnittliche Verbreitungsgrenze hinaus zu wachsen (Körner 2003). Ein weiterer, bisher nicht

angesprochener Faktor ist die Kohlendioxid Konzentration in der Atmosphäre, deren Einfluss sehr unterschiedlich, je nach Pflanzenart ist und damit langfristig ebenfalls gesellschaftsverändernde Wirkungen haben kann (Stöcklin et al. 1997).

Nicht vergessen sollte man Pflanzen, die im Rahmen dieser Erhebung in zu geringem Ausmaß gefunden wurden, als dass eine statistische Auswertung möglich gewesen wäre. Hierzu zählt *Draba stellata*, welche ausschließlich in den obersten Lagen des Plateaus zu finden ist und damit ohnehin schon recht selten ist. Auch in ihrem Fall könnten große Habitatsverluste die Folge sein.

Oben angeführte Ausblicke setzten allesamt eine ähnliche abiotische Umwelt voraus wie wir sie heute vorfinden und berücksichtigen nur eine Temperaturerhöhung. Die Topologie des Hochschwabmassives erschwert jedoch verlässliche Vorhersagen. Zudem werden Arten nicht ausschließlich von der Temperatur beeinflusst. Neben dieser haben auch Niederschlag und Schneeverteilungsmuster eine enorme Wirkung (Nagy & Grabherr 2009). Zurzeit handelt es sich um ein sehr regenreiches Gebiet. Bei zunehmender Trockenheit könnten sich jedoch trockentolerante Arten, die jetzt schon an exponierten Felsstandorten vorhanden sind, mehr und mehr durchsetzen. Auch die Änderung des Windregimes am Plateau ist kaum abschätzbar. Wenn dieser deutlich abnimmt wäre hier ein vermehrtes Auftreten von günstigen Mikrohabitaten, Standorten mit Schneeschutz und geringere Bodenerosion möglich. Dies wiederum könnte Pflanzenarten tieferer Standorte eine Besiedlung des Plateaus erleichtern. Eine Wiederaufnahme der Transektflächen im Gebiet würde möglicherweise bereits erste Hinweise darauf liefern.

Literaturnachweis

- Beniston, M. 2000. *Environmental Change in Mountains and Uplands*. Arnold/Hodder Stoughton/Chapman, Hall Publishers, Oxford University, Press, London, UK, New York, USA.
- Beniston, M. 2006. Mountain weather and climate: A general overview and a focus on climatic change in the Alps. *Hydrobiologia* 562:3-16.
- Breiman, L., J. Friedman, H., R. Olshen, A., and C. Stone, J. 1984. *Classification and Regression Trees*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: Ticketnr. 74.534
- Burga, C., A., F. Klötzli, and G. H. Grabherr 2004. *Gebirge der Erde: Landschaft, Klima, Pflanzenwelt*. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Crawley, M., J. 2002. *Statistical Computing - An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- De'ath, G., and K. E. Fabricius. 2000. Classification and regression trees: A powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology* 81:3178-3192.
- Dehn, M., G. Bürger, J. Buma, and P. Gasparetto. 2000. Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. *Engineering Geology* 55:193-204.
- Dirnböck, T. 1994. *Die Höhenverteilung ausgewählter Phanerogamen am Wiener Schneeberg*, Wien.
- Dirnböck, T., S. Dullinger, M. Gottfried, and G. Grabherr. 1999. Die Vegetation des Hochschwab (Steiermark) - Alpine und Subalpine Stufe. *Mitt.naturwiss.Ver.Steiermark* 129:111 - 251.
- Easterling, D., R., J. Evans, L., P. Groisman, Ya., T. Karl, R., K. Kunkel, E., and P. Ambenje. 2000. Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: A Brief Review. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81, No. 3: 417-425.
- Ellenberg, H. 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Ulmer, Stuttgart.
- Faria, J.C (2009). *Resources of Tinn-R GUI/Editor for R Environment*. UESC, Ilheus, Brasil
- Gottfried, M., H. Pauli, and G. Georg 1994. Die Alpen im "Treibhaus": Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation. *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt* 59, München.
- Gottfried, M., H. Pauli, and G. Grabherr. 1998. Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: A new view of the alpine-nival ecotone. *Arctic and Alpine Research* 30:207-221.
- Gottfried, M., H. Pauli, K. Reiter, and G. Georg 2002. *Potential Effects of Climate Change on Alpine and Nival Plants in the Alps*. Parthenon Publishing Group, London.
- Grabherr, G., M. Gottfried, and H. Pauli. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369:448.
- Grabherr, G., M. Gottfried, and H. Pauli. 2000. GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. *Mountain Research and Development* 20/2:190-191.
- Grabherr, G., M. Gottfried, and H. Pauli. 2010. Climate change impacts in alpine environments. *Geography Compass* 4:1133-1153.
- Grabherr, G., and L. Mucina 1993. *Die Pflanzengesellschaften Österreichs Teil II, Natürlich waldfreie Vegetation*. Gustav Fischer, Jena Stuttgart New York.
- Hill, M., O. 1979. *TWINSPAN: A FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of the Individuals and Attributes*.

- Cornell University, Ithaca, NY.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Körner, C. 2003. *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Nagy, L., and G. Grabherr 2009. *The Biology of Alpine Habitats*. Oxford University Press, Oxford, New York.
- Pachernegg, G. 1973. Struktur und Dynamik der alpinen Vegetation auf dem Hochschwab (NO - Kalkalpen). J. Cramer, Leutershausen.
- Parmesan, C., T. L. Root, and M. R. Willig. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81:443-450.
- Parmesan, C., and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37-42.
- Parolo, G., and G. Rossi. 2008. Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic and Applied Ecology* 9:100-107.
- Pauli, H., M. Gottfried, T. Dirnböck, S. Dullinger, and G. Grabherr. 2003. Assessing the long-term dynamics of endemic plants at summit habitats. Pages 195-207. *Alpine diversity in Europe*. Springer-Verlag New York Inc.; Springer-Verlag GmbH & Co. KG.
- Pauli, H., M. Gottfried, and G. Grabherr. 2001. High summits of the Alps in a changing climate - The oldest observation series on high mountain plant diversity in Europe. Pages 139-149 in G. R. Walther, C. A. Burga, and P. J. Edwards, editors. *Fingerprints of Climate Change - Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges*. Kluwer Academic/Plenum Publ, New York.
- Pauli, H., M. Gottfried, K. Reiter, C. Klettner, and G. Grabherr. 2007. Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA*master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* 13:147-156.
- R Development Core Team (2008). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Ripley, B., D. 1996. *Pattern Recognition and Neural Networks*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Roff, D., A. 2006. *Introduction to Computer-Intensive Methods of Data Analysis in Biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Scholz, H., and A. Hofer 2010. Terrainabhängige Verteilung ausgewählter alpinen/subnivaler Pflanzenarten und Biodiversitätsmuster in der alpinen/subnivalen Stufe des Schrankogel/Tirol/Österreich. University of Vienna-Dep. of Conservation Biology, Vegetation- and Landscape Ecology, Wien.
- Seung-Ki, M., Z. Xuebin, F. W. Zwiers, and G. C. Hegerl. 2011. Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature* 470:378-381.
- Stöcklin, J., P. W. Leadley, and C. Körner. 1997. Community and species level responses to elevated CO₂ in designed calcareous grassland communities. *Acta Oecologica* 18:241-248.
- Strom, L., R. Jansson, C. Nilsson, M. E. Johansson, and S. J. Xiong. 2011. Hydrologic effects on riparian vegetation in a boreal river: an experiment testing climate change predictions. *Global Change Biology* 17:254-267.

- Tichý, L., J. Holt, and M. Nejezchlebová. 2011. JUICE program for management, analysis and classification of ecological data. Vegetation Science Group Masaryk University, Brno.
- Tirol Atlas 2011: http://tirolatlas.uibk.ac.at/graphics/lieth/pdf/1371011_de.pdf
http://tirolatlas.uibk.ac.at/graphics/lieth/pdf/1371031_de.pdf
http://tirolatlas.uibk.ac.at/graphics/lieth/pdf/1371116_de.pdf
- Trempe, H. 2005. Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Tutin, T., G. V. Heywood, H. N. Burges, A. D. Moore, M. D. Valentine, W. S. Walters, M., and D. Webb, A(eds) 1968-1980. Flora Europaea. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tutin, T., G. V. Heywood, H. N. Burges, A. D. Valentine, W. S. Walters, M., and D. Webb, A(eds) 1964. Flora Europaea. Cambridge University Press, Cambridge.
- Umwelt.Steiermark 2011: <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10023684/25206/>
- Venables, W., N., and B. D. Ripley 2002. Modern Applied Statistics with S. Springer, New York.
- Walter, H., and S.-W. Breckle 2002. Walter's Vegetation of the Earth. Springer, Berlin Heidelberg.
- Walther, G. R., S. Beissner, and C. A. Burga. 2005. Trends in the upward shift of alpine plants. Journal of Vegetation Science 16:541-548.
- Zückert, G. 1995. Versuch einer landschaftsökologischen Gliederung der Hochflächen der südlichen Hochschwabgruppe. Mitt.naturwiss.Ver.Steiermark 125:55-72.

Anhang

Zusammenfassung

Eine anthropogen verursachte Klimaerwärmung ist sehr wahrscheinlich mit schwerwiegenden Veränderungen in Lebensräumen auf der ganzen Erde verbunden. Hochgebirge zählen zu jenen Lebensräumen die bezüglich einer Temperaturerhöhung als besonders sensibel gelten. Hier leben viele Pflanzenarten die an kalte Temperaturen angepasst sind, denn die Temperatur nimmt nach oben kontinuierlich ab. Hochgebirge sind daher von Kälte dominierte Lebensräume. Die Temperatur stellt für Pflanzen einen limitierenden Faktor dar. Dies äußert sich in einer, für Gebirge typischen Verteilung, von Vegetationszonen. Im Falle einer weiteren Klimaerwärmung, könnte es bestimmten Pflanzenarten möglich sein, höhergelegene Bereiche der Gebirge zu erschließen. Dies hätte eine Verschiebung der Vegetationszonen nach oben zur Folge. Besonders in niedrigen Gebirgen gibt es jedoch Pflanzenarten, deren Vorkommen auf die obersten Gipfelbereiche beschränkt ist. Arten tieferer Bereiche könnten diese unter Druck setzen und sie weg konkurrenzieren. Eine Möglichkeit nach oben auszuweichen bleibt ihnen nicht.

Die Aufgabe dieser Arbeit ist daher eine Herausarbeitung von oberen und unteren Verbreitungsgrenzen alpiner- und subalpiner Pflanzenarten am Hochschwab/Steiermark/Österreich. Daraus sollen Risikoarten, die im Falle einer Wanderung nach oben stark an Lebensraum verlieren würden und Arten, anhand derer sich Klimaveränderungen gut nachweisen lassen, herausgearbeitet werden. Als wichtigste Methode dafür dienen Regression Tree Models. Zusätzlich wurden im Zuge der Freilandarbeit zwei unterschiedliche Methoden zur Erhebung von Vegetationsdaten getestet.

Das Hochschwab-Massiv ist Teil des GLORIA-Netzwerkes, welches klimabedingte Vegetationsveränderungen in Hochgebirgen weltweit untersucht. Während GLORIA aber hauptsächlich die Gipfelregionen verschiedener Gebirge erforscht, liegt das Untersuchungsgebiet für diese Arbeit zwischen der Baumgrenze und den verschiedenen Gipfeln im Gebiet. Eine erneute Aufnahme unserer Flächen in einigen Jahren könnte Hinweise auf klimabedingte Vegetationsveränderungen am Hochschwab-Massiv liefern.

Abstract

Anthropogenic climate change is a serious topic of our society and will influence our life in future a lot. Mountain regions seem to be quite sensitive to climate warming in particular. They are habitat for many cold adapted species, because temperature is declining with altitude. In addition, temperature is a limiting factor for plant life which is quite obvious in the mountains, where different vegetation zones changes along with altitude. In case of further warming during the next decades these vegetation zones are expected to shift and migrate up the mountains. Especially in lower mountains, some species are only distributed over the highest parts. Upward migration of plants from lower altitudes can put pressure on this species, because they have no possibility to change their habitat.

Hence the aim of this work is to investigate upper and lower distribution boundaries of alpine and subalpine plant species on Mount Hochschwab/Styria/Austria. An identification of risk species, which will be strongly affected by climate warming and of species, which still have enough altitudinal range for migration, should result of all that. The method to do so is mainly through regression tree models. Additionally we tried two different methods for collecting vegetation data, which should be compared as well.

Mount Hochschwab is already part of the GLORIA network, which investigates vegetation changes, caused by climate change, all over the world. While GLORIA focuses on summits of different mountains, our research is concentrated between the area above tree line and summits. A new investigation on Mount Hochschwab in a few years could bring results of climate change induced plant migration.

Arten und ihre Häufigkeiten

Tab. 5 Häufigkeit der Pflanzenarten im Presence/Absence Datensatz. FREQ gibt die Anzahl der Arten in allen 240 Plots an.

FULLNAME	FREQ	Prozent
Arctostaphylos alpinus (L.) Spreng.	1	0.0042
Carex mucronata All.	1	0.0042
Carex ornithopoda subsp. ornithopodioides (Hausm.) Nyman	1	0.0042
Chaerophyllum hirsutum L.	1	0.0042
Daphne mezereum L.	1	0.0042
Festuca pulchella Schrad.	1	0.0042
Gypsophila repens L.	1	0.0042
Helianthemum nummularium subsp. grandiflorum (Scop.) Schinz & Thell.	1	0.0042
Juniperus communis L. subsp. alpina (Suter) C\$Kelak.	1	0.0042
Pinus mugo Turra	1	0.0042
Pseudorchis albida (L.) A\$A.L\ve & D.L\ve\""	1	0.0042
Pulsatilla alpina (L.) Delarbre subsp. alpina	1	0.0042
Sedum album L.	1	0.0042
Valeriana tripteris L.	1	0.0042
Hieracium pilosum Schleich. ex Froel.	1	0.0042
Arabis ciliata Clairv.	1	0.0042
Heracleum sphondylium L. subsp. montanum (Schleich. ex Gaudin) Briq.	1	0.0042
Moehringia muscosa L.	1	0.0042
Rhinanthus angustifolius C.C.Gmel.	1	0.0042
Campanula cenisia L.	1	0.0042
Pimpinella major (L.) Huds.	1	0.0042
Epilobium alsinifolium Vill.	1	0.0042
Senecio rivularis (Waldst. & Kit.) DC.	1	0.0042
Phyteuma spicatum L.	1	0.0042
Globularia cordifolia L.	2	0.0083
Hieracium murorum agg.	2	0.0083
Luzula multiflora (Retz.) Lej.	2	0.0083
Nardus stricta L.	2	0.0083
Phleum hirsutum Honck.	2	0.0083
Rhododendron ferrugineum L.	2	0.0083

Veronica fruticans Jacq.	2	0.0083
Viola alpina Jacq.	2	0.0083
Linum perenne subsp. alpinum (Jacq.) Ockendon	2	0.0083
Arabis caerulea (All.) Haenke	2	0.0083
Dryopteris alpestris Tagawa	2	0.0083
Papaver alpinum L.	2	0.0083
Senecio rivularis (Waldst. & Kit.) DC.	2	0.0083
Lonicera caerulea L.	2	0.0083
Deschampsia flexuosa (L.) Trin.	2	0.0083
Antennaria carpatica (Wahlenb.) Bluff & Fingerh.	3	0.0125
Crepis jacquinii Tausch subsp. jacquinii	3	0.0125
Festuca alpina Suter	3	0.0125
Hieracium alpinum L.	3	0.0125
Hippocrepis comosa L.	3	0.0125
Knautia drymeia subsp. intermedia (Pernh. & Wettst.) Ehrend.	3	0.0125
Oxytropis jacquinii Bunge	3	0.0125
Picea abies (L.) H.Karst. subsp. abies	3	0.0125
Salix serpyllifolia Scop.	3	0.0125
Thlaspi rotundifolium (L.) Gaudin, non Tineo subsp. Rotundifolium	3	0.0125
Cirsium spinosissimum (L.) Scop.	3	0.0125
Globularia nudicaulis L.	3	0.0125
Tofieldia pusilla (Michx.) Pers. subsp. Pusilla	3	0.0125
Stachys alopecuroides (L.) Benth.	3	0.0125
Nigritella nigra (L.) Rchb.f.	4	0.0167
Polystichum lonchitis (L.) Roth	4	0.0167
Valeriana montana L.	4	0.0167
Veratrum album L.	4	0.0167
Polytrichum juniperinum Hedw.	4	0.0167
Euphrasia rostkoviana agg.	4	0.0167
Rumex scutatus L.	4	0.0167
Trifolium pratense L. subsp. nivale Arc.	5	0.0208
Agrostis rupestris All.	6	0.025
Cerastium holeostoides Fries subsp. triviale (Link) M. schl	6	0.025
Chamorchis alpina (L.) Rich.	6	0.025
Larix decidua Mill.	6	0.025
Linaria alpina (L.) Mill.	6	0.025
Peucedanum ostruthium (L.) W.D.J.Koch	6	0.025

Saxifraga androsacea L.	6	0.025
Valeriana saxatilis L. subsp. Saxatilis	6	0.025
Hieracium glaucum All.	6	0.025
Stachys alopecuroides (L.) Benth.	6	0.025
Erigeron uniflorus L.	7	0.0292
Festuca rubra agg.	7	0.0292
Hypericum maculatum Crantz	7	0.0292
Loiseleuria procumbens (L.) Desv.	7	0.0292
Trisetum distichophyllum (Vill.) P.Beauv.	7	0.0292
Dryopteris villarii (Bellardi) Woyt. ex Schinz & Thell.	7	0.0292
Erigeron glabratus Hoppe & Hornsch. ex Bluff & Fingerh.	7	0.0292
Poa minor Gaudin	8	0.0333
Empetrum nigrum L. subsp. hermaphroditum (Hagerup) B\cher\	9	0.0375
Omalotheca hoppeana (W.D.J.Koch) Sch.Bip. & F.W.Schultz	9	0.0375
Solidago virgaurea L. subsp. minuta (L.) Arcang.	9	0.0375
Trollius europaeus L.	9	0.0375
Alyssum ovirens A.Kern.	9	0.0375
Botrychium lunaria (L.) Sw.	10	0.0417
Cerastium arvense subsp. strictum Gaudin	10	0.0417
Gentiana bavarica L.	10	0.0417
Gentiana pannonica Scop.	10	0.0417
Homogyne alpina (L.) Cass.	10	0.0417
Rumex alpestris Jacq.	10	0.0417
Meum athamanticum Jacq.	10	0.0417
Geum montanum L.	11	0.0458
Saussurea pygmaea (Jacq.) Spreng.	11	0.0458
Pedicularis portenschlagii Saut. ex Rchb.	12	0.05
Rhodiola rosea L.	12	0.05
Valeriana elongata Jacq.	12	0.05
Carex fuliginosa Schkuhr	13	0.0542
Pimpinella saxifraga L.	13	0.0542
Saxifraga sedoides L. subsp. sedoides	13	0.0542
Veronica alpina L.	13	0.0542
Crepis aurea (L.) Cass. subsp. aurea	14	0.0583
Draba aizoides L.	14	0.0583
Thesium alpinum L.	14	0.0583

Draba stellata Jacq.	15	0.0625
Minuartia cherlerioides (Hoppe) Bech. subsp. cherlerioides	15	0.0625
Oreochloa disticha (Wulfen) Link	15	0.0625
Arabis alpina L. subsp. alpina	16	0.0667
Geranium sylvaticum L. subsp. sylvaticum	16	0.0667
Saxifraga stellaris L.	16	0.0667
Carex capillaris L.	17	0.0708
Ranunculus hybridus Biria	17	0.0708
Huperzia selago (L.) Bernh. ex Schrank & Mart. subsp. selago	18	0.075
Leontodon pyrenaicus Gouan subsp. helveticus (Múrat) Finch & P.D.Sell	18	0.075
Silene vulgaris (Moench) Garcke subsp. vulgaris	18	0.075
Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern. subsp. Alliariae	20	0.0833
Adenostyles alpina (L.) Bluff & Fingerh.	20	0.0833
Heracleum austriacum L. subsp. austriacum	21	0.0875
Kobresia simpliciuscula (Wahlenb.) Mack.	21	0.0875
Phleum alpinum L. subsp. rhaeticum Humphries	21	0.0875
Vaccinium uliginosum L. subsp. microphyllum Lange	21	0.0875
Hieracium villosum Jacq.	22	0.0917
Cystopteris alpina (Lam.) Desv.	22	0.0917
Arabis pumila Jacq.	23	0.0958
Deschampsia cespitosa (L.) P.Beauv. subsp. cespitosa	24	0.1
Potentilla crantzii (Crantz) Beck ex Fritsch	24	0.1
Silene pusilla Waldst. & Kit.	24	0.1
Primula elatior (L.) Hill	25	0.1042
Acinos alpinus (L.) Moench subsp. alpinus	26	0.1083
Leontodon montanus Lam. subsp. Montanus	27	0.1125
Achillea clusiana Tausch	27	0.1125
Tofieldia calyculata (L.) Wahlenb.	27	0.1125
Salix alpina Scop.	29	0.1208
Saxifraga exarata subsp. moschata (Wulfen) Cavill.	30	0.125
Vaccinium myrtillus L.	30	0.125
Campanula cochlearifolia Lam.	32	0.1333
Sedum atratum L.	35	0.1458
Moehringia ciliata (Scop.) Dalla Torre	35	0.1458
Rhodothamnus chamaecistus (L.) Rchb.	35	0.1458
Valeriana celtica subsp. norica Vierh.	36	0.15
Cerastium carinthiacum Vest	36	0.15

Carex parviflora Host	37	0.1542
Achillea atrata L. subsp. atrata	39	0.1625
Vaccinium vitis-idaea L. subsp. vitis-idaea	39	0.1625
Asplenium trichomanes-ramosum L.	42	0.175
Pinguicula alpina L.	43	0.1792
Rhododendron hirsutum L.	45	0.1875
Sesleria ovata (Hoppe) A.Kern.	45	0.1875
Thamnotia vermicularis (Sw.) Schaer.	45	0.1875
Coeloglossum viride (L.) Hartm.	46	0.1917
Lotus corniculatus agg.	47	0.1958
Veronica aphylla L.	47	0.1958
Leontodon hispidus L.	48	0.2
Potentilla brauniana Hoppe	48	0.2
Festuca rupicaprina (Hack.) A.Kern.	50	0.2083
Achillea clavennae L.	53	0.2208
Draba sauteri Hoppe	53	0.2208
Gentiana verna L. subsp. verna	53	0.2208
Anthoxanthum odoratum L. subsp. alpinum (? & D.L. ve) Jones & Melderis	54	0.225
Petrocallis pyrenaica (L.) R.Br.	54	0.225
Soldanella austriaca Vierh.	54	0.225
Hedysarum hedysaroides (L.) Schinz & Thell. subsp. hedysaroides	56	0.2333
Juncus trifidus subsp. monanthos (Jacq.) Asch. & Graebn.	56	0.2333
Phyteuma orbiculare L.	56	0.2333
Potentilla aurea L. subsp. aurea	56	0.2333
Gentiana pumila Jacq. subsp. pumila	57	0.2375
Myosotis alpestris F.W.Schmidt	58	0.2417
Pritzelago alpina (L.) Kuntze subsp. alpina	58	0.2417
Silene alpestris Jacq.	58	0.2417
Saxifraga caesia L.	60	0.25
Anthyllis vulneraria subsp. alpestris (Hegetschw.) Asch. & Graebn.	63	0.2625
Carex atrata L. subsp. atrata	63	0.2625
Carex ferruginea Scop. subsp. ferruginea	64	0.2667
Helianthemum nummularium subsp. glabrum (W.D.J.Koch) Wilczek	64	0.2667
Campanula alpina Jacq. subsp. alpina	65	0.2708
Ligusticum mutellina (L.) Crantz	66	0.275

Saxifraga aizoides L.	66	0.275
Euphrasia minima Jacq. ex DC. subsp. minima	67	0.2792
Carduus defloratus L. subsp. defloratus	68	0.2833
Potentilla clusiana Jacq.	68	0.2833
Euphrasia salisburgensis Funck	70	0.2917
Arenaria ciliata L. subsp. ciliata	75	0.3125
Campanula pulla L.	75	0.3125
Luzula glabrata (Hoppe) Desv.	75	0.3125
Crepis terglouensis (Hacq.) A.Kern.	76	0.3167
Pedicularis rosea Wulfen subsp. rosea	77	0.3208
Doronicum glaciale (Wulfen) Nyman	79	0.3292
Parnassia palustris L.	79	0.3292
Leucanthemum atratum (Jacq.) DC. subsp. atratum	83	0.3458
Pedicularis rostratocapitata Crantz subsp. rostratocapitata	83	0.3458
Primula auricula L.	83	0.3458
Gentianella germanica (Willd.) E.F.Warb.	86	0.3583
Scabiosa lucida Vill.	86	0.3583
Saxifraga paniculata Mill.	88	0.3667
Galium anisophyllum Vill.	93	0.3875
Pedicularis verticillata L.	94	0.3917
Gentiana brachyphylla subsp. favratii (Rittener) Tutin	95	0.3958
Thymus praecox Opiz subsp. polytrichus (A.Kern. ex Borbas) Jolas	95	0.3958
Anemone narcissifolia L. subsp. narcissifolia	96	0.4
Soldanella alpina L.	97	0.4042
Viola biflora L.	97	0.4042
Minuartia verna (L.) Hiern subsp. verna	103	0.4292
Biscutella laevigata subsp. austriaca (Jord.) Mach.- Laur.	104	0.4333
Dianthus alpinus L.	105	0.4375
Gentiana clusii E.P.Perrier & Songeon	105	0.4375
Armeria maritima subsp. alpina (Willd.) P.Silva	106	0.4417
Salix reticulata L.	108	0.45
Ranunculus montanus Willd.	121	0.5042
Homogyne discolor (Jacq.) Cass.	127	0.5292
Thlaspi alpinum Crantz subsp. alpinum	127	0.5292
Androsace chamaejasme Wulfen	129	0.5375
Poa alpina L.	132	0.55
Selaginella selaginoides (L.) Link	139	0.5792

Minuartia sedoides (L.) Hiern	140	0.5833
Festuca versicolor subsp. brachystachys (Hack.) Markgr.-Dann.	141	0.5875
Aster bellidiastrum (L.) Scop.	142	0.5917
Campanula scheuchzeri Vill.	142	0.5917
Carex sempervirens Vill.	145	0.6042
Primula clusiana Tausch	150	0.625
Agrostis alpina Scop.	157	0.6542
Bartsia alpina L.	157	0.6542
Galium noricum Ehrend.	159	0.6625
Helianthemum oelandicum subsp. alpestre (Jacq.) Breistr.	164	0.6833
Festuca quadriflora Honck.	171	0.7125
Ranunculus alpestris L. subsp. alpestris	175	0.7292
Salix retusa L.	177	0.7375
Dryas octopetala L.	182	0.7583
Silene acaulis (L.) Jacq. subsp. acaulis	183	0.7625
Carex firma Host	193	0.8042
Sesleria albicans Kit. ex Schult.	194	0.8083
Polygonum viviparum L.	226	0.9417

Tab. 6 Häufigkeit der Pflanzenarten im Line Pointing Datensatz. FREQ gibt Anzahl der Treffer in allen Transektflächen an. Prozent gibt diesen Wert

FULLNAME	FREQ	Prozent
Achillea atrata L. subsp. atrata	1	0.000417
Antennaria carpatica (Wahlenb.) Bluff & Fingerh.	1	0.000417
Arabis pumila Jacq.	1	0.000417
Botrychium lunaria (L.) Sw.	1	0.000417
Draba sauteri Hoppe	1	0.000417
Gentiana brachyphylla subsp. favratii (Rittener) Tutin	1	0.000417
Gentiana pannonica Scop.	1	0.000417
Geum montanum L.	1	0.000417
Knautia drymeia subsp. intermedia (Pernh. & Wettst.) Ehrend.	1	0.000417
Loiseleuria procumbens (L.) Desv.	1	0.000417
Minuartia cherlerioides (Hoppe) Bech. subsp. cherlerioides	1	0.000417

Myosotis alpestris F.W.Schmidt	1	0.000417
Pedicularis rosea Wulfen subsp. rosea	1	0.000417
Pinguicula alpina L.	1	0.000417
Rumex alpestris Jacq.	1	0.000417
Trifolium pratense L. subsp. nivale Arc.	1	0.000417
Veronica alpina L.	1	0.000417
Polytrichum juniperinum Hedw.	1	0.000417
Euphrasia rostkoviana agg.	1	0.000417
Cirsium spinosissimum (L.) Scop.	1	0.000417
Tofieldia calyculata (L.) Wahlenb.	1	0.000417
Empetrum nigrum L. subsp. hermaphroditum (Hagerup) B\cher"	2	0.000833
Gentiana pumila Jacq. subsp. pumila	2	0.000833
Hieracium villosum Jacq.	2	0.000833
Homogyne alpina (L.) Cass.	2	0.000833
Pedicularis rostratocapitata Crantz subsp. rostratocapitata	2	0.000833
Pedicularis verticillata L.	2	0.000833
Peucedanum ostruthium (L.) W.D.J.Koch	2	0.000833
Pinus mugo Turra	2	0.000833
Potentilla crantzii (Crantz) Beck ex Fritsch	2	0.000833
Silene vulgaris (Moench) Garcke subsp. vulgaris	2	0.000833
Vaccinium uliginosum L. subsp. microphyllum Lange	2	0.000833
Valeriana montana L.	2	0.000833
Trisetum distichophyllum (Vill.) P.Beauv.	2	0.000833
Acinos alpinus (L.) Moench subsp. alpinus	3	0.00125
Carex parviflora Host	3	0.00125
Crepis aurea (L.) Cass. subsp. aurea	3	0.00125
Gentianella germanica (Willd.) E.F.Warb.	3	0.00125
Hedysarum hedysaroides (L.) Schinz & Thell. subsp. hedysaroides	3	0.00125
Leontodon montanus Lam. subsp. Montanus	3	0.00125
Salix alpina Scop.	3	0.00125
Saxifraga caesia L.	3	0.00125
Solidago virgaurea L. subsp. minuta (L.) Arcang.	3	0.00125
Achillea clavennae L.	4	0.001667
Campanula cochlearifolia Lam.	4	0.001667
Petrocallis pyrenaica (L.) R.Br.	4	0.001667
Phleum alpinum L. subsp. rhaeticum Humphries	4	0.001667
Primula auricula L.	4	0.001667

Rhodiola rosea L.	4	0.001667
Saxifraga aizoides L.	4	0.001667
Achillea clusiana Tausch	4	0.001667
Arabis alpina L. subsp. alpina	5	0.002083
Campanula alpina Jacq. subsp. alpina	5	0.002083
Carex capillaris L.	5	0.002083
Euphrasia minima Jacq. ex DC. subsp. minima	5	0.002083
Gentiana verna L. subsp. verna	5	0.002083
Geranium sylvaticum L. subsp. sylvaticum	5	0.002083
Oreochloa disticha (Wulfen) Link	5	0.002083
Parnassia palustris L.	5	0.002083
Potentilla brauniana Hoppe	5	0.002083
Primula elatior (L.) Hill	5	0.002083
Armeria maritima subsp. alpina (Willd.) P.Silva	6	0.0025
Crepis terglouensis (Hacq.) A.Kern.	6	0.0025
Heracleum austriacum L. subsp. austriacum	6	0.0025
Kobresia simpliciuscula (Wahlenb.) Mack.	6	0.0025
Rhodothamnus chamaecistus (L.) Rchb.	6	0.0025
Cerastium carinthiacum Vest	7	0.002917
Adenostyles alpina (L.) Bluff & Fingerh.	7	0.002917
Carex atrata L. subsp. atrata	8	0.003333
Arenaria ciliata L. subsp. ciliata	9	0.00375
Euphrasia salisburgensis Funck	9	0.00375
Leontodon pyrenaicus Gouan subsp. helveticus (M,rat) Finch & P.D.Sell	9	0.00375
Potentilla clusiana Jacq.	9	0.00375
Campanula pulla L.	10	0.004167
Luzula glabrata (Hoppe) Desv.	10	0.004167
Minuartia verna (L.) Hiern subsp. verna	10	0.004167
Anthyllis vulneraria subsp. alpestris (Hegetschw.) Asch. & Graebn.	11	0.004583
Gentiana clusii E.P.Perrier & Sonjeon	11	0.004583
Juncus trifidus subsp. monanthos (Jacq.) Asch. & Graebn.	11	0.004583
Soldanella austriaca Vierh.	11	0.004583
Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern. subsp. Alliariae	12	0.005
Bartsia alpina L.	12	0.005
Lotus corniculatus agg.	13	0.005417
Potentilla aurea L. subsp. aurea	13	0.005417
Selaginella selaginoides (L.) Link	13	0.005417
Valeriana celtica subsp. norica Vierh.	13	0.005417

Anthoxanthum odoratum L. subsp. alpinum (Á. & D.Löve) Jones & Melderis	14	0.005833
Poa alpina L.	14	0.005833
Rhododendron hirsutum L.	14	0.005833
Salix reticulata L.	15	0.00625
Sesleria ovata (Hoppe) A.Kern.	15	0.00625
Carduus defloratus L. subsp. defloratus	16	0.006667
Vaccinium myrtillus L.	16	0.006667
Vaccinium vitis-idaea L. subsp. vitis-idaea	16	0.006667
Festuca rupicaprina (Hack.) A.Kern.	17	0.007083
Galium anisophyllum Vill.	17	0.007083
Silene alpestris Jacq.	17	0.007083
Saxifraga paniculata Mill.	19	0.007917
Phyteuma orbiculare L.	20	0.008333
Thymus praecox Opiz subsp. polytrichus (A.Kern. ex Borb s) J alas	21	0.00875
Biscutella laevigata subsp. austriaca (Jord.) Mach.- Laur.	22	0.009167
Dianthus alpinus L.	23	0.009583
Ligusticum mutellina (L.) Crantz	24	0.01
Leontodon hispidus L.	27	0.01125
Leucanthemum atratum (Jacq.) DC. subsp. atratum	27	0.01125
Androsace chamaejasme Wulfen	28	0.011667
Minuartia sedoides (L.) Hiern	31	0.012917
Thlaspi alpinum Crantz subsp. alpinum	34	0.014167
Anemone narcissifolia L. subsp. narcissifolia	35	0.014583
Scabiosa lucida Vill.	36	0.015
Deschampsia cespitosa (L.) P.Beauv. subsp. cespitosa	38	0.015833
Galium noricum Ehrend.	39	0.01625
Viola biflora L.	42	0.0175
Soldanella alpina L.	43	0.017917
Helianthemum oelandicum subsp. alpestre (Jacq.) Breistr.	49	0.020417
Primula clusiana Tausch	50	0.020833
Ranunculus alpestris L. subsp. alpestris	50	0.020833
Silene acaulis (L.) Jacq. subsp. acaulis	51	0.02125
Ranunculus montanus Willd.	55	0.022917
Campanula scheuchzeri Vill.	57	0.02375
Helianthemum nummularium subsp. glabrum (W.D.J.Koch) Wilczek	68	0.028333
Polygonum viviparum L.	69	0.02875

Festuca versicolor subsp. brachystachys (Hack.) Markgr.- Dann.	71	0.029583
Homogyne discolor (Jacq.) Cass.	74	0.030833
Aster bellidiastrum (L.) Scop.	79	0.032917
Agrostis alpina Scop.	101	0.042083
Salix retusa L.	119	0.049583
Festuca quadriflora Honck.	140	0.058333
Carex ferruginea Scop. subsp. ferruginea	153	0.06375
Dryas octopetala L.	205	0.085417
Sesleria albicans Kit. ex Schult.	263	0.109583
Carex sempervirens Vill.	346	0.144167
Carex firma Host	676	0.281667

Vegetationstabellen der Twinspan-Analyse

Tab. 7 Verband der Polsterseggenrasen (*Caricion firmae*), Rostseggenrasen und kalkalpine Schwingelrasen (*Caricion ferrugineae*), Kalkalpine Fels- und Schuttrassen (*Seslerion coeruleae*)

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
Caricion firmae								
<i>Pedicularis portenschlagii</i>	4	0	4	3	1	0	0	0
<i>Saxifraga caesia</i>	16	2	11	14	3	5	5	4
<i>Minuartia sedoides</i>	55	13	22	30	12	5	1	2
<i>Ranunculus alpestris</i> subsp. <i>alpestris</i>	52	14	15	30	9	14	28	13
<i>Arenaria ciliata</i> subsp. <i>ciliata</i>	47	12	4	8	3	1	0	0
<i>Draba sauteri</i>	40	4	5	4	0	0	0	0
Caricion ferrugineae								
<i>Geranium sylvaticum</i> subsp. <i>sylvaticum</i>	0	0	0	0	1	1	11	3
<i>Rhodiola rosea</i>	0	0	0	0	1	0	11	0
<i>Trifolium pratense</i> subsp. <i>nivale</i>	0	0	0	0	0	0	3	2
<i>Phleum hirsutum</i>	0	0	0	0	0	0	0	2
Seslerion coeruleae								
<i>Dianthus alpinus</i>	4	1	11	14	17	9	22	27
<i>Arabis ciliata</i>	0	0	0	0	0	0	1	0

Tab. 8 Polsterseggenrasen (*Caricetum firmae*), Grat-Schwingelrasen (*Festucetum pumilae*), Blaugras-Horstseggenhalde (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*), Alchemillo decumbentis-Juncetum monanthi und Rostseggenrasen und kalkalpine Schwingelwiesen (*Caricion ferrugineae*)

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
Caricetum firmae								
Carex firma	57	13	28	32	19	14	8	22
Dryas octopetala	49	11	26	30	19	12	16	19
Silene acaulis subsp. acaulis	57	14	26	32	16	15	14	9
Helianthemum oelandicum subsp. alpestre	56	12	27	28	20	8	6	7
Pedicularis rosea subsp. rosea	38	6	10	16	4	2	1	0
Chamorchis alpina	0	0	3	0	3	0	0	0
Crepis jacquinii subsp. jacquinii	0	0	2	0	1	0	0	0
Saussurea pygmaea	0	0	6	0	5	0	0	0
Galium noricum	15	15	21	32	17	11	24	24
Primula clusiana	23	3	25	23	20	11	16	29
Gentiana clusii	12	1	22	17	12	6	5	30
Androsace chamaejasme	19	5	27	18	18	1	14	27
Primula auricula	6	1	17	14	14	1	10	20
Festuca versicolor subsp. brachystachys	28	10	27	25	19	2	18	12
Pinguicula alpina	5	0	13	3	6	11	3	2
Rhododendron hirsutum	3	0	9	5	4	7	10	7
Rhodothamnus chamaecistus	0	0	8	1	4	5	8	9
Festucetum pumilae								
Polygonum viviparum	54	14	27	32	20	16	32	31
Sesleria albicans	34	14	23	30	19	14	32	28
Festuca quadriflora	41	13	15	24	11	16	22	29
Agrostis alpina	4	5	22	24	20	16	35	31
Poa alpina	31	13	4	22	7	8	27	20
Saxifraga paniculata	46	6	4	6	3	3	9	11
Myosotis alpestris	20	9	1	10	3	2	5	8
Potentilla crantzii	0	0	3	7	6	0	1	7
Salix serpyllifolia	2	0	0	1	0	0	0	0
Seslerio-Caricetum sempervirentis								
Sesleria albicans	34	14	23	30	19	14	32	28
Carex sempervirens	3	2	16	22	20	16	37	29
Selaginella selaginoides	2	5	21	30	19	14	25	23
Dianthus alpinus	4	1	11	14	17	9	22	27

Biscutella laevigata subsp. austriaca	0	1	13	10	12	12	27	29
Thymus praecox subsp. polytrichus	2	0	12	14	18	1	18	30
Pedicularis verticillata	14	8	14	26	13	6	9	4
Scabiosa lucida	1	0	5	6	14	7	32	21
Pedicularis rostratocapitata subsp. rostratocapitata	15	2	25	15	16	1	4	5
Carduus defloratus subsp. defloratus	0	1	0	4	4	3	35	21
Anthyllis vulneraria subsp. alpestris	2	0	9	1	11	3	17	20
Phyteuma orbiculare	0	3	2	7	12	1	16	15
Achillea clavennae	0	0	4	1	8	1	12	27
Hieracium villosum	0	0	0	0	4	0	9	9
Globularia nudicaulis	0	0	0	0	0	0	0	3
Helianthemum nummularium subsp. grandiflorum	0	0	1	0	0	0	0	0
Alchemillo decumbentis-Juncetum monanthi								
Polygonum viviparum	54	14	27	32	20	16	32	31
Campanula scheuchzeri	3	7	12	18	21	12	38	31
Galium anisophyllum	2	2	5	13	15	10	25	21
Luzula glabrata	0	9	4	21	12	6	21	2
Myosotis alpestris	20	9	1	10	3	2	5	8
Juncus trifidus subsp. monanthos	0	0	1	3	5	10	22	15
Leontodon hispidus	0	0	0	2	7	6	27	6
Achillea atrata subsp. atrata	1	5	1	12	0	14	4	2
Veronica alpina	0	0	0	3	0	3	6	1
Gentiana bavarica	1	0	1	1	0	2	4	1
Caricetum ferrugineae								
Aster bellidiastrum	1	5	13	21	19	16	36	31
Poa alpina	31	13	4	22	7	8	27	20
Homogyne discolor	0	5	9	21	18	12	33	29
Thlaspi alpinum subsp. alpinum	1	6	8	18	14	15	37	28
Ranunculus montanus	3	2	3	21	15	12	36	29
Salix reticulata	32	11	11	26	6	14	3	5
Soldanella alpina	0	2	0	4	15	11	37	28
Leucanthemum atratum subsp. atratum	0	0	0	2	10	9	34	28
Parnassia palustris	1	0	3	2	18	10	30	15
Ligusticum mutellina	1	1	0	6	8	3	24	23
Carex ferruginea subsp. ferruginea	0	0	0	2	3	0	38	21
Hedysarum hedysaroides subsp. hedysaroides	20	7	9	7	4	3	5	1
Lotus corniculatus agg.	1	0	0	1	2	0	21	22
Primula elatior	0	0	0	0	0	1	21	3

Heracleum austriacum subsp. austriacum	0	0	0	0	0	0	14	7
Crepis aurea subsp. aurea	0	0	0	0	2	2	9	1
Trollius europaeus	0	0	0	0	2	0	7	0
Knautia drymeia subsp. intermedia	0	0	0	0	0	0	3	0
Pimpinella major	0	0	0	0	0	1	0	0
Pulsatilla alpina subsp. alpina	0	0	0	0	0	0	0	1

Ergebnisse der statistischen Analyse mit tree models und GLMs

Tab. 9 Zusammenfassung aller Werte für Exposition Southing (Expsouth) und Exposition Easting (Expeast), welche in den tree models verwendet wurden, mit einer Umrechnung in Kompassgrad.

Expsouth	Kompass (Grad)	Expeast	Kompass (Grad)
< -0.902859	336° - 360°, 0° - 24°	< -0.902859	245° - 295°
< -0.816035	326° - 360°, 0° - 34°	< -0.683013	224° - 316°
< -0.719846	326° - 360°, 0° - 44°	< -0.42101	205° - 335°
< -0.704416	326° - 360°, 0° - 44°	< -0.257834	196° - 344°
< -0.633022	310° - 360°, 0° - 50°	< -0.0990741	187° - 353°
< -0.492404	300° - 360°, 0° - 60°	< 0	180° - 360°
< -0.42101	296° - 360°, 0° - 64°	< 0.084186	176° - 360°, 0° - 4°
< -0.17407	281° - 360°, 0° - 79°	< 0.0929241	176° - 360°, 0° - 4°
< -0.0898841	276° - 360°, 0° - 84°	< 0.112992	175° - 360°, 0° - 5°
< -0.0416005	272° - 360°, 0° - 88°	< 0.257834	166° - 360°, 0° - 14°
< 0.0789899	266° - 360°, 0° - 94°	< 0.42101	156° - 360°, 0° - 24°
< 0.0837641	266° - 360°, 0° - 94°	< 0.816035	126° - 360°, 0° - 54°
< 0.12635	264° - 360°, 0° - 96°	< 0.852869	121° - 360°, 0° - 59°
< 0.216234	258° - 360°, 0° - 102°	< 0.902859	116° - 360°, 0° - 64°
< 0.336824	251° - 360°, 0° - 109°		
< 0.37941	249° - 360°, 0° - 111°		
< 0.571394	236° - 360°, 0° - 124°		
< 0.683013	228° - 360°, 0° - 132°		
< 0.704416	225° - 360°, 0° - 135°		
< 0.816035	216° - 360°, 0° - 144°		
< 0.902859	206° - 360°, 0° - 154°		
< 0.925417	203° - 360°, 0° - 157°		
< 0.991719	188° - 360°, 0° - 172°		

Gruppe A

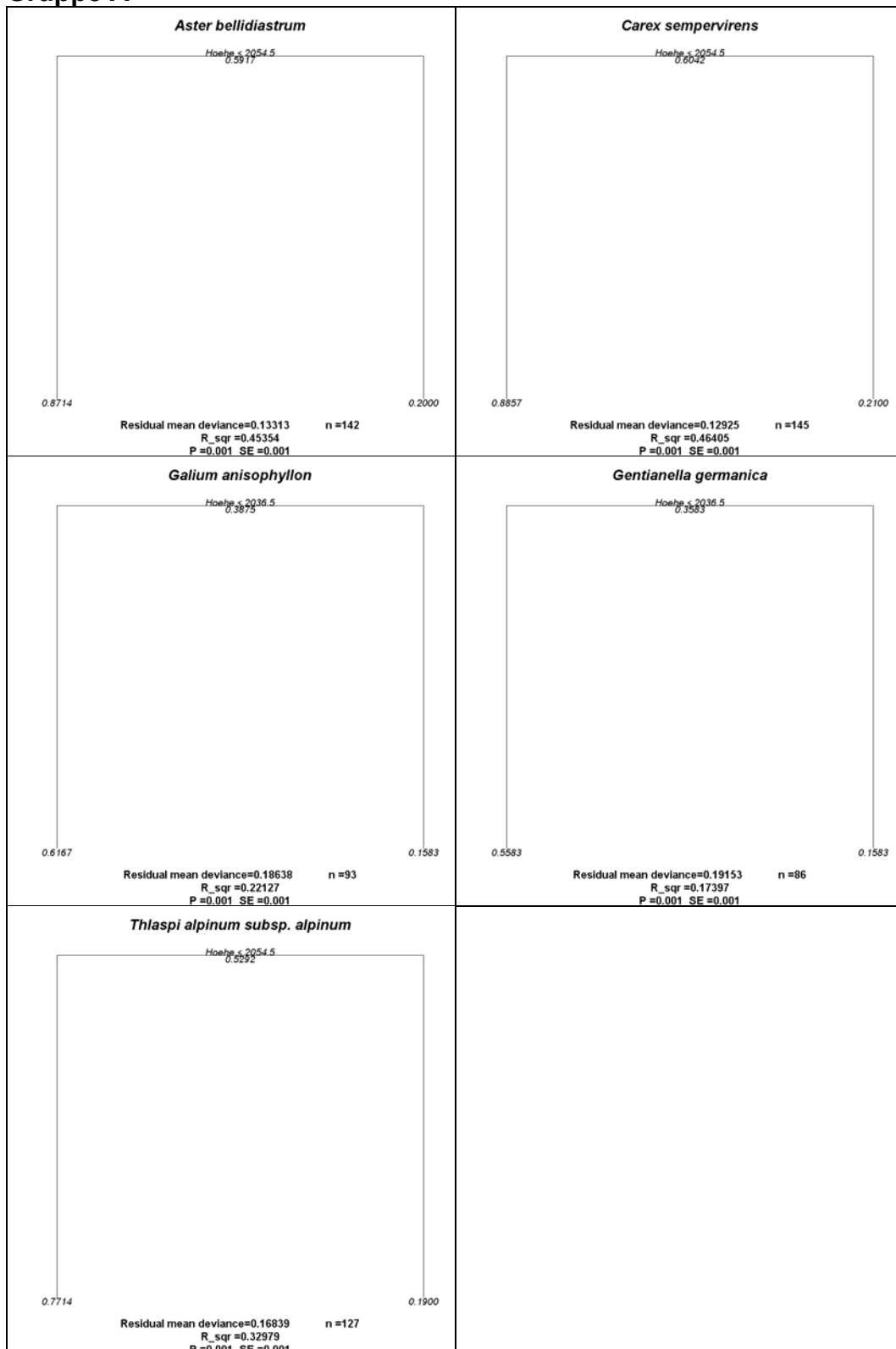


Abb. 31 Regression Trees von Arten mit Verbreitungsschwerpunkt im subalpinen Bereich.

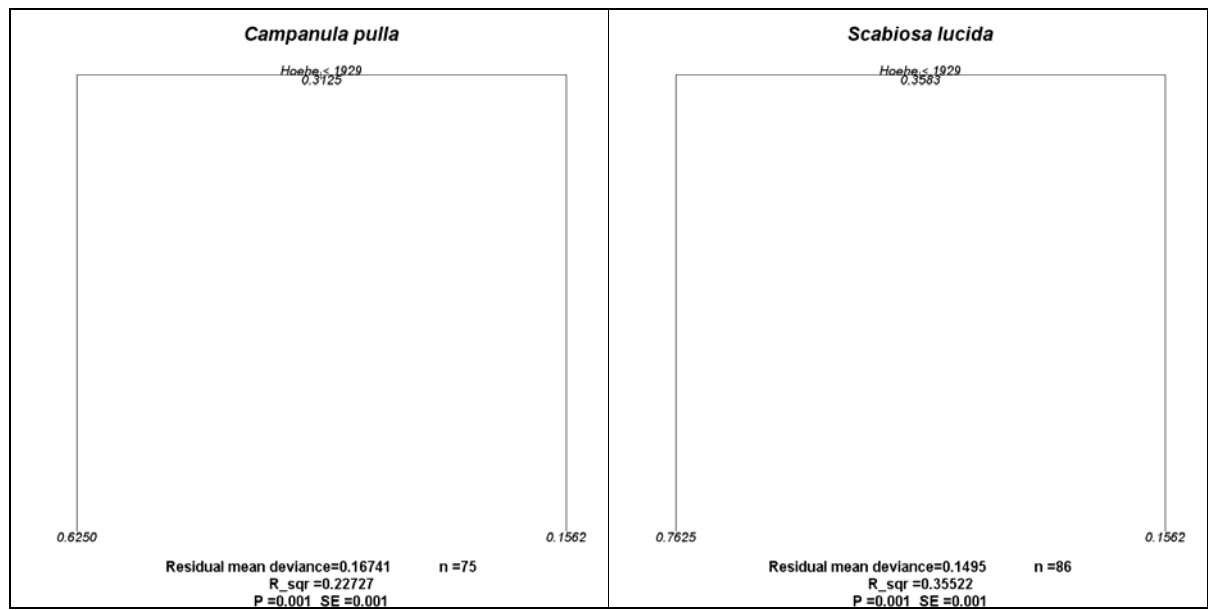


Abb. 32 Regression Trees von Arten mit Verbreitungsschwerpunkt im subalpinen Bereich.

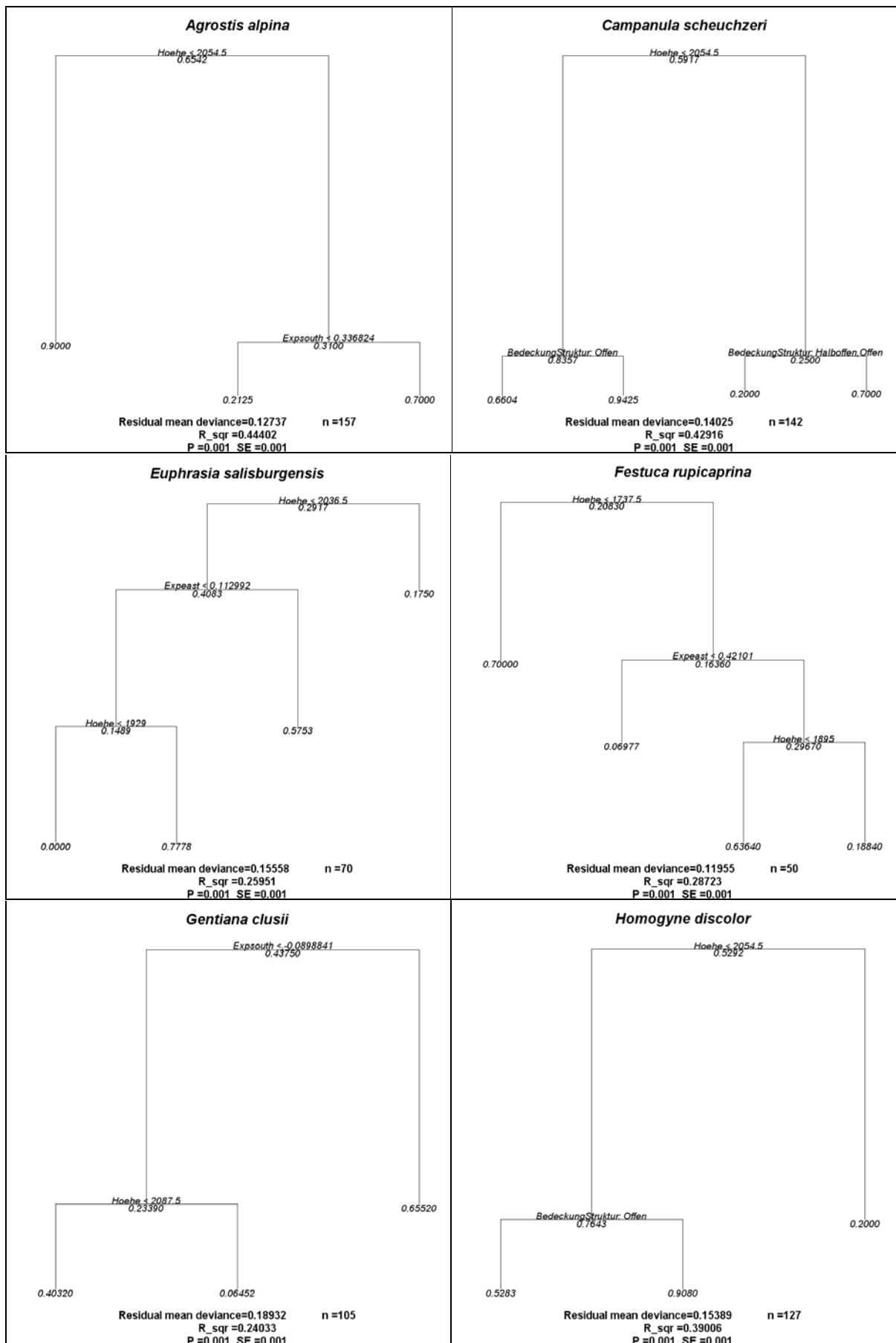


Abb. 33 Regression Trees von Arten mit Verbreitungsschwerpunkt im subalpinen Bereich.

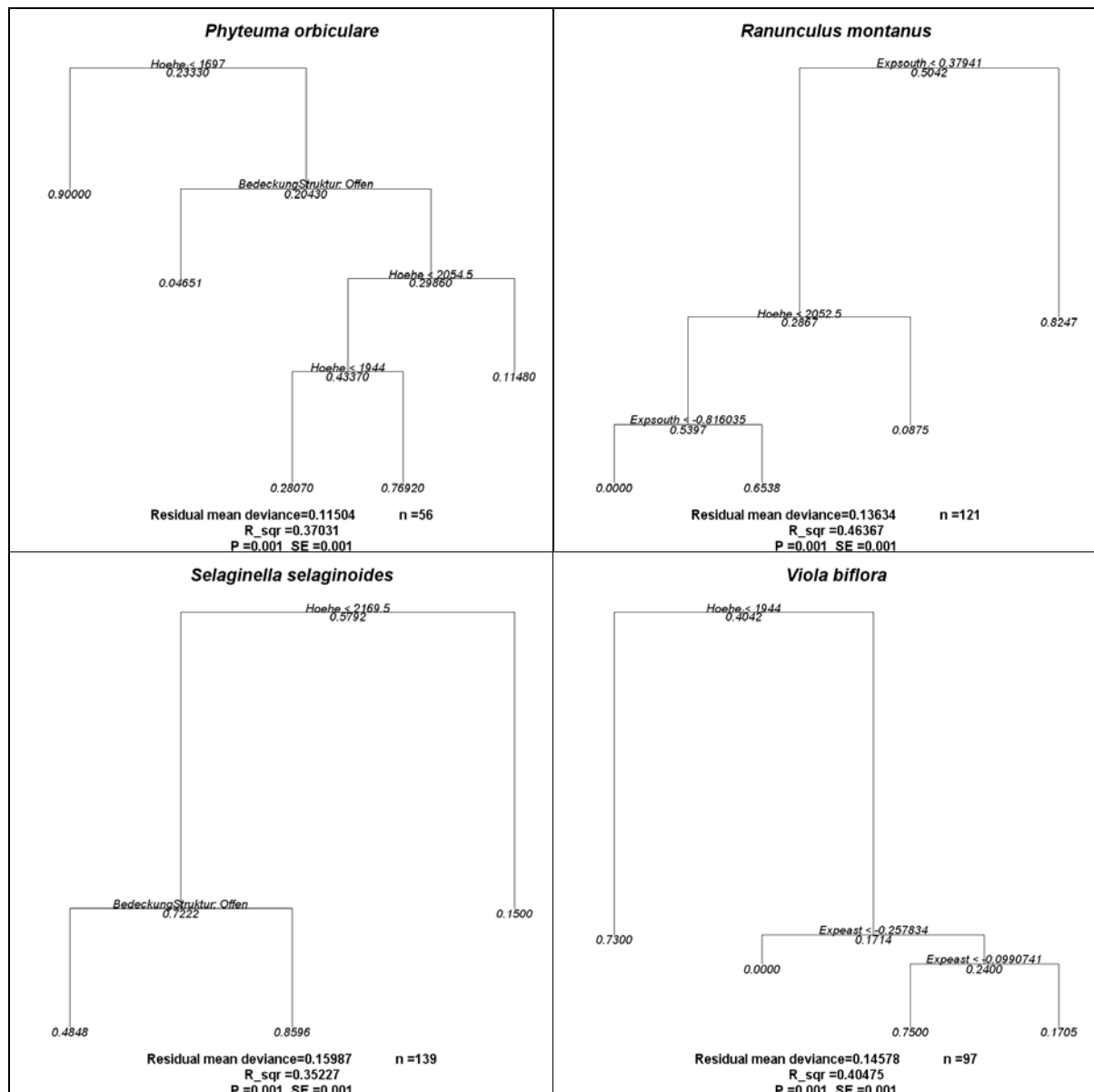


Abb. 34 Regression Trees von Arten mit Verbreitungsschwerpunkt im subalpinen Bereich.

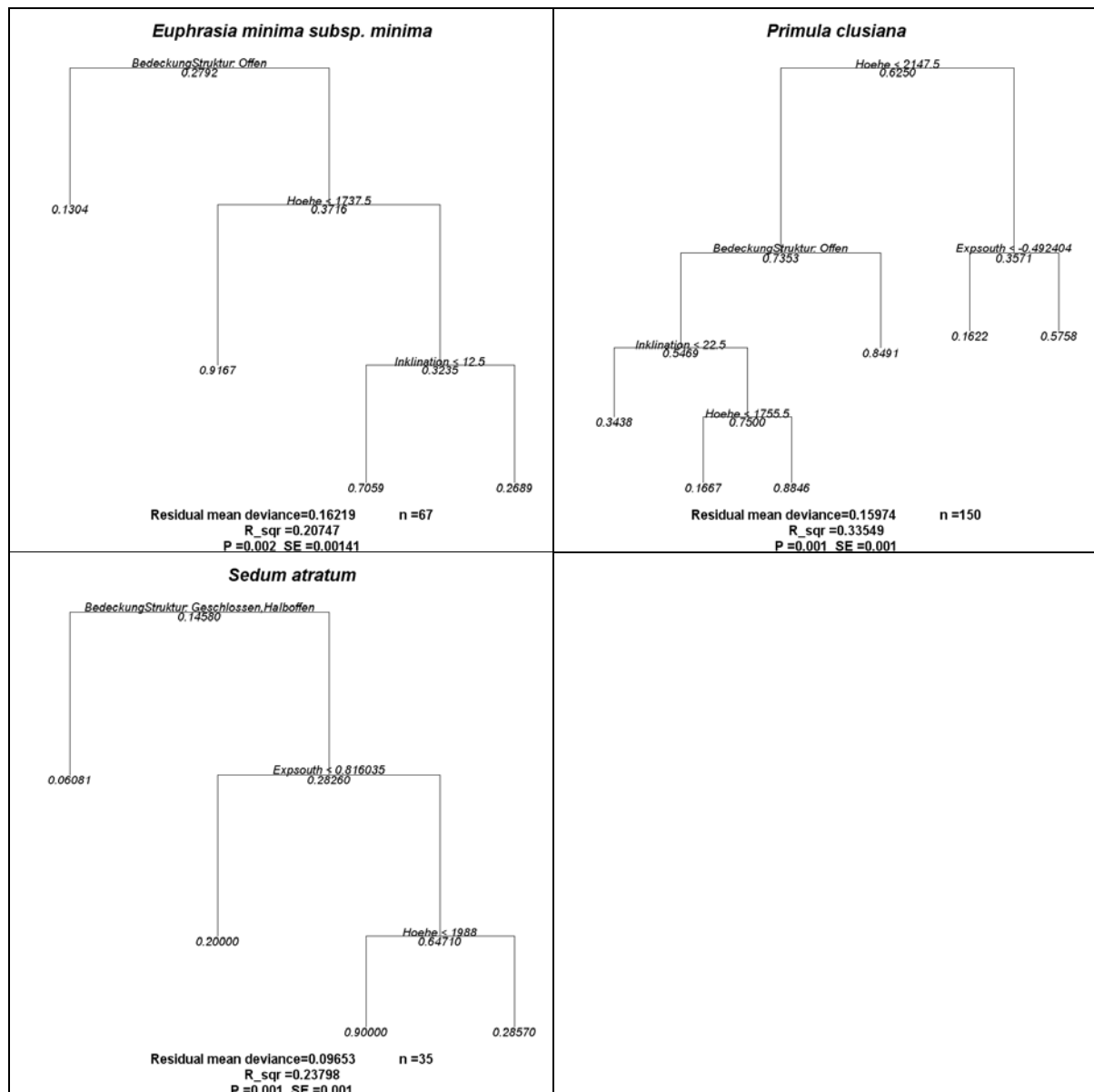


Abb. 35 Regression Trees von Arten mit Verbreitungsschwerpunkt im subalpinen Bereich.

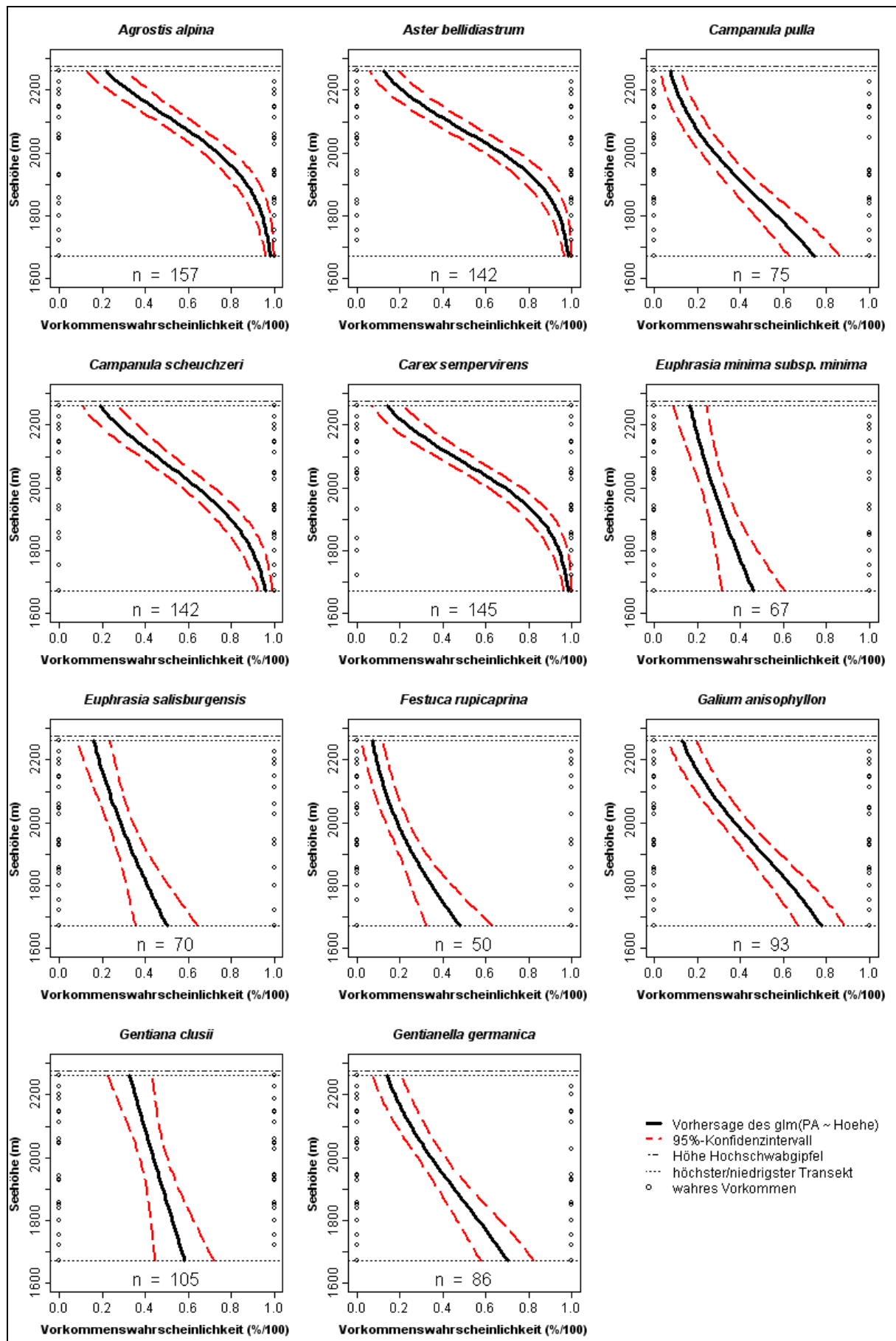


Abb. 36 GLMs für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen.

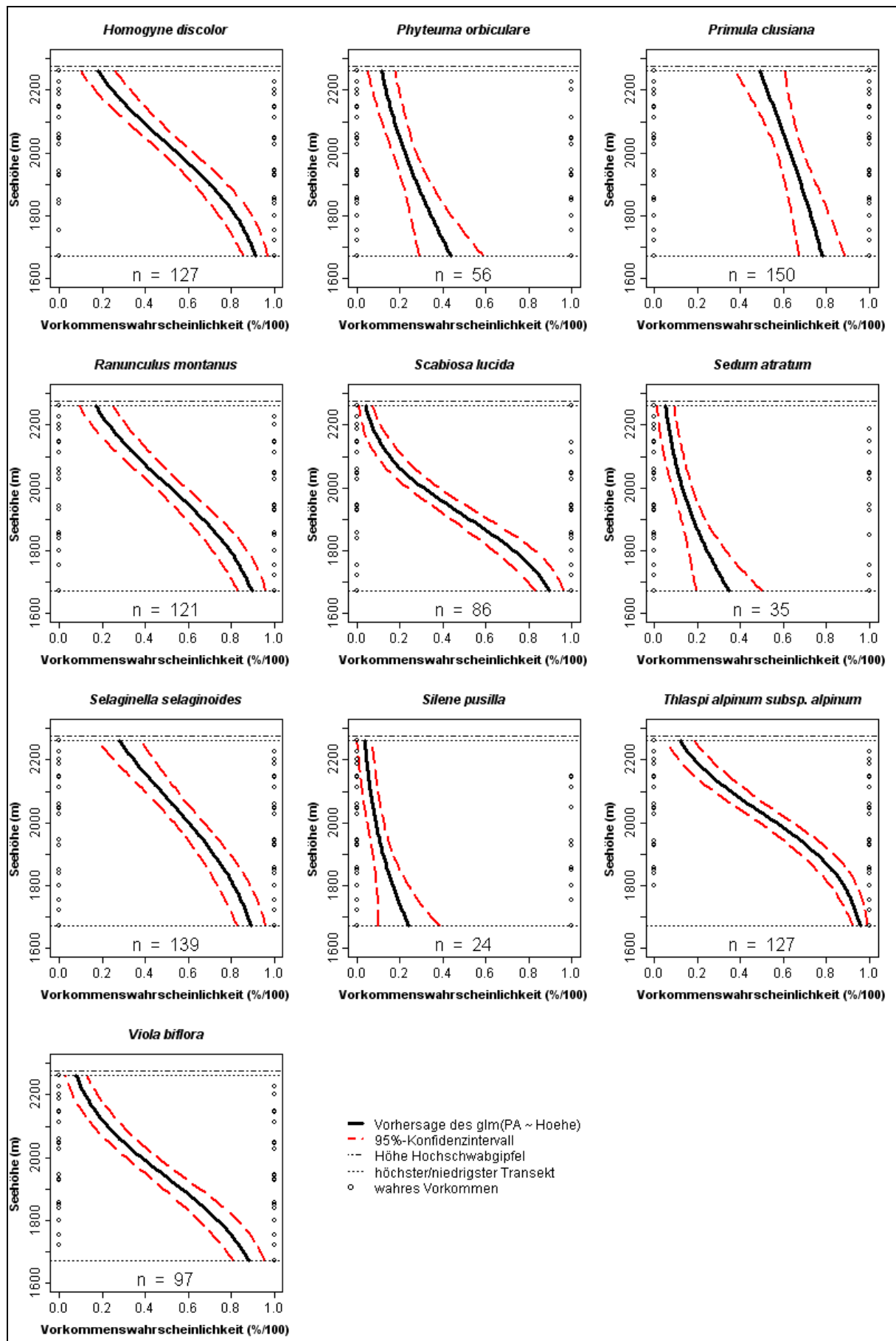


Abb. 37 GLMs für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen.

Gruppe B

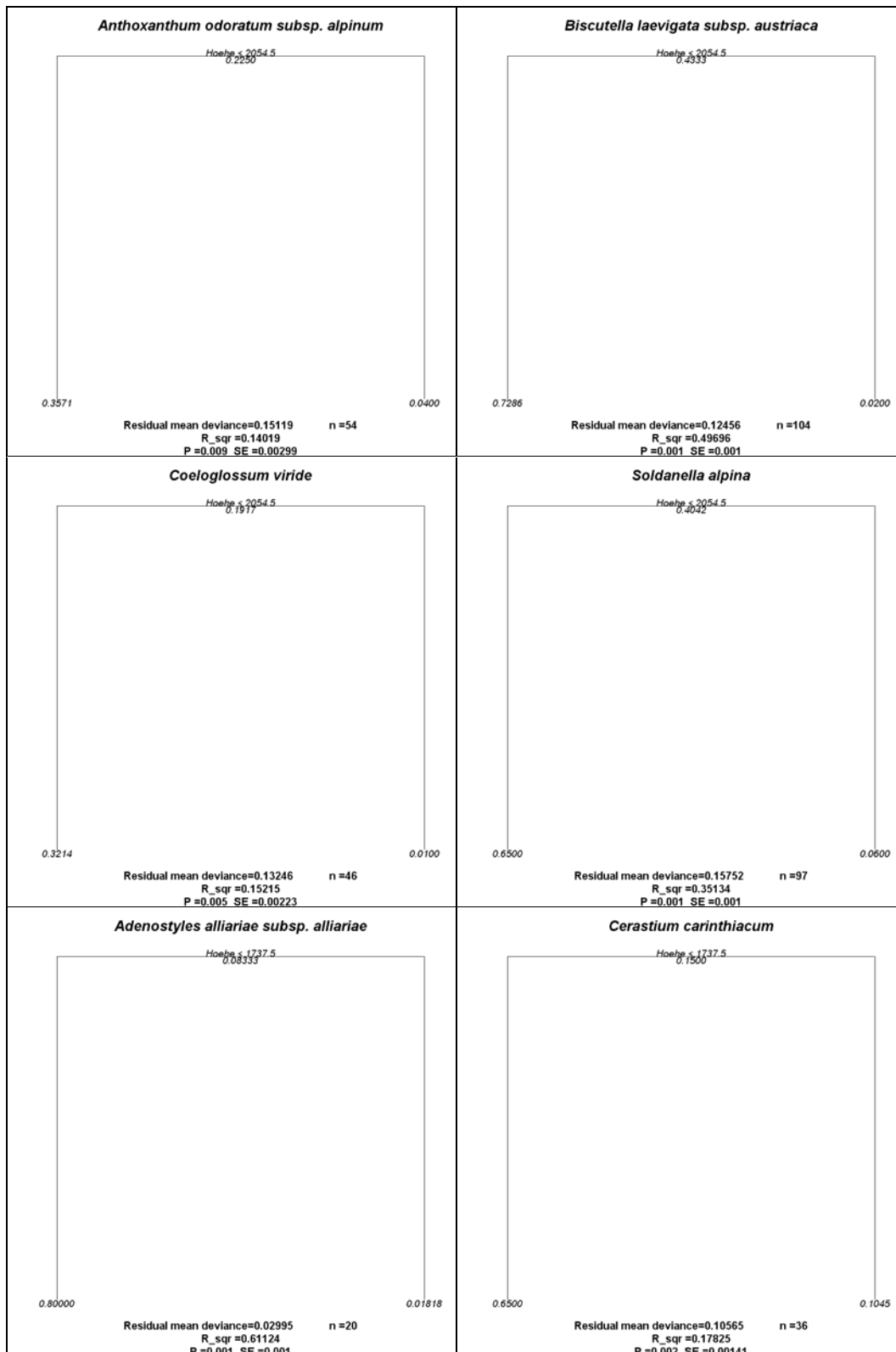


Abb. 38 Regression Trees für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Vorkommensgrenze.

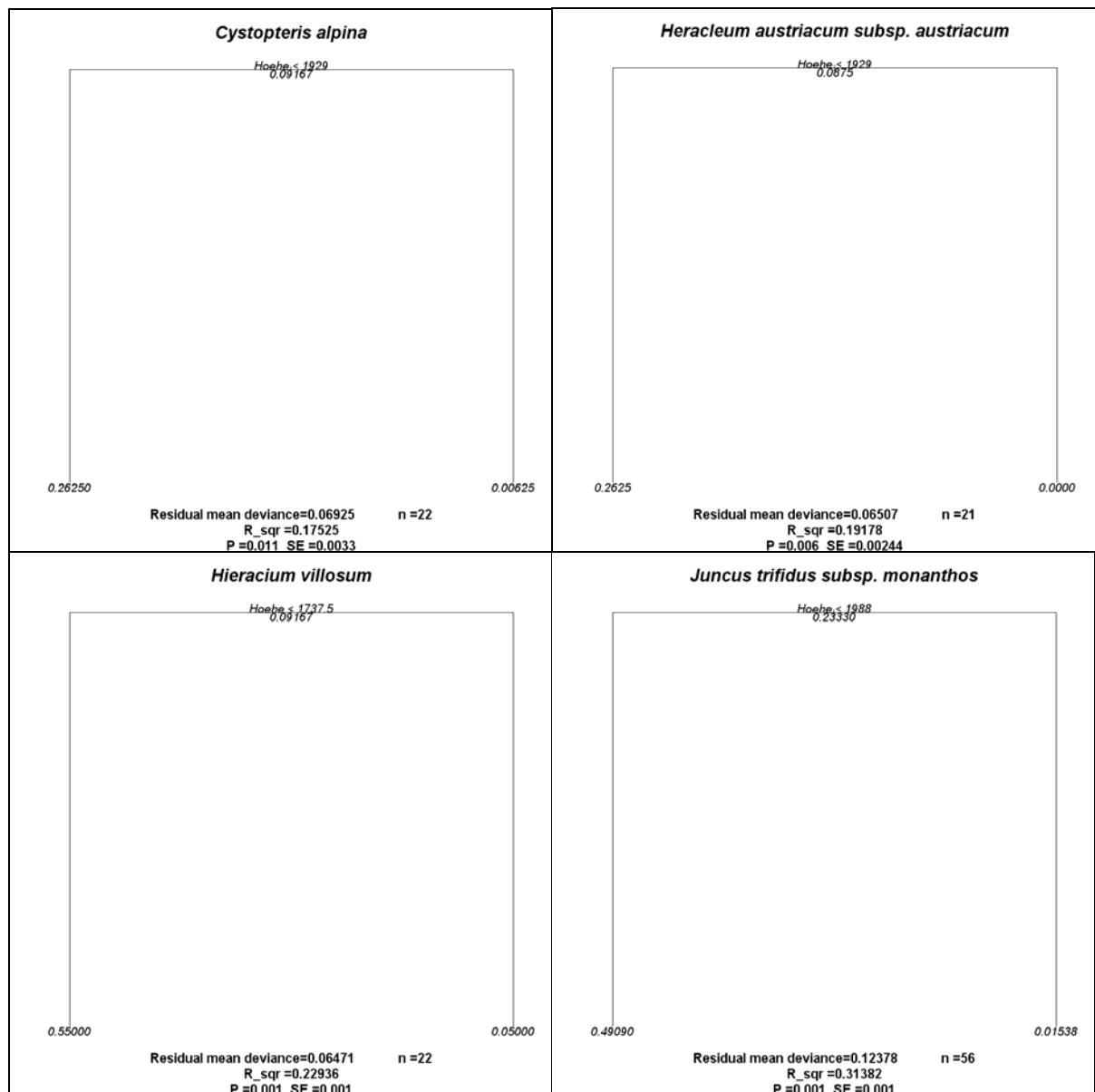


Abb. 39 Regression Trees für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Vorkommensgrenze.

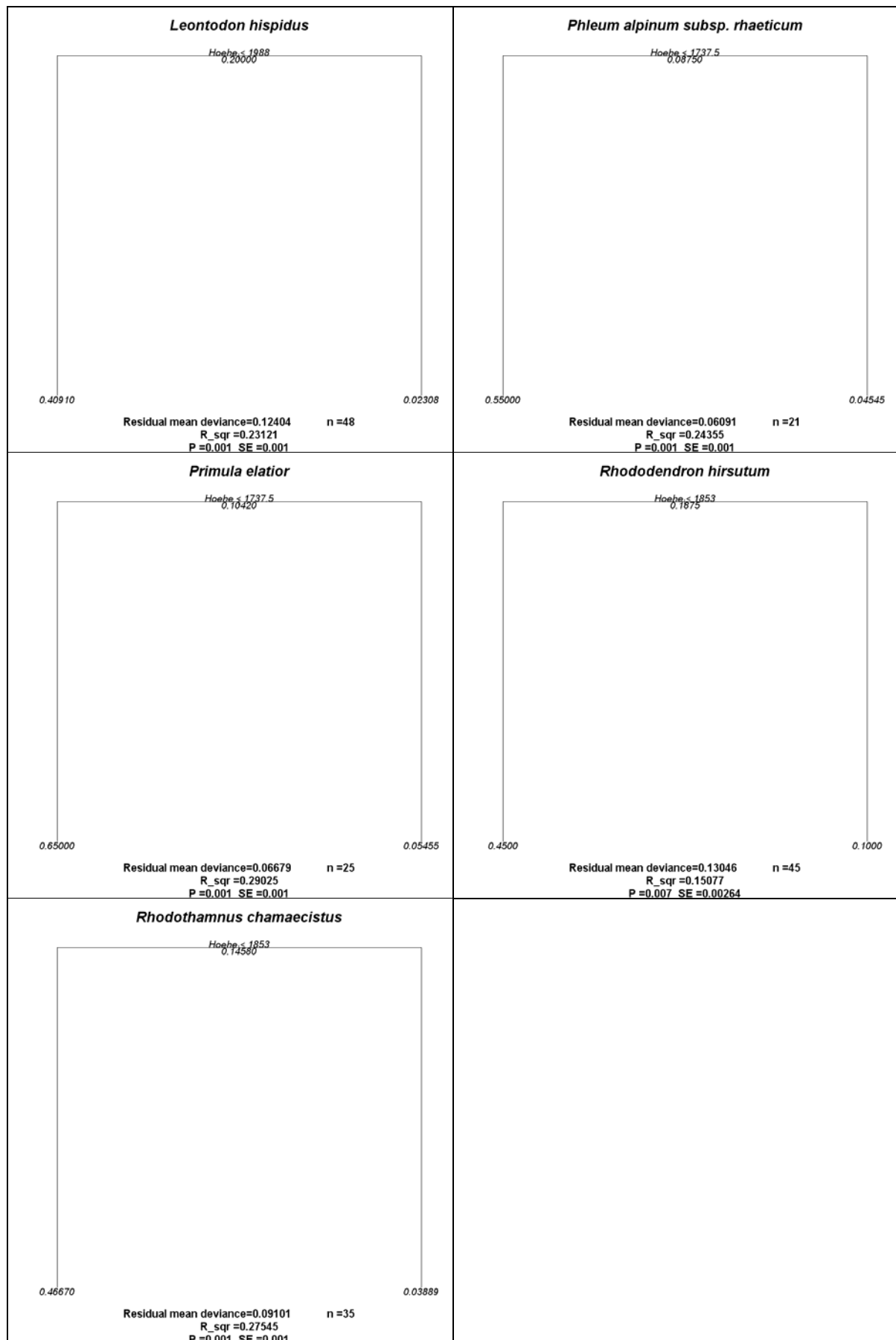


Abb. 40 Regression Trees für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Vorkommensgrenze.

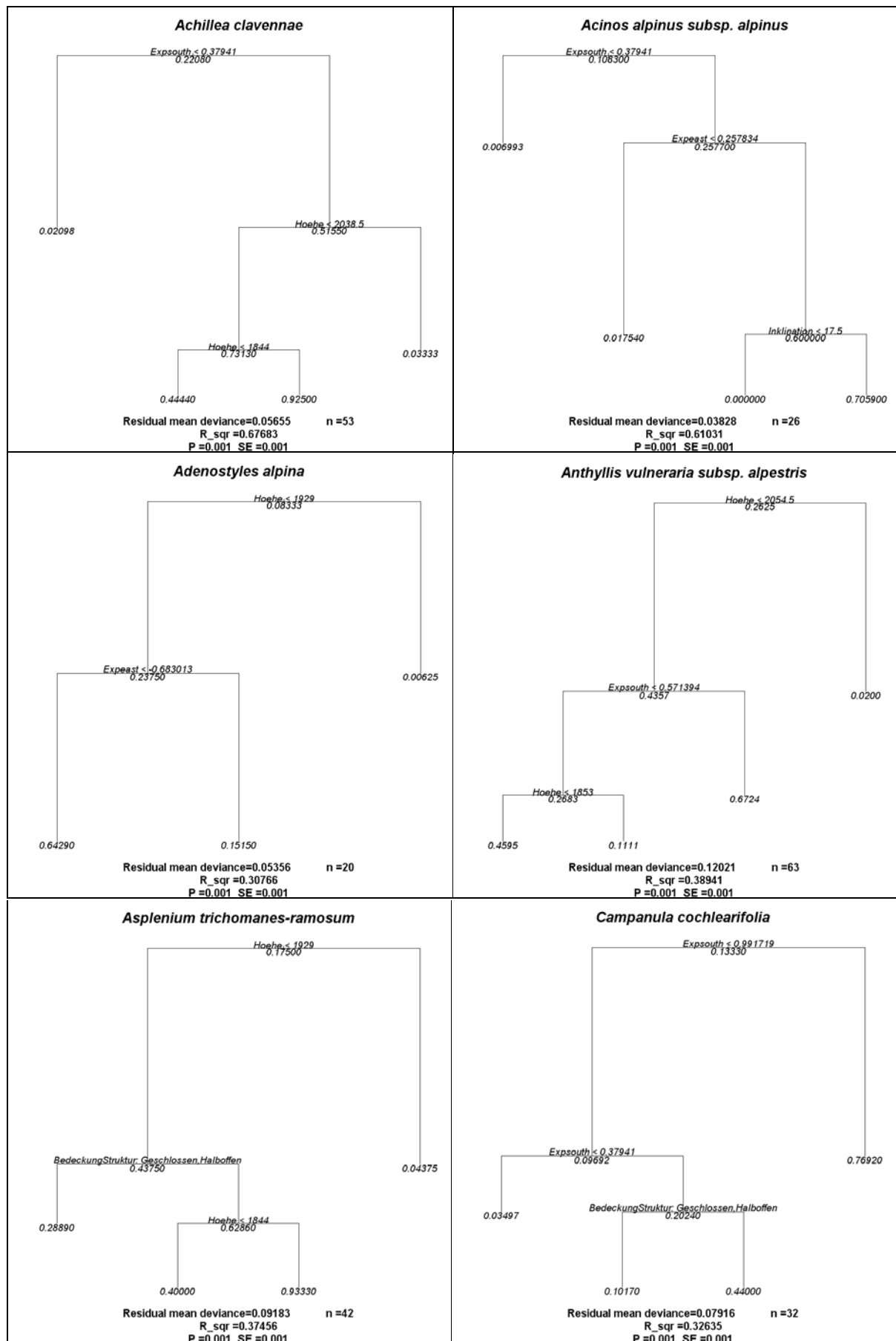


Abb. 41 Regression Trees für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Vorkommensgrenze.

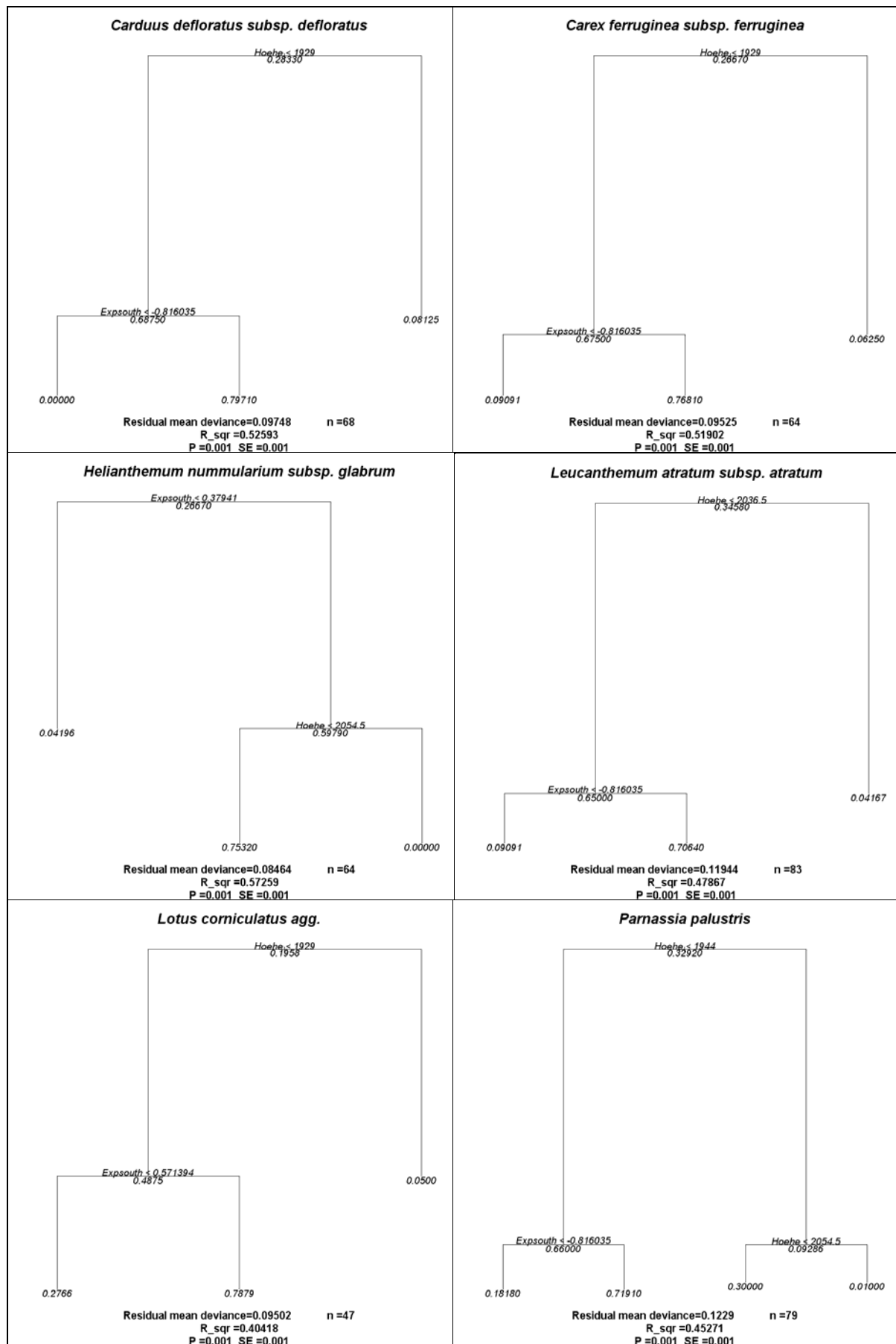


Abb. 42 Regression Trees für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Vorkommensgrenze.

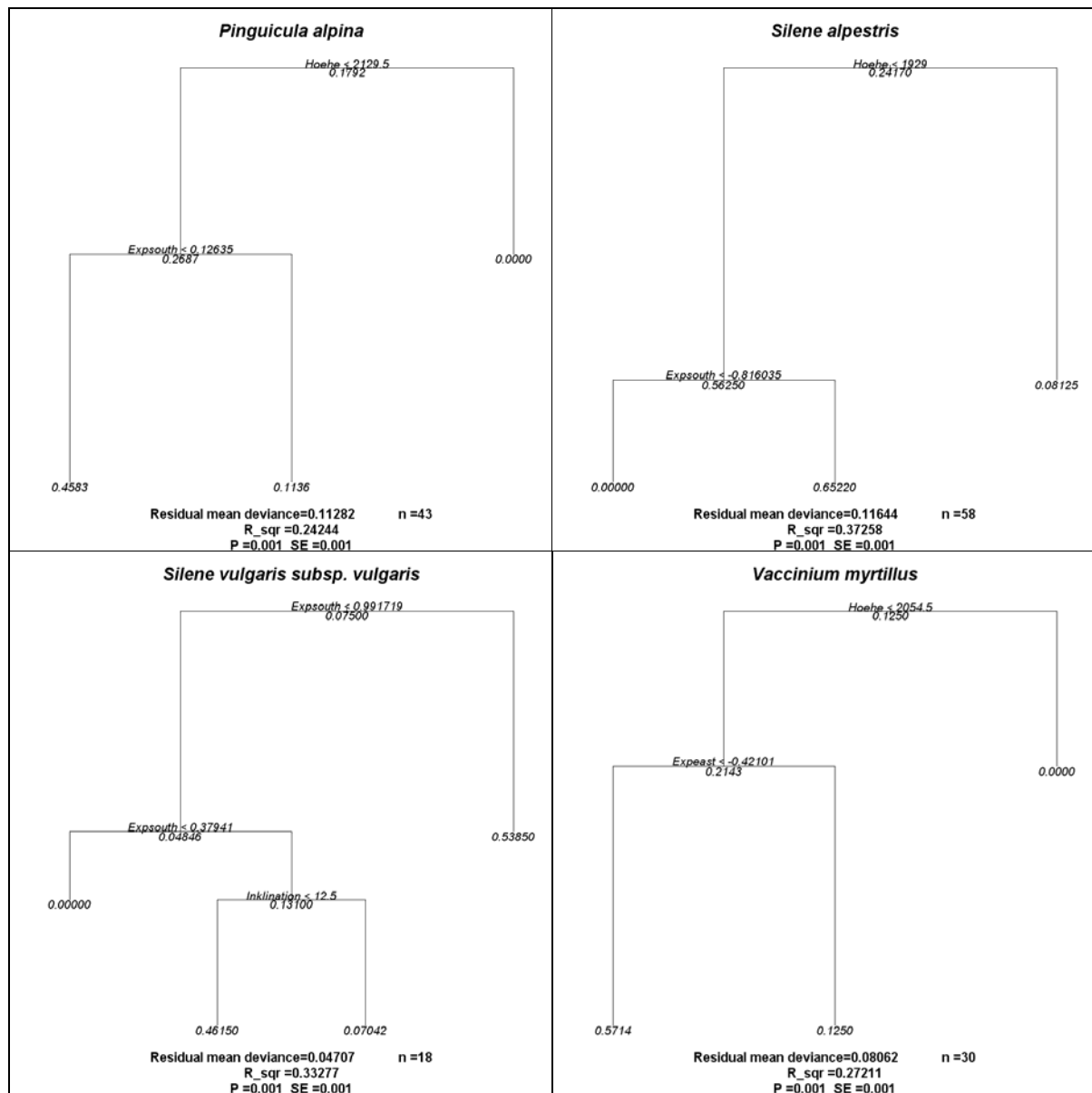


Abb. 43 Regression Trees für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Vorkommensgrenze.

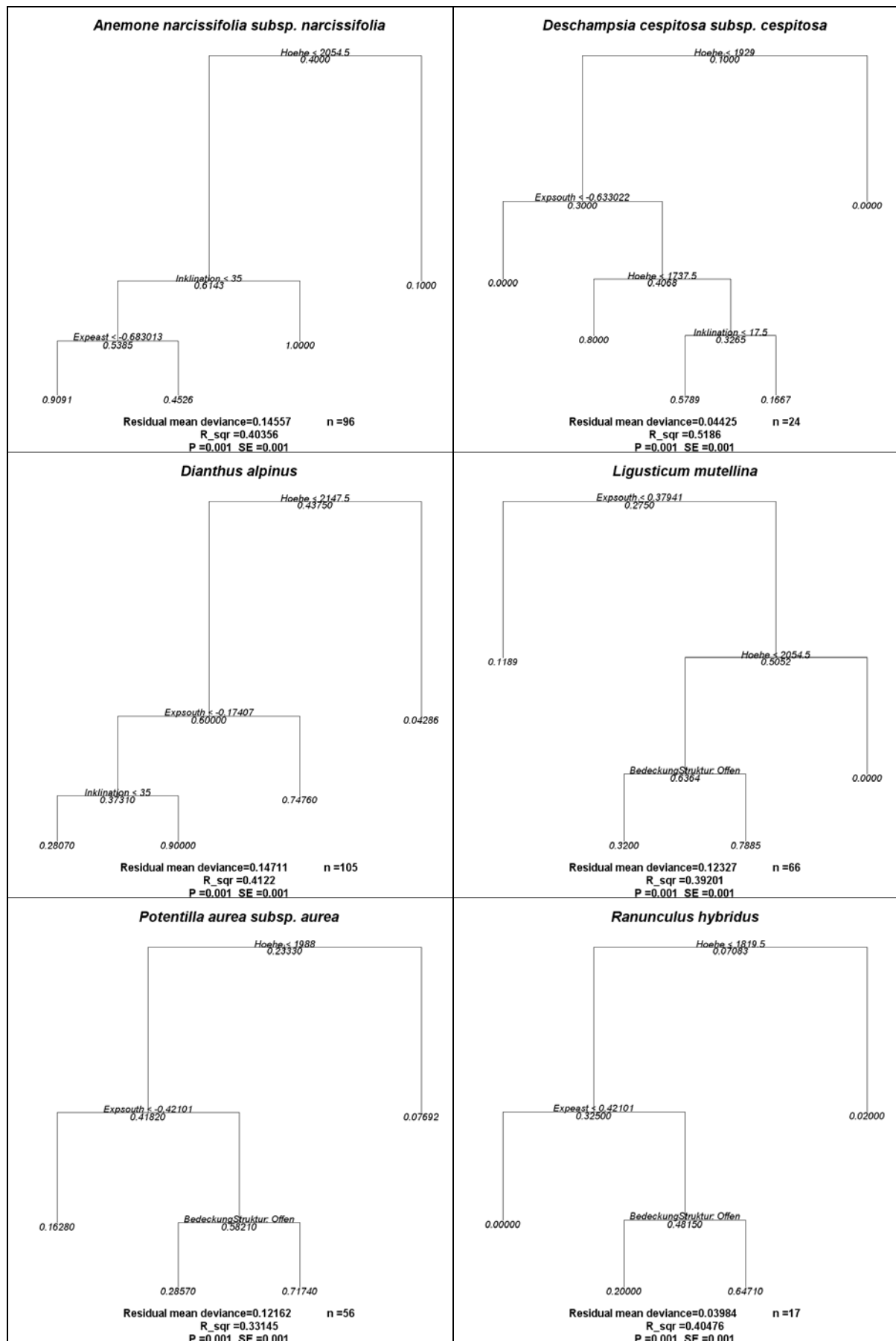


Abb. 44 Regression Trees für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Vorkommensgrenze.

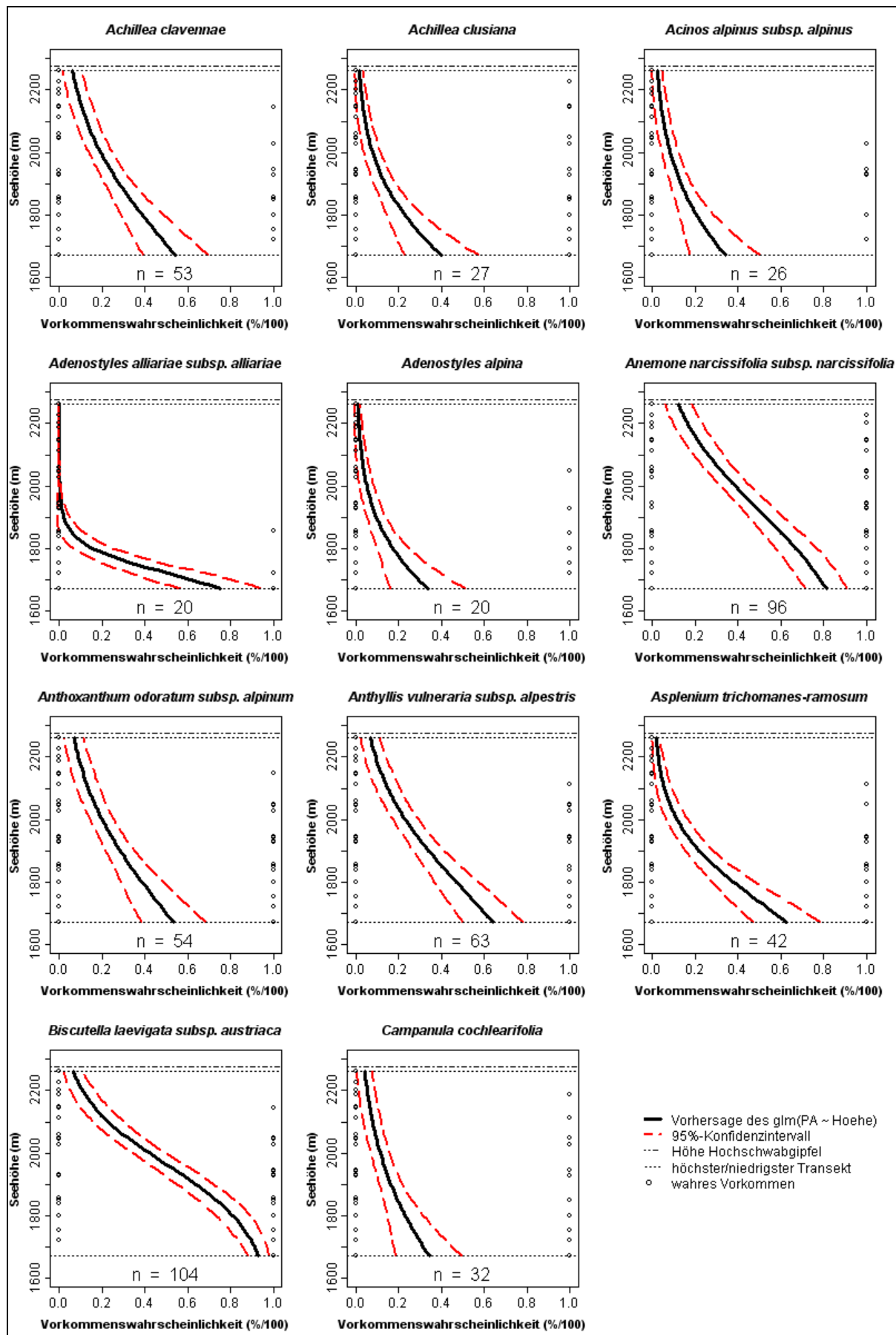


Abb. 45 Ergebnisse der GLMs für Arten mit Hauptvorkommen in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.

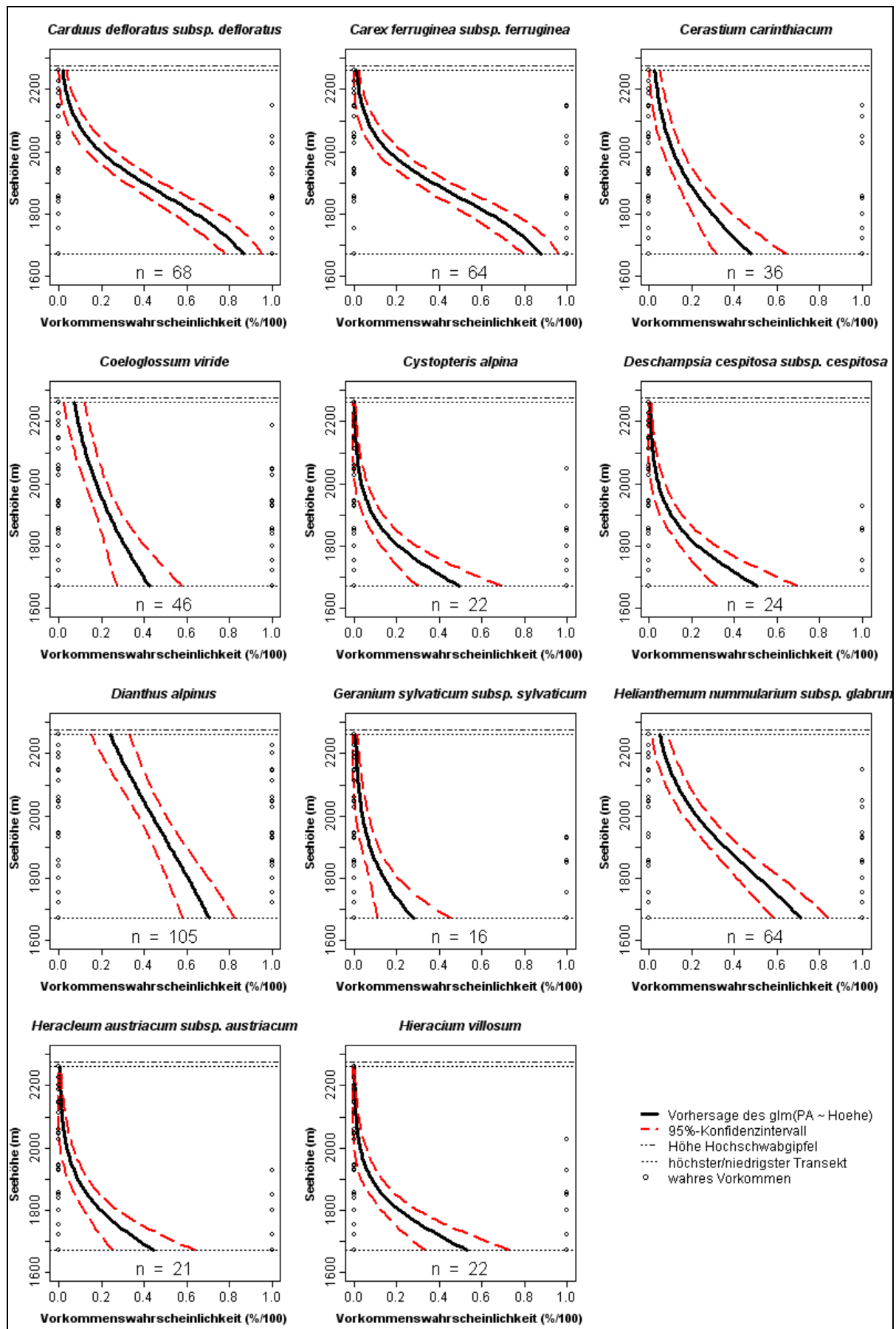


Abb. 46 Ergebnisse der GLMs für Arten mit Hauptvorkommen in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.

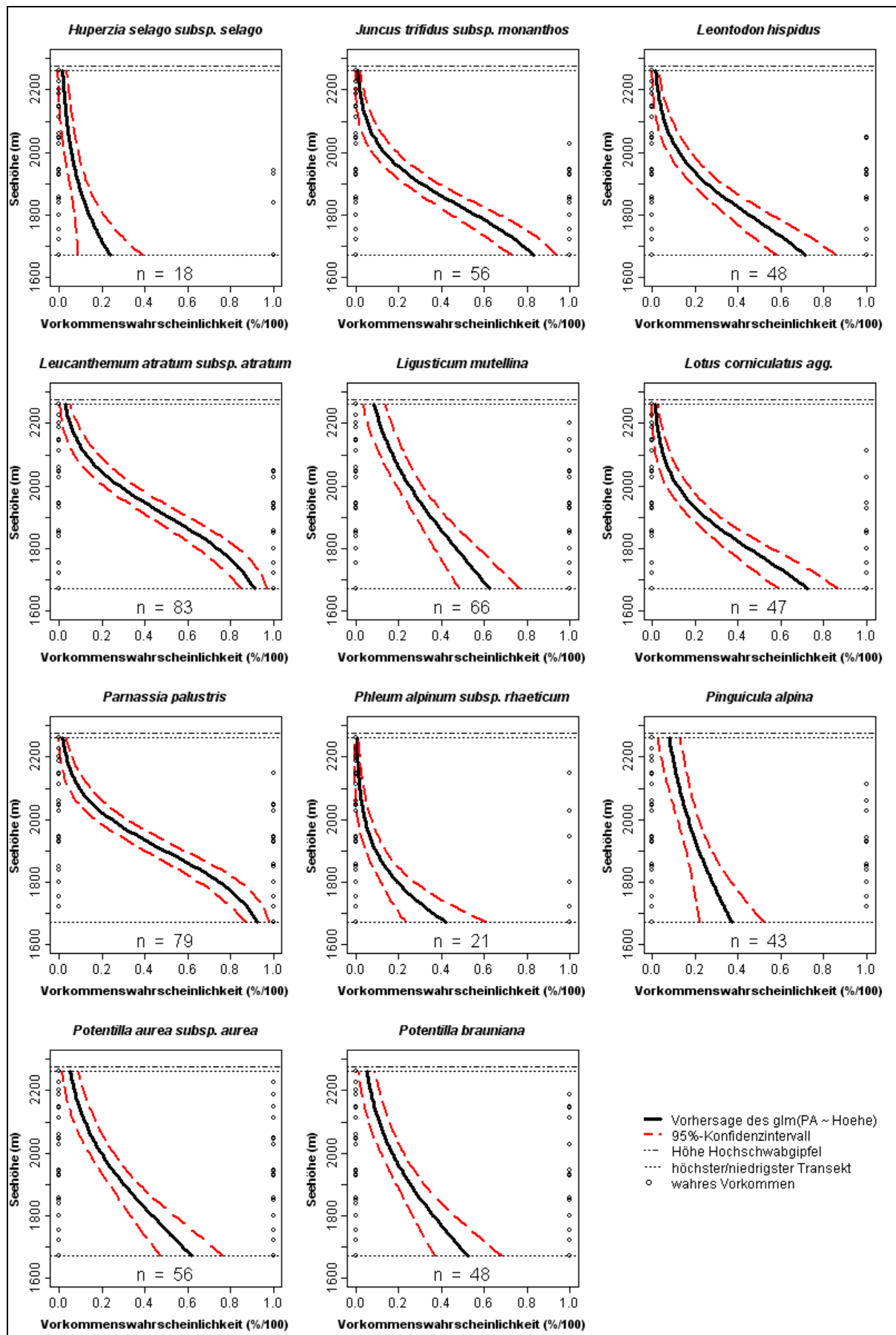


Abb. 47 Ergebnisse der GLMs für Arten mit Hauptvorkommen in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.

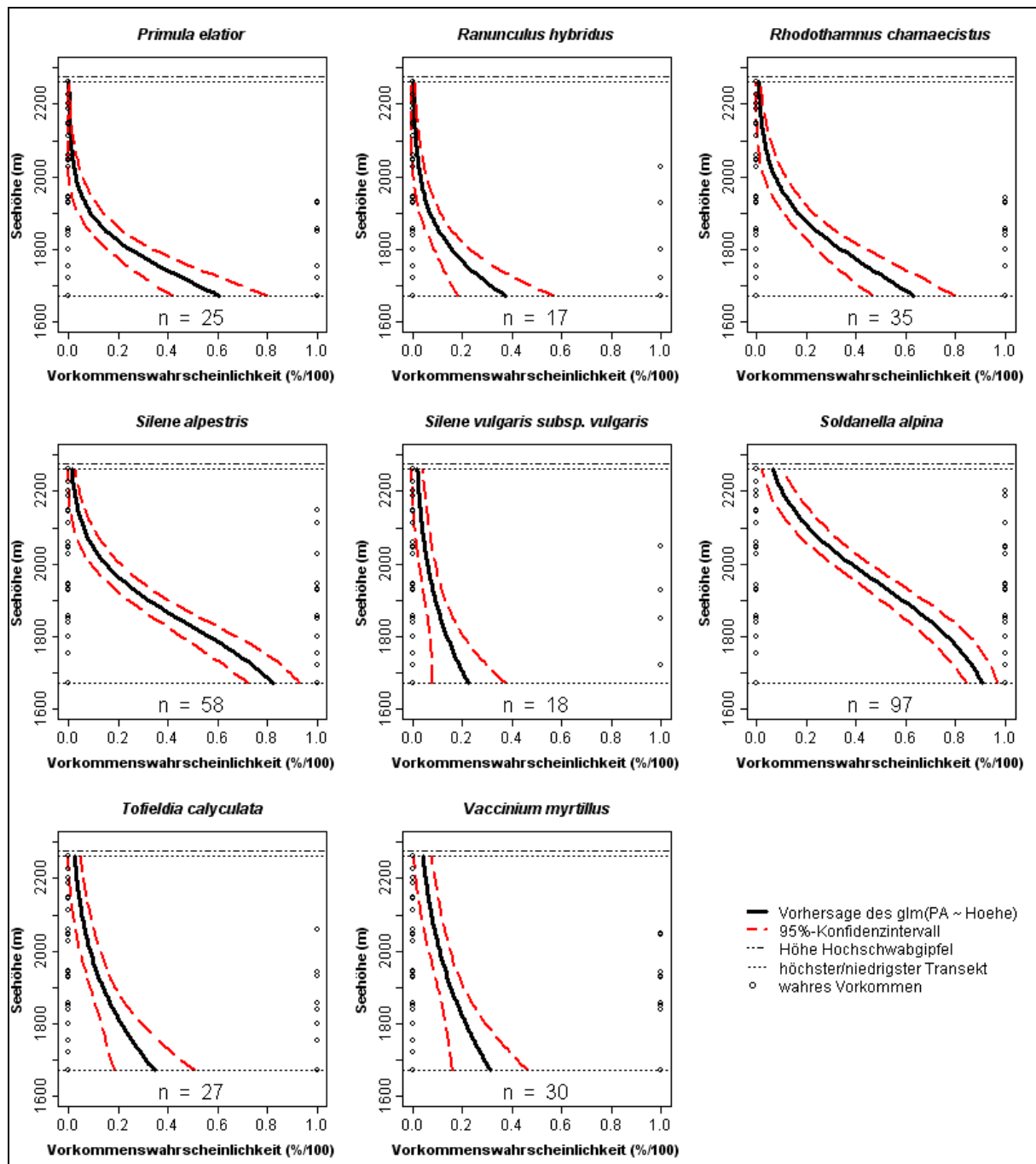


Abb. 48 Ergebnisse der GLMs für Arten mit Hauptvorkommen in subalpinen Bereichen und einer deutlichen oberen Verbreitungsgrenze.

Gruppe C

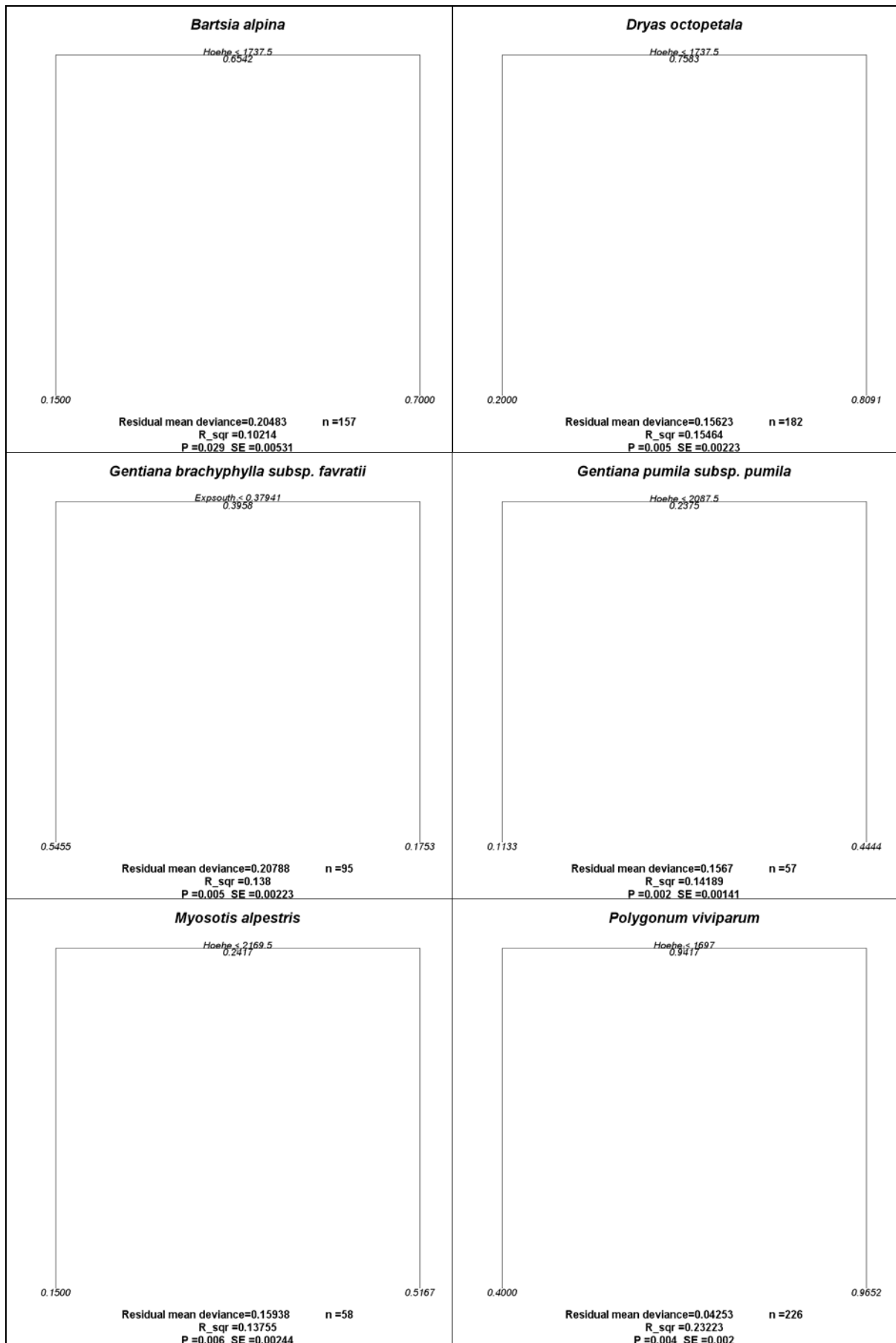


Abb. 49 Regression Trees von Arten mit alpinen Verbreitungsschwerpunkt.

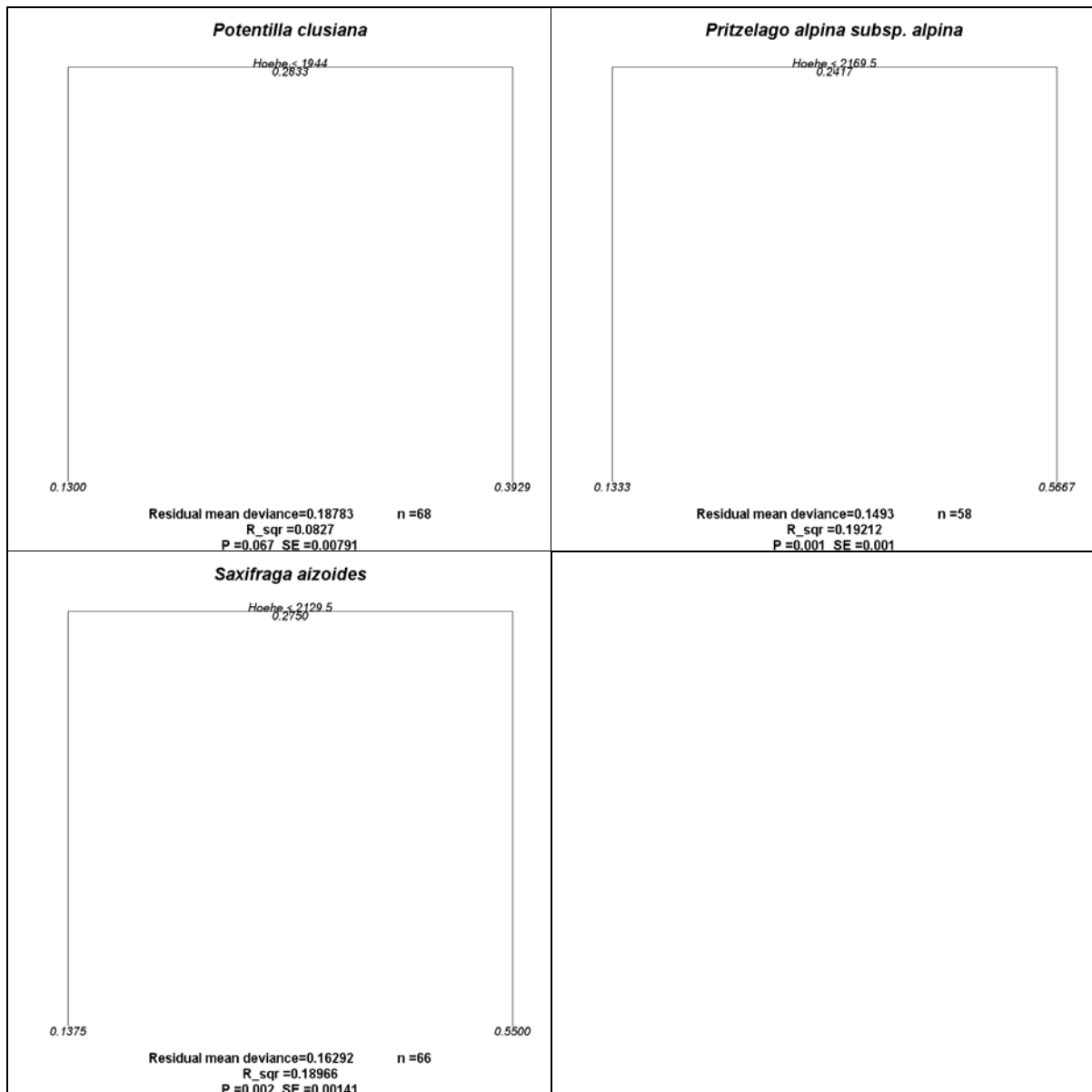


Abb. 50 Regression Trees von Arten mit alpinen Verbreitungsschwerpunkt.

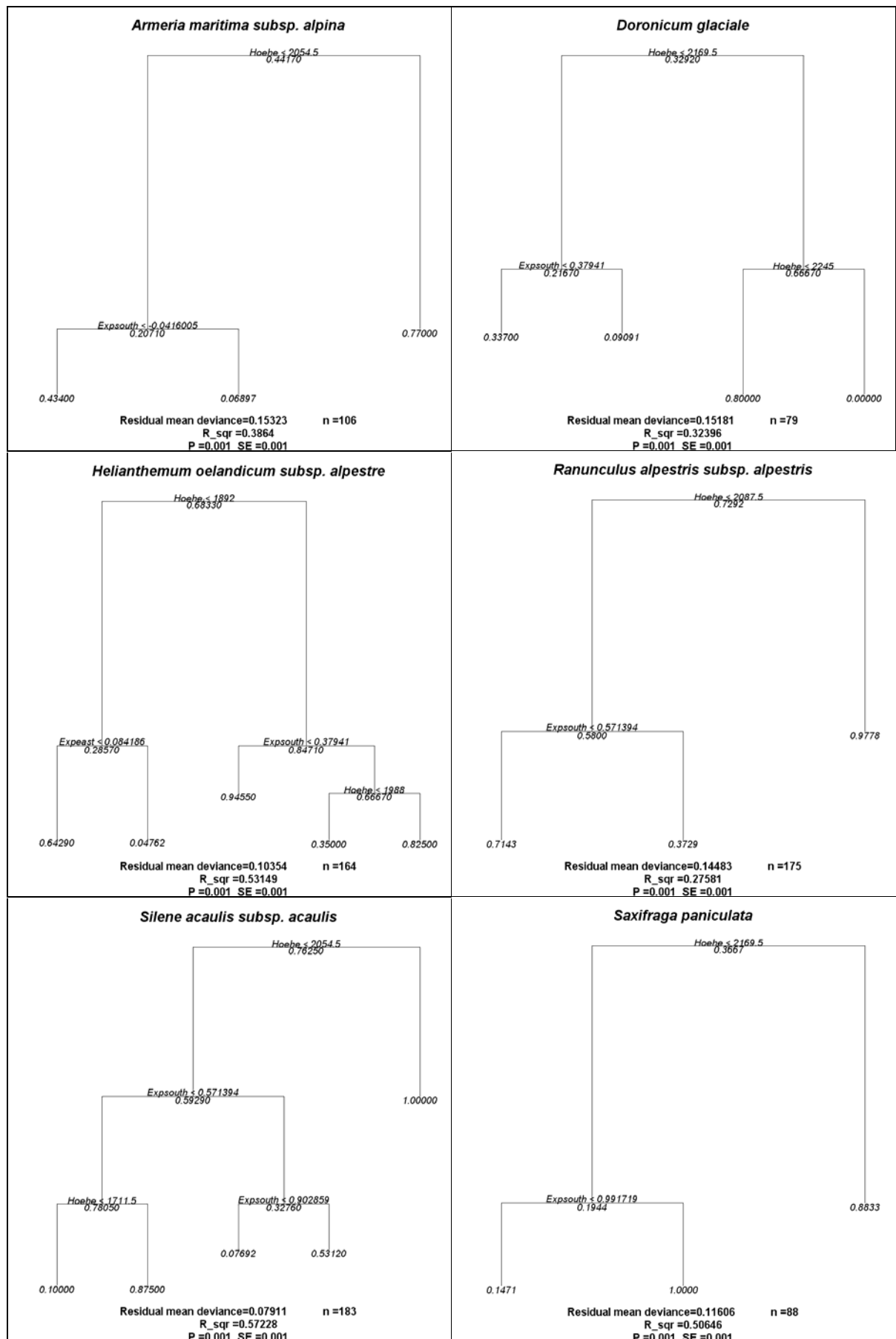


Abb. 51 Regression Trees von Arten mit alpinen Verbreitungsschwerpunkt.

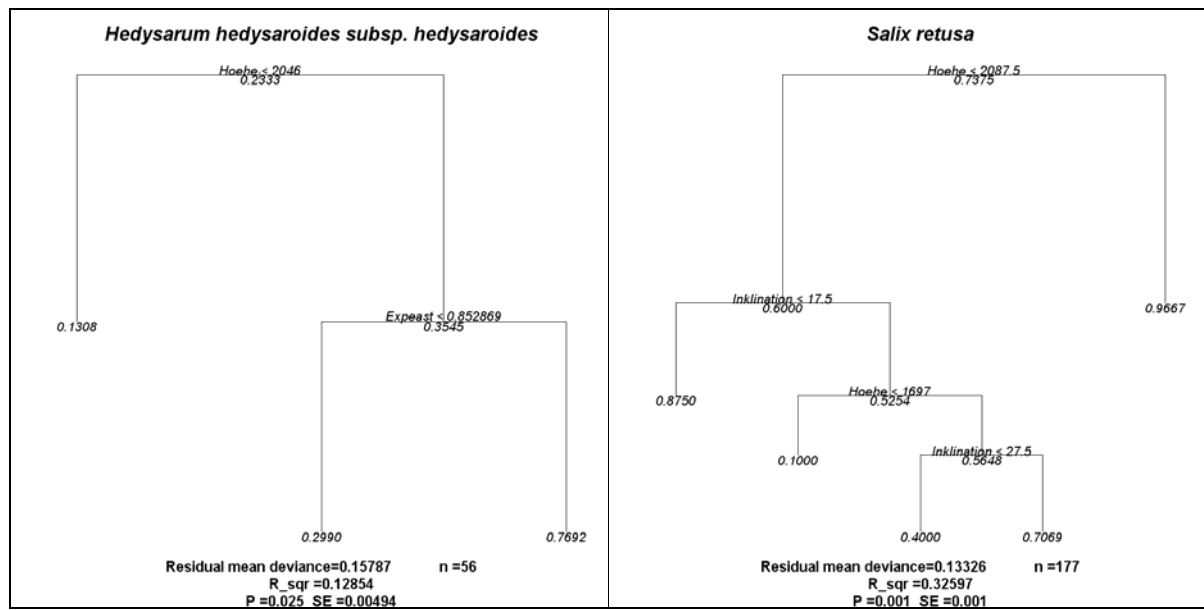


Abb. 52 Regression Trees von Arten mit alpinen Verbreitungsschwerpunkt.

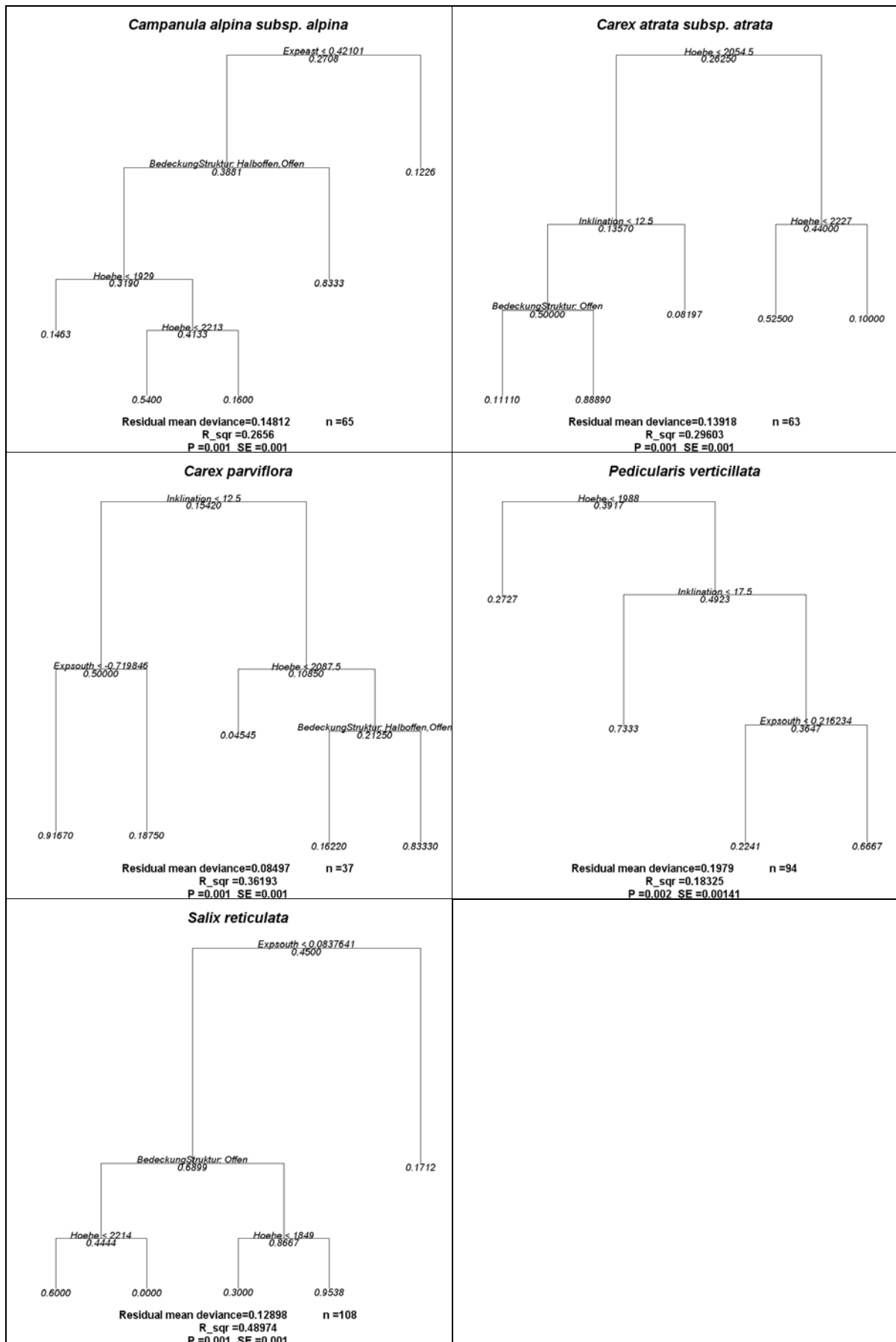


Abb. 53 Regression Trees von Arten mit alpinen Verbreitungsschwerpunkt

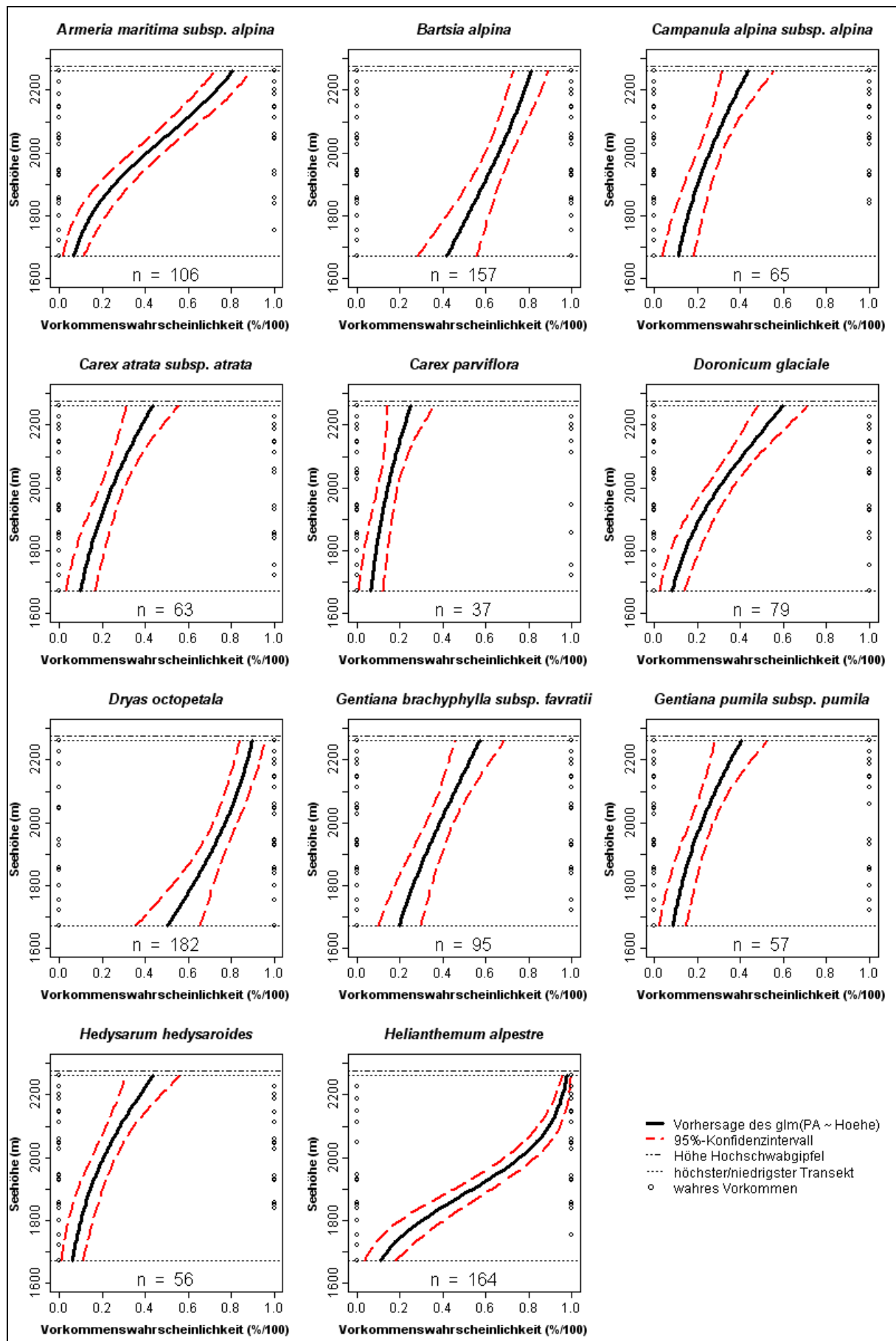


Abb. 54 GLMs der Arten mit alpinem Hauptvorkommen.

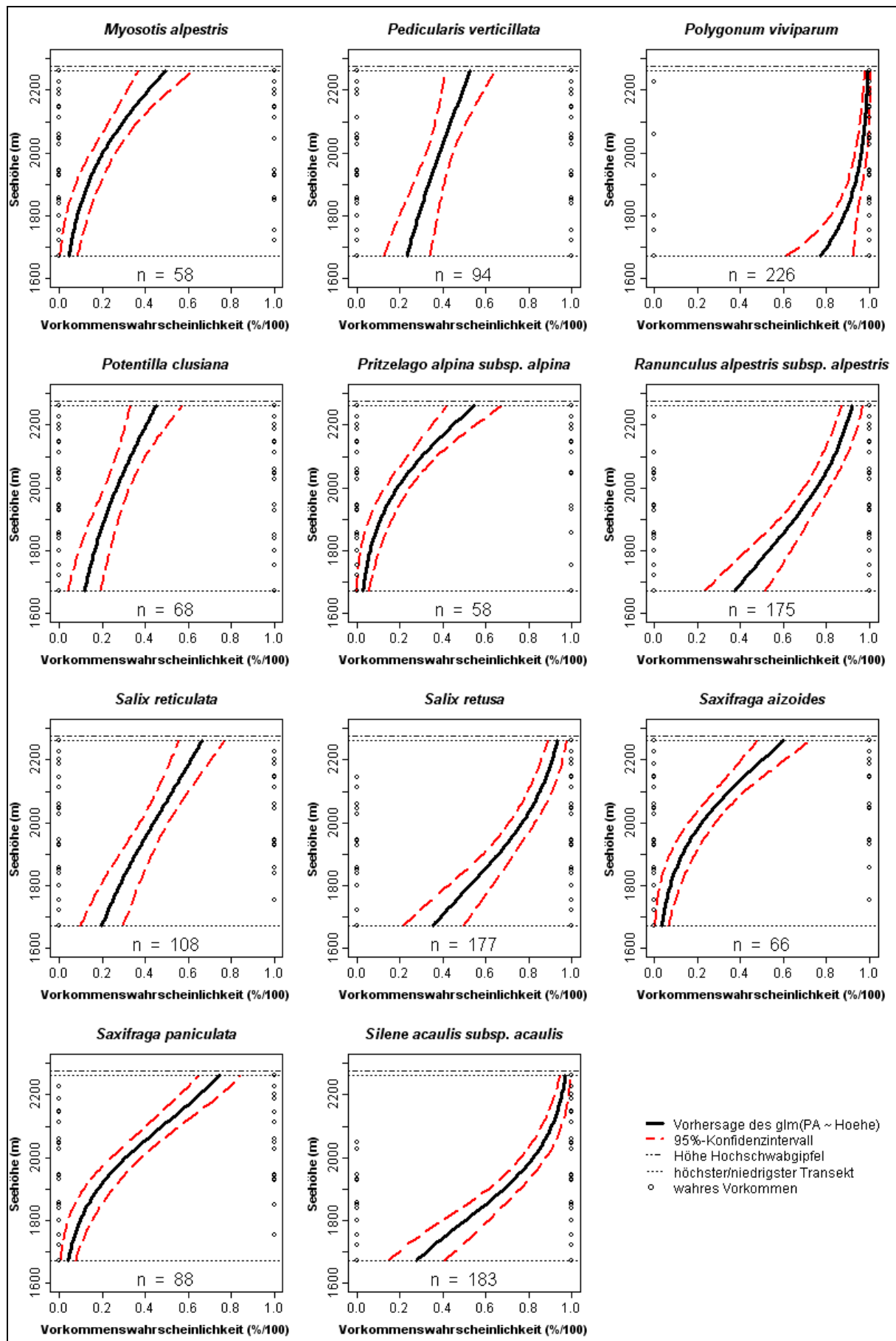


Abb. 55 GLMs der Arten mit alpinem Hauptvorkommen.

Gruppe D

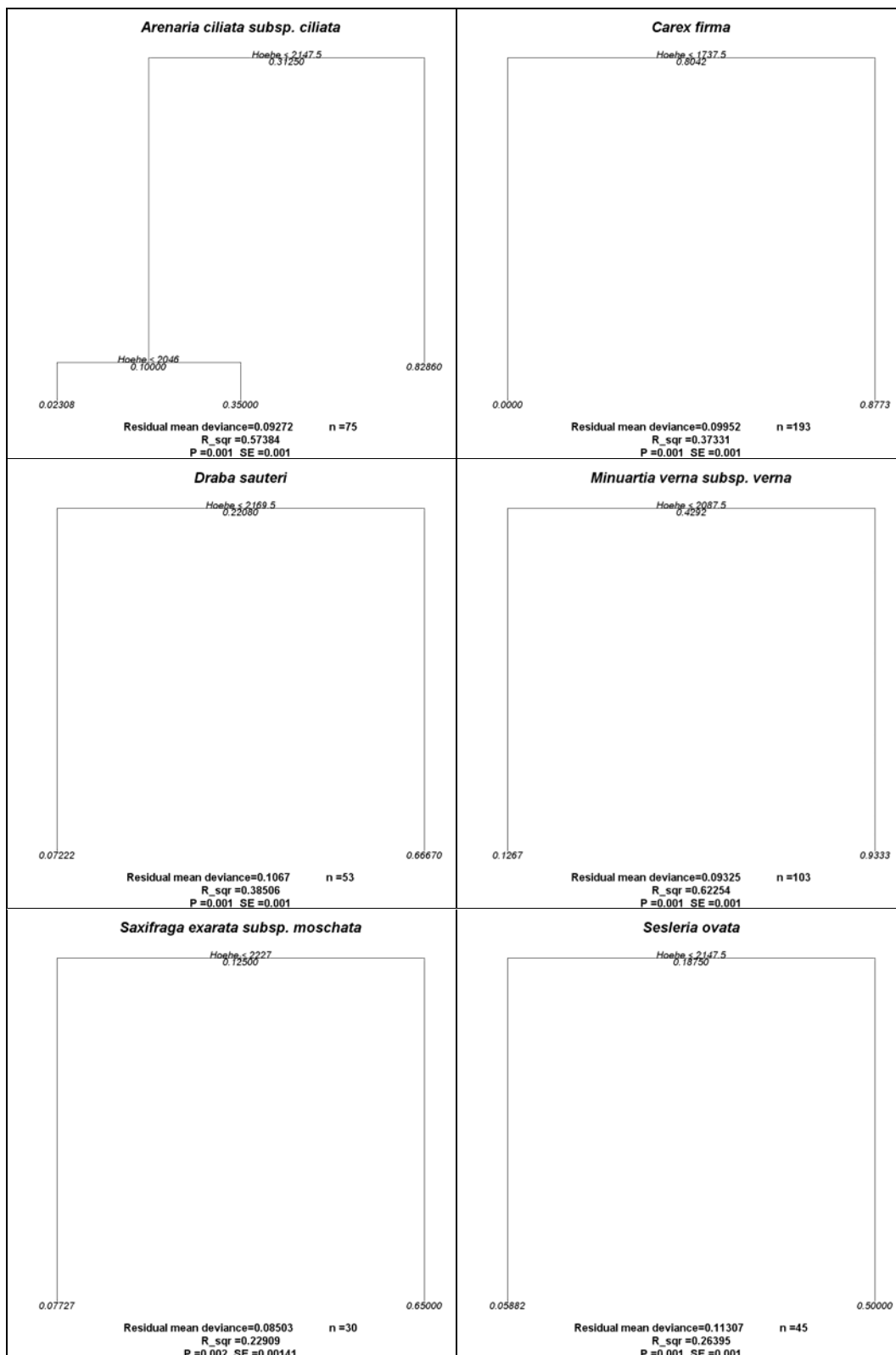


Abb. 56. Regression Trees jener Arten, mit Hauptvorkommen in alpinen Bereichen und einer deutlichen unteren Verbreitungsgrenze.

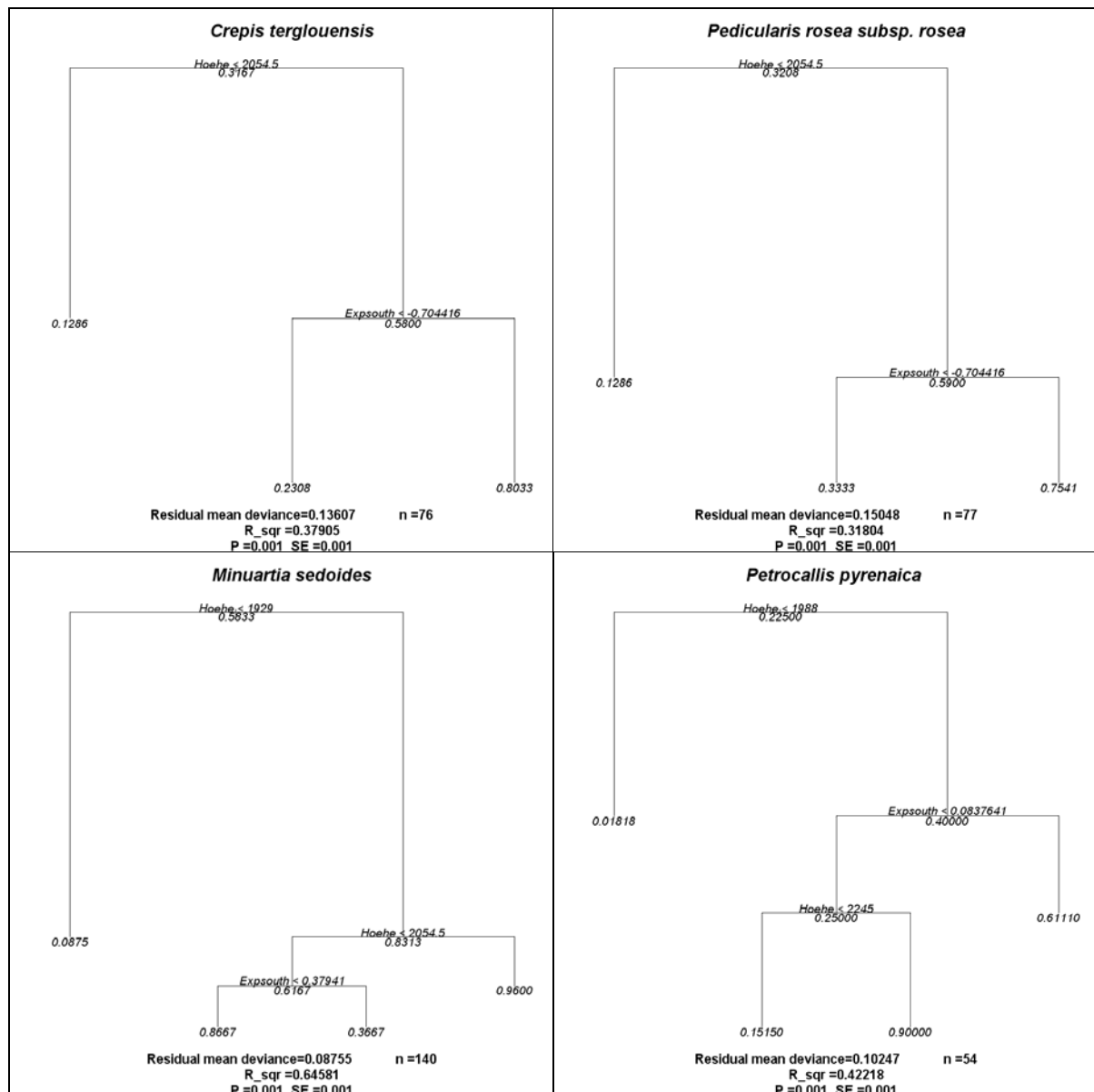


Abb. 57. Regression Trees jener Arten, mit Hauptvorkommen in alpinen Bereichen und einer deutlichen unteren Verbreitungsgrenze.

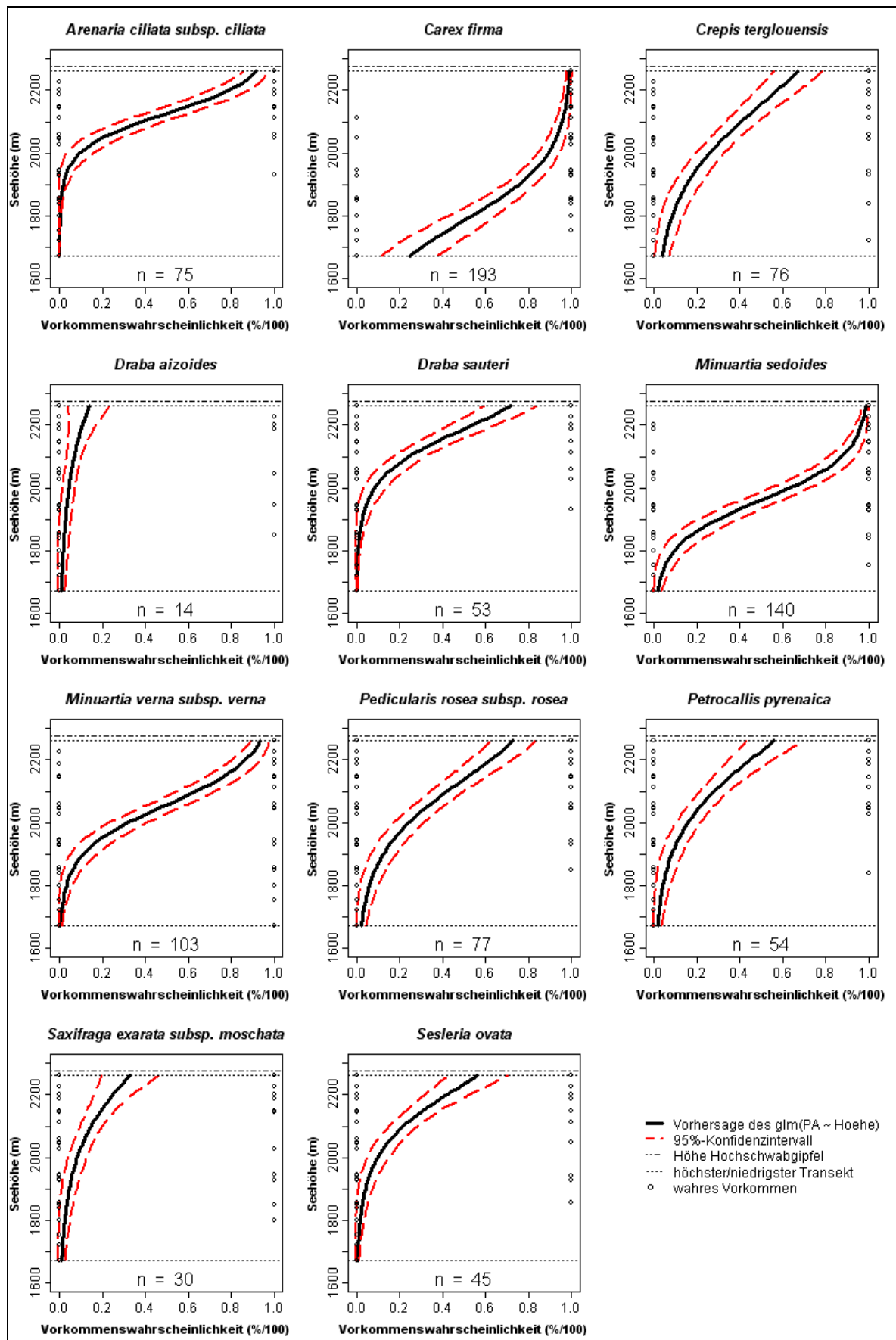


Abb. 58 GLMs der Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in alpinen Bereichen und deutlicher Vorkommensgrenze.

Tab. 10 Zusammenfassung der GLMs für Arten der Gruppe A bis Gruppe D.

FULLNAME	df.res	Estimate	Std.Error	z_val	Pr_z
Adenostyles alliariae subsp. alliariae	238	-0.02	0.00	-4.84	1.30E-06
Agrostis alpina	238	-0.01	0.00	-7.17	7.32E-13
Anthoxanthum odoratum subsp. alpinum	238	0.00	0.00	-4.68	2.87E-06
Anthyllis vulneraria subsp. alpestris	238	-0.01	0.00	-5.49	3.95E-08
Arenaria ciliata subsp. ciliata	238	0.02	0.00	7.42	1.14E-13
Armeria maritima subsp. alpina	238	0.01	0.00	6.89	5.76E-12
Asplenium trichomanes-ramosum	238	-0.01	0.00	-5.84	5.18E-09
Aster bellidiastrum	238	-0.01	0.00	-7.88	3.39E-15
Bartsia alpina	238	0.00	0.00	3.68	0.000237195
Biscutella laevigata subsp. austriaca	238	-0.01	0.00	-7.86	3.84E-15
Campanula alpina subsp. alpina	238	0.00	0.00	3.36	0.000783736
Campanula pulla	238	-0.01	0.00	-6.23	4.63E-10
Campanula scheuchzeri	238	-0.01	0.00	-7.19	6.26E-13
Carex atrata subsp. atrata	238	0.00	0.00	3.49	0.000481334
Carex ferruginea subsp. ferruginea	238	-0.01	0.00	-7.39	1.45E-13
Carex firma	238	0.01	0.00	6.56	5.49E-11
Carex parviflora	238	0.00	0.00	2.36	0.018053378
Carex sempervirens	238	-0.01	0.00	-7.74	9.85E-15
Coeloglossum viride	238	0.00	0.00	-3.78	0.000157255
Crepis terglouensis	238	0.01	0.00	6.15	7.61E-10
Deschampsia cespitosa subsp. cespitosa	238	-0.01	0.00	-4.97	6.63E-07
Dianthus alpinus	238	0.00	0.00	-4.23	2.33E-05
Doronicum glaciale	238	0.00	0.00	5.01	5.50E-07
Draba aizoides	238	0.00	0.00	2.34	0.019476687
Draba sauteri	238	0.01	0.00	6.32	2.55E-10
Dryas octopetala	238	0.00	0.00	3.98	6.98E-05
Euphrasia minima subsp. minima	238	0.00	0.00	-2.92	0.003545
Euphrasia salisburgensis	238	0.00	0.00	-3.32	0.000908
Festuca rupicaprina	238	0.00	0.00	-4.20	2.64E-05
Galium anisophyllum	238	-0.01	0.00	-5.94	2.84E-09
Gentiana brachyphylla subsp. favratii	238	0.00	0.00	3.51	0.000449131
Gentiana clusii	238	0.00	0.00	-2.33	0.019914
Gentiana pumila subsp. pumila	238	0.00	0.00	3.43	0.000606422
Gentianella germanica	238	0.00	0.00	-5.20	1.99E-07
Hedysarum hedysaroides	238	0.00	0.00	4.04	5.31E-05
Helianthemum alpestre	238	0.01	0.00	7.64	2.10E-14
Heracleum austriacum subsp. austriacum	238	-0.01	0.00	-4.63	3.62E-06
Hieracium villosum	238	-0.01	0.00	-4.94	7.78E-07
Homogyne discolor	238	-0.01	0.00	-6.78	1.20E-11
Juncus trifidus subsp. monanthos	238	-0.01	0.00	-7.05	1.83E-12
Leontodon hispidus	238	-0.01	0.00	-6.40	1.54E-10
Leucanthemum atratum subsp. atratum	238	-0.01	0.00	-7.82	5.38E-15
Lotus corniculatus agg.	238	-0.01	0.00	-6.43	1.25E-10
Minuartia sedoides	238	0.01	0.00	8.33	8.31E-17
Minuartia verna subsp. verna	238	0.01	0.00	8.29	1.10E-16
Myosotis alpestris	238	0.01	0.00	4.70	2.55E-06
Parnassia palustris	238	-0.01	0.00	-7.87	3.62E-15
Pedicularis rosea subsp. rosea	238	0.01	0.00	6.76	1.37E-11
Pedicularis verticillata	238	0.00	0.00	2.77	0.005591233

<i>Petrocallis pyrenaica</i>	238	0.01	0.00	5.57	2.60E-08
<i>Phleum alpinum</i> subsp. <i>rhaeticum</i>	238	-0.01	0.00	-4.53	5.87E-06
<i>Phyteuma orbiculare</i>	238	0.00	0.00	-3.34	0.00083
<i>Pinguicula alpina</i>	238	0.00	0.00	-3.26	0.001128538
<i>Polygonum viviparum</i>	238	0.01	0.00	3.23	0.00124885
<i>Potentilla clusiana</i>	238	0.00	0.00	3.40	0.000669498
<i>Primula clusiana</i>	238	0.00	0.00	-2.75	0.005994
<i>Primula elatior</i>	238	-0.01	0.00	-5.28	1.31E-07
<i>Pritzelago alpina</i> subsp. <i>alpina</i>	238	0.01	0.00	5.32	1.02E-07
<i>Ranunculus alpestris</i> subsp. <i>alpestris</i>	238	0.00	0.00	5.24	1.57E-07
<i>Ranunculus montanus</i>	238	-0.01	0.00	-6.70	2.09E-11
<i>Rhodothamnus chamaecistus</i>	238	-0.01	0.00	-5.79	6.92E-09
<i>Salix reticulata</i>	238	0.00	0.00	4.29	1.83E-05
<i>Salix retusa</i>	238	0.01	0.00	5.54	3.00E-08
<i>Saxifraga aizoides</i>	238	0.01	0.00	5.66	1.54E-08
<i>Saxifraga exarata</i> subsp. <i>moschata</i>	238	0.01	0.00	3.99	6.63E-05
<i>Saxifraga paniculata</i>	238	0.01	0.00	6.67	2.51E-11
<i>Scabiosa lucida</i>	238	-0.01	0.00	-7.69	1.51E-14
<i>Sedum atratum</i>	238	0.00	0.00	-3.47	0.000521
<i>Selaginella selaginoides</i>	238	-0.01	0.00	-5.76	8.37E-09
<i>Sesleria ovata</i>	238	0.01	0.00	5.58	2.46E-08
<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>acaulis</i>	238	0.01	0.00	6.42	1.34E-10
<i>Silene alpestris</i>	238	-0.01	0.00	-7.07	1.52E-12
<i>Silene pusilla</i>	238	0.00	0.00	-2.80	0.005096
<i>Thlaspi alpinum</i> subsp. <i>alpinum</i>	238	-0.01	0.00	-7.72	1.18E-14
<i>Vaccinium myrtillus</i>	238	0.00	0.00	-3.33	0.000860044
<i>Viola biflora</i>	238	-0.01	0.00	-7.32	2.53E-13

Verwendete R-skripts

Tree models

```
##### Regression Tree Loop
library(tree)
setwd("S://Steinbauer Klaus//Diplomarbeit//Rspace//") ### vorsicht wo die trees
hingespielt werden
data.complete.all <- read.table(file.choose(),sep=';',header=T)
data.all <- data.complete.all

### als schleife
my.speclist <- unique(data.complete.all[,c('FULLNAME','SPEC')])
my.speclist <- my.speclist[order(my.speclist$SPEC),]
stat.dat.complete <- matrix(NA,228,6)
i <- 906
m <- 1
for(i in my.speclist$SPEC){

  fullname <- subset(my.speclist,SPEC==i,select=FULLNAME)
  GENUSPEC <- data.complete.all[data.complete.all$SPEC==i,]
  GENUSPEC.tr <-
tree(PA>0~Hoehe+BedeckungStruktur+Expsouth+Expeast+Inklination,
data=GENUSPEC )

  N <- GENUSPEC.tr$frame$yval[1]*240
  png(paste('graphs//Trees_herbst2010//trees_unpruned_900x900//',i,'_',
substring(fullname$FULLNAME,1,20), '.png', sep=""),width = 900, height = 900)
  par(family="sans",font.main=4,font.sub=2,cex.main=2,cex=1.2,cex.sub=1.9)
  plot(GENUSPEC.tr); text(GENUSPEC.tr,splits=T,label=("'yval'"),all=T,pretty=20,
    digits = getOption("digits") -3,adj = par("adj"), xpd = TRUE, font = 3,cex = 1.3)
  my.dev<- summary(GENUSPEC.tr)$dev
  my.df<-summary(GENUSPEC.tr)$df
  RSS <- my.dev/my.df
  NULLDEV <- deviance(GENUSPEC.tr,detail=TRUE)
  NULLDEV <- NULLDEV[1]
  R2 <- (NULLDEV-deviance(GENUSPEC.tr))/NULLDEV
  title(paste(fullname$FULLNAME),sub=paste("Residual mean
deviance",' ',round(RSS, 5),' ' ' ', 'n =',N, '\n','R2 =',
round(R2,5), sep=""))

  graphics.off()

#} ##### end wenn Arten ohne pruning rausgespielt werden

if(summary(GENUSPEC.tr)$dev < 5){next} # bei zu kleinen trees kommt eine
Fehlermeldung in der CV...
# deshalb werden alle trees mit nulldev < 5 nicht rausgespielt
```

```

## Pruning
pruned.tree <- prune.tree(GENUSPEC.tr)
#plot(pruned.tree)
Size <- NULL
gtotal <- NULL

## 10 fold Cross Validation wird 50 mal durchgeführt
for(l in 1:50)
{
  Tr <- cv.tree(GENUSPEC.tr,FUN=prune.tree)
  #plot(Tr)
  g <- cbind(Tr$dev, Tr$size)
  gtotal <- cbind(gtotal,g)
  g <- data.frame(g)
  g1 <- g[order(g$X1),]
  Size <- c(Size,g1[1,2])
}

Avg.Size <- floor(min(Size)) ### mittlere treesize der 50 CV's

GENUSPEC.pr <- prune.tree(GENUSPEC.tr, best=Avg.Size)
if(class(GENUSPEC.pr)=="singlenode"){next} ## zur Sicherheit falls ein singlenode
Tree durchkommt
GENUSPEC.rdtree <-
Tree.Random(PA~Hoehe+Inklination+Expsouth+Expeast+BedeckungStruktur,
GENUSPEC,Ypos=7,lbest=Avg.Size,1000)

# Rausspielen der Pruning ergebnisse
png(paste('graphs//Trees_herbst2010//trees_pruned_900x900//',i,'prune',
substring(fullname$FULLNAME,1,20), '.png', sep=""),width = 900, height = 900)
#png(paste('graphs//spectrees//', my.speccode, '.png', sep=""))
par(family="sans",font.main=4,font.sub=2,cex.main=2,cex=1.2,cex.sub=1.5)
plot(GENUSPEC.pr); text(GENUSPEC.pr,splits=T,label=("yval"),all=T,pretty=20,
  digits = getOption("digits") -3,adj = par("adj"), xpd = TRUE, font = 3,cex = 1.3)
my.dev<- summary(GENUSPEC.pr)$dev
my.df<-summary(GENUSPEC.pr)$df
RSS <- my.dev/my.df
R² <- (NULLDEV-deviance(GENUSPEC.pr))/NULLDEV
title(paste(fullname$FULLNAME),sub=paste( 'Residual mean
deviance','=',round(RSS, 5),' ' ' ' ' ' ,
' ' ,'\n','=','N','\n',
'R_sqr =', round(R²,5),'\n','P =',GENUSPEC.rdtree$P,' ' ' ' ,SE
=' ,round(GENUSPEC.rdtree$SE,5), sep=""))

```

```

graphics.off()

my.dev_fullmodel <- summary(GENUSPEC.tr)$dev
my.dev<- summary(GENUSPEC.pr)$dev
my.df<-summary(GENUSPEC.pr)$df
RMS<- my.dev/my.df
R_sqr <- (NULLDEV-my.dev)/NULLDEV
R_sqr_fullmod <- (NULLDEV-my.dev_fullmodel)/NULLDEV

## Alle Ergebnisse werden in dieser Matrix gespeichert
stat.dat <-
c(i,RMS,R_sqr,R_sqr_fullmod,GENUSPEC.rdtree$P,round(GENUSPEC.rdtree$SE,5))
stat.dat.complete[m,] <- stat.dat
m <- m+1

# rausspielen der tree informationen
#sink(file=paste('Results//Treeloop//',i,"prune","_",substring(fullname$FULLNAME,1,20
),".txt"),
#   append=TRUE,type= "output",split=TRUE)
#GENUSPEC.pr
#summary(GENUSPEC.pr)
#sink()
# help(sink)
} # end for

#append logical. If TRUE, output will be appended to file; otherwise, it will overwrite the
contents of file.
#type character. Either the output stream or the messages stream.
#split logical: if TRUE, output will be sent to the new sink and to the current output
stream, like the Unix program tee.

stat.dat.all <- stat.dat.complete
stat.dat.complete.v1 <- as.data.frame(stat.dat.complete)
names(stat.dat.complete.v1) <- c('SPEC','RMD','R_sqr','R_sqr_fullmod','P','SE')
stat.dat.new <- stat.dat.complete.v1[1:119,]
stat.dat <- merge(stat.dat.new,my.speclist,all.x=T)

str(stat.dat)

```

```
stat.dat.1 <-  
data.frame(stat.dat$SPEC,stat.dat$FULLNAME,stat.dat$RMD,stat.dat$R_sqr,stat.dat$R_  
sqr_fullmod,stat.dat$P,stat.dat$SE)  
stat.dat.complete.v2 <- stat.dat.1  
names(stat.dat.complete.v2) <-  
c('SPEC','FULLNAME','RMD','R_sqr','R_sqr_fullmod','P','SE')  
write.table(stat.dat.complete.v2,paste('r_output_data//stat.dat.rand1000_bedeckung_v3_9  
00x900.csv',sep=';'),sep=';')
```

Funktion für die Randomisation der Presence/Absence Daten

```
# Function to perform randomization
# including some extras (to avoid errors in pruning of randomised trees) by MG,
20101106
#MG ...Kommentare von Michael Gottfried
Tree.Random <- function(my.formula,my.data,Ypos,Ibest,N.Rand)
{
  # Check that a tree of required size actually exists for the real data
  Random.tree <- tree(my.formula,my.data) #Calculate tree

  #Prune tree

  R1      <- prune.tree(Random.tree,best=Ibest)
  (R1.summary <- summary(R1))          # Summary data
  if(R1.summary$size!=Ibest) stop("A tree of this size cannot be fitted to data")

  # Matrix to store deviances
  Deviances <- matrix(0,N.Rand)

  # Matrix to store actual sizes used
  Sizes <- matrix(0,N.Rand)
  my.nrows <- nrow(my.data)          # Number of rows in data

  # Iterative over randomizations

  ##MG  for(i in 1:N.Rand) ## MG: wird jetzt über repeat{ if(..) break} -Struktur gelöst

  ## MG: Initialise some..:
  i <- 1 ## MG: Zaehler
  my.snip <- " ##MG: Hilfsobjekt für Protokollierung
  cat('Protokoll Tree.Random:\n', file='S:/Steinbauer Klaus/Diplomarbeit/Rspace/'
    '/Randomtree_protokoll/protocolTreeRandom.txt', append=F)

  repeat      ## MG
  # Note that on first pass there is no randomization
  {
    cat(my.snip, 'pass', i, '\n') ##MG Schreibe zu Rterm - Fenster
    cat(my.snip, 'pass', i, '\n', file='S:/Steinbauer Klaus/Diplomarbeit/Rspace'
      '/Randomtree_protokoll/protocolTreeRandom.txt', append=T)

    Random.tree <- tree(my.formula, my.data)      # Calculate tree
```

```

# Prune tree

if(exists('R1')) rm(R1) ## MG; R1 jedenfalls löschen, zwecks abfrage nach try()

try(R1      <- prune.tree(Random.tree, best=Ibest)) ## MG: embraced by try; creates
R1 when working without error, does not create the object if error occurs
if(exists('R1')){  ## TRUE, wenn pruning geklappt hat

  R1.summary    <- summary(R1)                # Summary data
  Deviances[i]  <- R1.summary$dev              # Store deviances

#Store number of terminal nodes
  Sizes[i]      <- R1.summary$size

  my.data[,Ypos] <- my.data[sample(my.nrows),Ypos]      # Randomize y

  i <- i + 1 ##MG: increase counter
  my.snip <- " ## make this empty
}
else{ #if not exists R1
  my.data[,Ypos] <- my.data[sample(my.nrows),Ypos]      # Randomize y
  # do another randomization BUT DONT INCREASE COUNTER
  cat('Error in pruning, trying another randomization..\n') ## MG: \n erzeugt
  Zeilenumbruch
  cat('Error in pruning, trying another randomization..\n',
  file='S:/Steinbauer Klaus/Diplomarbeit/Rspace/Randomtree_protokoll/'
  'protocolTreeRandom.txt', append=T) ## MG
  my.snip <- '.. repeating' ## for the protokoll
}

if(i>N.Rand) break ## MG: break out of the randomization loop
}

# Calculate P
P      <- length(Deviances[Deviances<=Deviances[1]])/N.Rand
SE      <- sqrt(P*(1-P)/N.Rand)      # Calculate SE
print("Probability of random tree having smaller deviance (SE)")
print(c(P,SE))                      # Output P and SE
print("Summary of sizes actually used in randomization")
print(summary(Sizes))                # summary data of sizes

return(list(P=P, SE=SE, Deviances=Deviances, Sizes=Sizes)) #bind all results to a
named list
}## end function

```


Schleife zur Erstellung der GLMs

```
### Schleife für glm's für PA gegen Höhe
setwd('S://Steinbauer Klaus//Diplomarbeit//GLM//')

### Vorsicht...data.complete wird hier mit Artnamen ohne Erstbeschreiber verwendet!!!
data.complete.all <- read.table(file.choose(),sep=';',header=TRUE)
data.complete <- data.complete.all
## Liste aller Arten mit Fullname und Spec-code
my.speclist <- unique(data.complete[,c('FULLNAME','SPEC')])

i <- 137
## Matrix um die glm Daten abzuspeichern
data.glm <- matrix(NA,228,9)

#text für die Legende in der Grafik
leg.txt <- c("Vorhersage des glm (PA>0 ~ Hoehe)", "95% Konfidenzintervall",
            "Höhe Hochschwabgipfel", "höchster und niedrigster Transekt", "wahres
Vorkommen in den Transekten")
  help(anova)
# neu sequenzierte Höhe für die Prediction
hoehe neu <- data.frame(Hoehe=seq(1671,2262,10))
  anova(spec.glm,test="Chi")
## Zähler
k <- 1
  for(i in my.speclist$SPEC) {
data.spec <- data.complete[data.complete$SPEC==i,]

fullname <- subset(my.speclist,SPEC==i,select=FULLNAME)
attach(data.spec)
spec.glm <- glm(PA>0 ~ Hoehe,family="binomial")

sum.glm <- summary(spec.glm)
df.res <- sum.glm$df.residual
coeff <- sum.glm$coefficients[2,1:4]
null.dev <- round(sum.glm$null.deviance,1)
aic <- round(sum.glm$aic,1)
dev <- round(sum.glm$deviance,1)

data.glm[k,] <- c(i,null.dev,dev,aic,df.res,coeff)

detach(data.spec)
```

```

## Prediction mit hoeheneu
pred.glm <- predict.glm(spec.glm,newdata=hoeheneu,type="response",se.fit=TRUE)

## Berechnung des Konfidenzintervalls
conf_plus <- pred.glm$fit + (qt(0.975,239)*pred.glm$se.fit)
conf_minus <- pred.glm$fit - (qt(0.975,239)*pred.glm$se.fit)

                                #,mai=c(2,0.3,1,0.4)

### grafischer output
png(paste('graphs/',i,'_', substring(fullname$FULLNAME,1,20),'CI','png', sep="),width =
900, height = 900)
par(family="sans",font.main=4,cex=2.5)
plot(pred.glm$fit,hoeheneu[,1],type='l',lwd=4,xlim=c(0,1),ylim=c(1400,2300),
      xlab="Vorkommenswahrscheinlichkeit (%/100)",ylab="Seehöhe (m)")
lines(conf_plus,hoeheneu[,1],lty=5,col=2,lwd=3)
lines(conf_minus,hoeheneu[,1],lty=5,col=2,lwd=3)
points(data.spec$PA,data.spec$Hoehe)
abline(a=1671,b=0,lty=33,lwd=2)
abline(a=2262,b=0,lty=33,lwd=2)
abline(a=2277,b=0,lty=10,lwd=2)
legend(0.3,1680,leg.txt,lty=c(1,5,10,33,-1),lwd=c(4,3,2,2,-1),col=c(1,2,1,1,1),pch=c(-1,-
1,-1,-1,1),bty="n",cex=0.75)
title(paste(fullname[1,]))

graphics.off()

## Zähler um eins weiter stellen
k <- k+1

} ##end.for
  help(legend)
## Speichern der Daten als data.frame
data.glm.v1 <- data.glm
data.glm.v1 <- data.frame(data.glm.v1)
names(data.glm.v1) <-
c("SPEC","Null.Dev","Dev","AIC","df.res","Estimate","Std.Error","z_val","Pr_z")

## die Artnamen werden noch angefügt
data.glm.v1 <- merge(data.glm.v1,my.speclist,all.x=TRUE)

data.glm.v2 <-
data.frame(data.glm.v1$SPEC,data.glm.v1$FULLNAME,data.glm.v1$Null.Dev,data.glm
.v1$Dev,data.glm.v1$AIC,
data.glm.v1$df.res,data.glm.v1$Estimate,data.glm.v1$Std.Error,data.glm.v1$z_val,data.gl
m.v1$Pr_z)

```

```
names(data.glm.v2) <-  
c("SPEC","FULLNAME","Null.Dev","Dev","AIC","df.res","Estimate","Std.Error","z_val",  
"Pr_z")  
write.table(data.glm.v2,paste('S://Steinbauer  
Klaus//Diplomarbeit//Rspace//r_output_data//data_glm_v2.txt',sep=';'),sep=';')  
  
help(legend)  
help(predict)  
  
warning
```

Danksagung

Es war ein langer, oft mühsamer und kräfteaubender Weg bis zur fertigen Diplomarbeit. Ohne die Unterstützung und den Zuspruch einer großen Zahl an Freunden, Bekannten und Verwandten wär er wohl ungleich mühsamer und möglicherweise nicht schaffbar gewesen. Deshalb ein großes Dankeschön an all jene die mich so weit gebracht haben!

Besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Familie, die mich schon mein ganzes Leben in jeder erdenklichen Hinsicht unterstützt und mir die Möglichkeit eines Studiums gegeben hat. Danke, dass ihr mit mir so lange durchgehalten habt.

Während der Datenaufnahme verbrachte ich viel Zeit mit meinem Leidensgenossen Thomas, der diese gemeinsam mit mir durchführte. Danke für die Tolle Zeit am Hochschwab. Natürlich sei auch herzlich den Wirtsleuten des Schiestlhauses gedankt, die Thomas und mich den ganzen Sommer ertragen und mit guten Essen bei Laune gehalten haben.

Ganz wichtig war auch die Unterstützung, die mir im Diplomandenzimmer am Rennweg zuteil wurde. Hier haben mich Michi, Thomas, Christian, Hans, Kathrin und viele viele mehr bei Probleme mit Computern, Datenbanken, Druckern, schlechte Laune, etc. tatkräftig unterstützt. Ohne diese lieben Leute wär die Zeit wohl nicht so schnell vergangen.

Weiters möchte ich mich bei dem Gehirn von GLORIA, namentlich Michi Gottfried, Harald Pauli und Georg Grabherr, für das Überarbeiten meines Manuskripts und ihrer Hilfe bei statistischen und fachlichen Fragen bedanken.

Als letztes muss ich noch ein großes Dankeschön an meine liebe Vero aussprechen, die mich in der Endphase meines Studiums in allen Bereichen, wo es ihr möglich war, unterstützt hat und mir Kraft und Mut gegeben hat, immer weiter zu machen. Danke, für die viele Zeit, die du für mich geopfert hast, fürs Diplomarbeit durchlesen, obwohl es so fad zum Lesen ist und danke, dass du mich in dieser oft schwierigen Zeit trotzdem ertragen hast.

Lebenslauf

Name: Klaus Steinbauer

Geburtsdatum: 18.02.1984 in Linz

Eltern: Herbert Steinbauer, Ingrid Steinbauer

Aufgewachsen in Bad Goisern/Oberösterreich

Schulbildung:

Volksschule in Bad Goisern von 1990 bis 1994

Bundesrealgymnasium in Bad Ischl von 1994 bis 2002

Ab Herbst 2003, Studium der Biologie in Wien

Abschluss des Studiums im SS 2011

Grundwehrdienst von Oktober 2002 bis Mai 2003 in Salzburg.

Weitere Tätigkeiten:

LKW- und Staplerfahrer für Brau Union Österreich von 2002 bis 2007

Mitarbeiter des Besucherservice im Tiergarten Schönbrunn seit 2008

Tätigkeit als Ökopädagoge für WWF-Österreich seit 2009