

Einfluss der Höhe auf die Vegetation alpiner Wiesen

Exkursion zur Alp Flix vom 23. bis 27. Juni 2016



Ronja Wedegärtner
Nora Tesch
Cindy Hermann

15.08.2016

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	6
HINTERGRUND	7
EINLEITUNG.....	8
HYPOTHESEN.....	11
MATERIAL UND METHODEN.....	12
UNTERSUCHUNGSGEBIET	12
VEGETATIONSAUFNAHMEN	13
DATENAUSWERTUNG	15
ERGEBNISSE	17
ARTENZAHL.....	17
STETIGKEIT	17
MAXIMALE UND DURCHSCHNITTLICHE WUCHSHÖHE	20
ARTENZUSAMMENSETZUNG.....	21
<i>Prozentualer Anteil der Familien</i>	21
<i>Ordination</i>	22
DISKUSSION	26
SCHLUSSFOLGERUNG	28
LITERATUR	29
ANHANG	30

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ÜBERSICHTSKARTE DES UNTERSUCHUNGSGEBIET MIT DEN VIER, ALS GRÜNE DREIECKE DARGESTELLTEN, STANDORTEN DER VEGETATIONS-AUFNAHMEN (WWW.GEO.ADMIN.CH)	12
ABBILDUNG 2: ALLE VIER STANDORTE DER VEGETATIONS-AUFNAHMEN WIESEN DIE GLEICHE EXPOSITION SO WIE DAS GLEICHE AUSGANGSGESTEIN AUF, I. E. TONE, SILTE, SANDE (GELB). DIE UMGEBUNG DER ALP FLIX-HOCHEBENE SETZ SICH ZUSAMMEN AUS KALKSTEINEN, Z. T. MERGEL (BLAU), BASISCHEN G	13
ABBILDUNG 3: DIE VIER STANDORTE FÜR DIE DURCHFÜHRTEN VEGETATIONS-AUFNAHMEN: 1.) DIE WIESE AUF 1600 M WAR NAHE DER ORTSCHAFT SUR, WIESE RECHTS IM BILD (O. L.); 2) AUF 1800 M BEFAND SICH DIE UNTERSUCHTE WIESE AUF EINER WALDLICHTUNG (O. R.); 3) DIE WIESE AUF 2000 M L	13
ABBILDUNG 4: VIOLA CALCARATA, RUMEX ALPINUS & GEUM MONTANUM (VON L. NACH R.) ALS BEISPIELE FÜR VORKOMMENDE PFLANZENARTEN	19
ABBILDUNG 5: MAXIMALE WUCHSHÖHEN DER VIER HÖHENSTUFEN	20
ABBILDUNG 6: DURCHSCHNITTLICHE WUCHSHÖHEN DER VIER HÖHENSTUFEN.....	20
ABBILDUNG 7: PROZENTUALER ANTEIL DER FAMILIEN AM DECKUNGSGRAD DER HÖHENSTUFEN.....	21
ABBILDUNG 8: DARSTELLUNG DER ORDINATION VON ARTEN (ROT) UND UNTERSUCHUNGSSORTEN (SCHWARZ) ENTLANG DES HÖHEGRADIENTEN (PFEILRICHTUNG).....	23
ABBILDUNG 9: CCA PLOT ERGÄNZT DURCH ELLIPSEN, WELCHE DIE ARTEN KENNZEICHNEN, DIE BESONDERS TYPISCH FÜR DIE JEWEILIGE HÖHENSTUFE SIND. VON LINKS NACH RECHTS: 1600 – 2200M.....	23
ABBILDUNG 10: ARTEN DIE AN ÄHNLICHEN STANDORTEN VORKOMMEN, ERSCHIENEN IN DIESER GRAPHIK GECLUSTERT. DER HÖHENGRAIDENT VERLÄUFT HORIZONTAL VON LINKS NACH RECHTS.	24
ABBILDUNG 11: ROHTABELLE DER DATEN AUS DEN VEGETATIONS-AUFNAHMEN.....	30

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: SCHÄTZUNG DER ARTMÄCHTIGKEIT NACH BRAUN-BLANQUET	14
TABELLE 2: ARTENZAHLEN JE STANDORT UND GESAMT	17
TABELLE 3: ABSOLUTE STETIGKEITEN DER EINZELNEN ÖHENSTUFEN SOWIE GESAMT	17
TABELLE 4: PROZENTUALER ANTEIL DER FAMILIEN AM GESAMTDECKUNGSGRAD DER JEWEILIGEN HÖHESTUFEN. ALLE WERTE IN %.	22

Zusammenfassung

Die Vegetation eines Ortes hängt stark von den vorherrschenden klimatischen Faktoren ab. Diese ändern sich rasch mit zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel, wodurch sich ein Gebirge in sogenannte Höhenstufen, auch Vegetationsstufen genannt, gliedern lässt. Mit Hilfe von Vegetationsaufnahmen lassen sich diese Stufen bestimmen. Veränderungen innerhalb der Stufen ermöglichen Rückschlüsse auf klimatische Veränderungen und können somit einen Beitrag zum Klimawandel leisten.

In dieser Arbeit wird der Zusammenhang zwischen Vegetation und klimatischen Faktoren näher untersucht. Hierfür werden Vegetationsaufnahmen in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel aufgezeichnet. Hierbei wird angenommen, dass andere Faktoren wie Exposition und Grundgestein für alle Standorte gleich sind.

Es wird vermutet, dass die Artendiversität, auf Grund von zunehmender Severität der Umweltbedingungen, mit der Höhe abnimmt. Außerdem wird vermutet, dass die Stetigkeit auf Grund von Habitat-Mosaiken in Hochlagen sinkt. Damit einhergehend wird vermutet, dass sich die Artenzusammensetzung der Standorte signifikant unterscheiden. Als besondere Anpassung an die klimatischen Faktoren der Hochlagen ist der Zwergwuchs zu nennen. Aus diesem Grund wird vermutet, dass sowohl die maximale als auch die durchschnittliche Wuchshöhe alpiner Pflanzen in Abhängigkeit mit der Höhe über dem Meeresspiegel abnimmt.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden Vegetationsaufnahmen an vier Standorten unterschiedlicher Höhe (1600-2200 m) durchgeführt. Die aufgenommenen Vegetationsdaten wurden digitalisiert und im Folgenden mit Excel und R unter Verwendung des Packages *vegan* und *ggplot2* ausgewertet. Für die maximale und durchschnittliche Wuchshöhe wurde eine ANOVA verwendet. Um die Änderung der Artenzusammensetzung mit der Höhe zu untersuchen wurde eine Technik der direkten Ordination (CCA) angewendet.

Es konnte nicht bewiesen werden, dass die Artendiversität und die Stetigkeit mit der Höhe über dem Meeresspiegel abnimmt. In der Artenzusammensetzung zeigte sich jedoch ein signifikanter Unterschied, welcher den Zusammenhang zwischen klimatischen Faktoren und der vorherrschenden Vegetation beweist. Außerdem wurde bewiesen, dass die maximale und durchschnittliche Wuchshöhe mit zunehmender Höhe signifikant abnimmt.

Hintergrund

Die Vegetationsaufnahmen, die den folgenden Analysen zugrunde liegen, wurden im Rahmen einer Exkursion der Universität Tübingen zur Alp Flix, Schweiz, vom 23.-27. Juni 2016 durchgeführt. Ziel der Exkursion war es, die Auswirkungen der biotischen und abiotischen Umwelteinflüsse auf die Zusammensetzung der alpinen Vegetation zu erkunden. Dabei galt das Interesse insbesondere den klimatischen Faktoren. Diese ändern sich rasch in Abhängigkeit mit der Höhe über dem Meeresspiegel und bestimmen zum Großteil die Zusammensetzung und somit das Aussehen der Pflanzendecke. Durch den Zusammenhang von klimatischen Faktoren, Höhenstufen und Vegetation, können begründete Aussagen über die zu erwartende Vegetation getroffen werden. Außerdem ermöglicht uns der Zusammenhang wiederum, Rückschlüsse auf klimatische Veränderungen zu ziehen.



360°-Panorama der Hochebene Alp Flix im schweizerischen Kanton Graubünden

Einleitung

Die Zusammensetzung der Pflanzendecke eines bestimmten Ortes wird weitgehend durch die äußeren Umweltbedingungen (klimatische Faktoren, Gestein, Boden) und durch die geographische Lage bestimmt (Landolt et al. 71). Die Zentralalpen verlaufen zwischen den Nordalpen und den Südalpen. Da die feuchten Luftmassen, die von Süden, Westen oder Norden heranziehen ihre Feuchtigkeit bereits beim Emporsteigen der Randalpen verlieren, herrscht in den Zentralalpen ein relativ kontinentales Klima (Landolt et al. 48)¹. Dieses zeichnet sich durch eine geringe Jahresniederschlagsmenge, große Temperaturschwankungen und einer starken Sonneneinstrahlung aus. Da sich die klimatischen Faktoren, d. h. Luftdruck, Lufttemperatur, Bodentemperatur, Sonneneinstrahlung, Lichtintensität, Niederschlag und Wind, in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel ändern, ist es für das Verständnis der Alpenvegetation erforderlich, sich diese Faktoren genauer anzuschauen.²

Der Luftdruck, der sich auf den Wasserhaushalt der Pflanzen auswirkt, nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel ab (Landolt et al. 42). Bei einem geringeren Luftdruck enthält die Luft pro Volumeneinheit weniger CO₂ und H₂O als bei einem höheren Luftdruck (Landolt et al. 42). Eine alpine Pflanze verliert demnach mehr H₂O beim Öffnen der Spaltöffnungen als eine Pflanze des Tieflands. Zugleich müssen die Stomata länger geöffnet sein um die gleiche Menge an CO₂ aufnehmen zu können (Konzentrationsgefälle). Pflanzen der Hochgebirge sind daher einem höheren Wasserstress als Tieflandpflanzen ausgesetzt. Diese Tatsache wird durch die abnehmende Lufttemperatur (Herabsetzung der Sättigungstemperatur) und zunehmende Sonneneinstrahlung (verstärkte Transpiration) mit der Höhe intensiviert.³

Die Lufttemperatur, die sich auf die Wachstumsgeschwindigkeit der Pflanzen auswirkt, nimmt um etwa 0,5°C pro 100m ab. Da der Feuchtigkeitsgehalt der Luft mit der Höhe sinkt, kann die Luft mit zunehmender Höhe immer weniger Wärmestrahlung absorbieren und an die Erdoberfläche zurückstrahlen (Landolt et al. 43). Der Temperaturabfall wird zudem durch das Abnehmen des Luftdrucks mit zunehmender Höhe verursacht⁴. Nahezu alle Lebensvorgänge (Wachstum, Assimilation, Atmung) sind temperaturabhängig. Dabei gilt,

¹ Siehe außerdem Einleitung klimatische Faktoren Niederschlag

² Gliederungsstruktur der Einleitung übernommen von E. Landolt et al. *Unsere Alpenflora*, Kapitel 3

³ Vergleich E. Landolt et al. *Unsere Alpenflora* S.42

⁴ Siehe hierzu Ideales Gasgesetz

dass die Geschwindigkeit der Lebensvorgänge mit sinkender Temperatur abnimmt. Somit sind die Lebensvorgänge, insbesondere das Wachstum, alpiner Pflanzen im Vergleich zu Pflanzen des Tieflands weniger intensiv (Landolt et al. 43).

Die Sonneneinstrahlung, die für eine vergleichsweise hohe Bodentemperatur sorgt, nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu. Die wasserdampfarme Höhenluft kann Strahlung nur schwer reflektieren oder streuen, wodurch mehr Strahlung auf die Erdoberfläche trifft (Landolt et al. 43). Bodenschichten in Höhenlagen werden somit stärker erwärmt als Bodenschichten der Tieflagen (Landolt et al. 43). Durch die erhöhte Bodentemperatur werden die bodennahen Luftschichten erwärmt. Kleinwüchsige Pflanzen können von dieser Tatsache profitieren und so die relativ geringe Lufttemperatur der Hochlagen ausgleichen.

Die Lichtintensität, die sich auf die Photosyntheserate alpiner Pflanzen auswirkt, nimmt mit der Höhe zu. Die Photosyntheserate hängt hauptsächlich von drei Faktoren ab: Temperatur, CO₂-Konzentration und Lichtintensität. Da sowohl die Temperatur als auch die CO₂-Konzentration in Hochlagen vergleichsweise niedrig ist, ist die Lichtintensität für alpine Pflanzen umso wichtiger. Dadurch werden jedoch zugleich Schutzmechanismen gegen zu hohe Intensitäten erforderlich (z.B. dicke Kutikula, Behaarung).⁵

Die klimatischen Faktoren Niederschlag und Wind wirken sich auf die Wuchsform, Struktur und Konstruktion der Pflanzen aus. Normalerweise nimmt die jährliche Niederschlagsmenge mit der Höhe zu. In den Zentralalpen ist die Luft jedoch relativ trocken, da sich die feuchten Luftmassen bereits beim Emporsteigen an den Randalpen ausregnen. Diese Trockenheit, welche durch die erhöhte Sonneneinstrahlung verstärkt wird, spiegelt sich in der Anpassung der Wuchsformen wieder (z.B. Überdauern mit Zwiebel, Rhizome) (Landolt et al. 56). Die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Landolt et al. 51). Pflanzen der Hochgebirge sind an die vergleichsweise stärkere Windkraft angepasst, indem Sie dem Wind durch ihre geringe Größe und durch ihre Wuchsform zum Beispiel eine geringe Angriffsfläche bieten.

Die Schneebedeckung ist ein weiterer zentraler Faktor, der sich auf die Vegetation der Zentralalpen auswirkt. Generell geht man davon aus, dass die schneefreie Zeit pro 100m Anstieg um etwa 10 Tage kürzer wird (Landolt et al. 50). Die Schneebedeckung wirkt sich insbesondere auf die Vegetationszeit aus (Landolt et al. 50).

⁵ Vergleich E. Landolt et al. *Unsere Alpenflora* S.43

Habitat-Mosaik

Die untersuchte Region der Alp Flix liegt im schweizerischen Kanton Graubünden. Hier ist der „Bünder Schiefer“ weit verbreitet (Landolt et al. 51-52). Er setzt sich aus kalkreichen und kalkarmen Gestein, z.T. auch aus dem nährstoffarmen Serpentin zusammen. Da sich Pflanzen entsprechend Ihrer Vorliebe für kalkreiche oder kalkarme Gesteine unterscheiden, kann die Vegetation zweier Standorte trotz gleicher klimatischen Bedingungen stark unterschiedlich sein (Landolt et al. 52). Hinzu kommen biotische Faktoren (z.B. innerartliche Konkurrenz, Alleopathie) die im Folgenden nicht näher aufgeführt werden.

Im Rahmen dieser Projektarbeit wird untersucht, welchen Einfluss die Höhe auf die Artendiversität und –zusammensetzung, die Artenstetigkeit, die Wuchshöhe und die Anpassungen an die spezifische Umweltbedingungen haben. Dazu vergleichen wir Vegetationsaufnahmen aus vier verschiedenen Höhenstufen und werten diese statistisch aus.

Hypothesen

Um konkurrenzfähig zu sein, müssen Pflanzen an die zuvor erläuterten Umweltbedingungen angepasst sein. Eine Spezialisierung der Pflanzen ist somit erforderlich. Durch die zunehmende Severität der Umweltbedingungen gehen wir davon aus, dass die Artendiversität mit der Höhe abnimmt, da die Zahl der Arten, welche unter diesen Umweltbedingungen zu überleben vermag, sinkt. Nur stark spezialisierte Pflanzen können unter den Umweltbedingungen in großen Höhenlagen persistieren und sich fortpflanzen. Aus diesem Grund wird zudem vermutet, dass sich die Artenzusammensetzung in Abhängigkeit von der Höhenstufe jeweils signifikant verändert.

Die Stetigkeit innerhalb der einzelnen Vegetationsaufnahmen wird mit zunehmender Höhe wahrscheinlich abnehmen, da in größeren Höhen aufgrund der extremeren Umweltbedingungen eine ausgeprägtere Aufteilung in Habitatmosaike zu erwarten ist.

In Bezug auf die Anpassungen der alpinen Pflanzen wird vermutet, dass sich die Arten innerhalb einer Familie im Höhenverlauf durch unterschiedliche Anpassungen auszeichnen. Zu erwartende Anpassungen sind Zwergwuchs, eine dicke Kutikula, eine starke Behaarung sowie eine zunehmende Anzahl an Stomata um den geringeren CO₂-Gehalt der Luft ausgleichen zu können. Dabei wird außerdem vermutet, dass sich diese Anpassungen innerhalb verschiedener Familien finden lassen (konvergente Entwicklung).⁶

Die Anpassung des Zwergwuchses zieht die Vermutung nach sich, dass die Wuchshöhe mit zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel abnimmt. Diese Vermutung bezieht sich sowohl auf die durchschnittliche als auch maximale Wuchshöhe.

Alle Hypothesen verstehen sich unter der Voraussetzung, dass der einzige sich ändernde Umweltfaktor die Höhe und die sich damit ändernden Umweltbedingungen sind, während andere Faktoren wie etwa Exposition und Grundgestein für alle Aufnahmeflächen als gleich anzunehmen sind.

⁶ Hierzu kann, auf Grund fehlender Daten, keine Aussage getroffen werden. Aus Gründen der Vollständigkeit wurde die Hypothese dennoch aufgeführt.

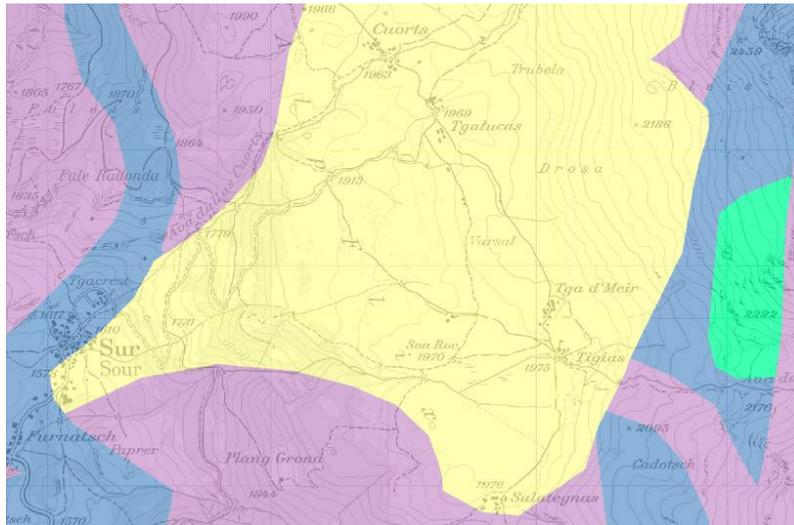


Abbildung 2: Alle vier Standorte der Vegetationsaufnahmen wiesen die gleiche Exposition so wie das gleiche Ausgangsgestein auf, i. e. Tone, Silte, Sande (gelb). Die Umgebung der Alp Flix-Hochebene setzt sich zusammen aus Kalksteinen, z. T. Mergel (blau), basischen Gesteinen (lila) und Dolomit (türkis).

Vegetationsaufnahmen

An jedem Standort wurden insgesamt sechs Quadrate mit einer Kantenlänge von jeweils 50 cm untersucht. Dabei wurden die Quadrate nach dem Zufallsprinzip auf der jeweiligen Fläche verteilt. Hierfür warfen die Gruppen einen Gegenstand über Ihren Rücken. Der Landepunkt des Gegenstandes markierte den Mittelpunkt des jeweiligen Quadrates.



Abbildung 3 Die vier Standorte für die durchgeführten Vegetationsaufnahmen: 1.) die Wiese auf 1600 m war nahe der Ortschaft Sur, Wiese rechts im Bild (o. l.); 2) auf 1800 m befand sich die untersuchte Wiese auf einer Waldlichtung (o. r.); 3) die Wiese auf 2000m l

Die Gruppen wurden angewiesen, folgende Daten aufzuzeichnen: Höhe der Aufnahme, Gruppenmitglieder, Quadratnummer, Datum, Höhe der Vegetation (durchschnittlich und maximal), die vorhandenen Pflanzenarten, und ihre jeweilige Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet (Tabelle 1: Schätzung der Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet).

Tabelle 1: Schätzung der Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet

Braun-Blanquet-Skala

Artmächtigkeit	Deckung	Gewicht
r	selten, weniger als 3 Exemplare, < 1% Deckung	0,001
+	spärlich, weniger als 10 Individuen, < 5% Deckung	0,01
1	mehr als 10 Individuen und < 5% Deckung oder <10 Individuen und > 5% Deckung	0,0
2	5% - 25% der Fläche deckend oder mehr als 50 Individuen und < 5% Deckung	0,15
3	25% - 50% Flächendeckung	0,375
4	50% - 75% Flächendeckung	0,625
5	75% - 100% Flächendeckung	87,5

Datenauswertung

Die aufgenommenen Vegetationsdaten wurden digitalisiert und im Folgenden mit Excel und R (Version 3.1.2) unter Verwendung der Packages *vegan* (Oksanen et al. 2015) und *ggplot2* (Wickham 2009) analysiert und graphisch dargestellt.

Die Biodiversität bzw. Die Anzahl an gesichteten Pflanzenarten wurde einzeln für jeden Standort sowie als Gesamt-Artenzahl für alle Standorte zusammen gezählt.

Um zu untersuchen, ob die vermuteten Habitatmosaiken existieren bzw. mit zunehmender Höhe starker ausgeprägt sind, wurde die absolute Stetigkeit für jede Höhenstufe errechnet, sowie die absolute Stetigkeit über alle vier Höhenstufen hinweg.

Um zu untersuchen, wie sich die maximale und durchschnittliche Wuchshöhe über die Höhenstufen verändern, wurde eine ANOVA angewendet. Sie gibt Auskunft darüber, ob sich die Mittelwerte der Wuchshöhen zwischen den Höhenstufen signifikant unterscheiden.

Die erhobenen Schätzungen der Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet sind eine Mischung aus Schätzung der Abundanz und des Deckungsgrades. Um den Deckungsgrad der einzelnen Familien auf den Untersuchungsflächen zu untersuchen, wurde die Artmächtigkeit gemäß einer Faustformel transformiert. Dabei wurden die Klassen der Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet (r, +, 1, 2, 3, 4, 5) einem Deckungsgrad von jeweils 0,1%, 1%, 5%, 15%, 37,5%, 62,5%, und 87,5% zugewiesen.

Im Folgenden wurde der prozentuale Anteil jeder Familie an der Gesamtbedeckung der jeweiligen Höhenstufen berechnet und graphisch dargestellt.

Um die Änderung der Artenzusammensetzung mit der Höhe zu untersuchen wurde eine Technik der direkten Ordination, die Canonical Correspondence Analysis (CCA) angewendet. Sie ermöglicht es, einen Zusammenhang zwischen den gefundenen Arten und den Umweltvariablen herzustellen und diesen auf Signifikanz zu testen. Die Informationen bezüglich des Vorkommens von Spezies unter bestimmten Umweltbedingungen werden dabei mit möglichst geringem Informationsverlust durch die Wahl geeigneter Ordinationsachsen dargestellt. Diese Ordination reduziert also die Dimensionen der Daten auf eine leichter zu interpretierende Form. Dabei wird bei der CCA ein linearer Zusammenhang zwischen Umweltvariablen und den Werten der Vegetationsaufnahmen (sample scores) erzwungen, während gleichzeitig versucht wird, Korrelation zwischen den

Werten der Vegetationsaufnahmen und häufig zusammen auftretenden Arten zu maximieren. Im resultierenden Plot stehen also Arten, welche häufig zusammen auftreten dichter beieinander und Aufnahmeorte, die sich ähneln liegen ebenfalls dichter aneinander.

Ein besonderer Vorteil der CCA ist, dass diese auf unimodalverteilte Daten, wie es bei uns die Verteilung von Arten im Rahmen eines Optimums entlang eines Gradienten sein sollte, angewendet werden kann. Zudem ist ein Testen von Hypothesen durch Permutation möglich. Die Nullhypothese ist dabei, dass kein Zusammenhang zwischen Umweltvariablen und resultierender Artenverteilung auf den Untersuchungsplätzen besteht (Palmer, 1993).

Die CCA wurde in R mittels des Pakets „vegan“ unter der Verwendung der Funktion „cca“ durchführt. Die Signifikanz wurde basierend auf 999 Permutationen geprüft.

Ergebnisse

Artenzahl

Die Artenzahl war am höchsten für die Vegetationsaufnahme auf 1800 m. Es ist kein Trend zu beobachten bzgl. einer Ab- oder Zunahme der Artenzahl im Verlauf des Höhengradienten (Tabelle 2). Insgesamt wurden bei allen Vegetationsaufnahmen zusammen 77 Arten beschrieben.

Tabelle 2: Artenzahlen je Höhenstufe und gesamt

Höhe [m ü. NN.]	1600	1800	2000	2200	Insgesamt
Artenzahl	25	29	22	25	77

Stetigkeit

Lediglich vier Arten wiesen eine Stetigkeit von sechs für eine Höhenstufe auf. Dies waren *Taraxacum officinale agg.* auf 1600 m, *Silene vulgaris* und *Veronica chamaedris* auf 1800 m sowie *Potentilla aurea* auf 2200 m. Die durchschnittliche absolute Stetigkeit beträgt ca. 2 für alle Standorte, wobei sie auf 1800 m und 2000 m geringfügig niedriger ist. Was die absolute Stetigkeit zwischen den vier Standorten betrifft, so wurde *Trifolium pratense* als einzige Art auf allen Höhenstufen gefunden. Fünf weitere Arten (*Alchemilla vulgaris*, *Anthoxanthum odoratum*, *Daucus carota*, *Geum montanum*, *Potentilla aurea*) zeigten eine absolute Stetigkeit von drei zwischen den Höhenstufen. Durchschnittlich war die absolute Stetigkeit zwischen den Standorten jedoch mit 1,31 gering.

Tabelle 3: absolute Stetigkeiten der einzelnen Höhenstufen sowie gesamt

Höhe [m ü. NN.]	Stetigkeit				über die 4 Höhenstufen
	über die 6 Quadrate je Höhenstufe				
	1600	1800	2000	2200	
<i>Trifolium pratense</i>	3	3	1	1	4
<i>Alchemilla vulgaris</i>	2		5	1	3
<i>Anthoxanthum odoratum</i>		1	3	5	3
<i>Daucus carota</i>	4	4	2		3
<i>Geum montanum</i>		1	1	5	3
<i>Potentilla aurea</i>		1	3	6	3
<i>Helictotrichon pratense</i>			2	1	2
<i>Homogyne alpina</i>		1		1	2
<i>Nardus stricta</i>			1	2	2
<i>Plantago alpina</i>			2	3	2
<i>Poa alpina</i>			2	2	2
<i>Rumex alpestris</i>	3		3		2
<i>Rumex alpinus</i>	2			1	2
<i>Silene dioica</i>	3	1			2

Trifolium repens	1	1			2
Trifolium spec.		2	1		2
Vicia cracca	1			2	2
Agrostis stolonifera		1			1
Alchemilla xanthochlora agg.	1			1	1
Bellis perennis	2				1
Capsella bursa-pastoris	1				1
Carex ferruginosum				2	1
Cerastium spec.				1	1
Chaerophyllum villarsii	1				1
Fragaria vesca		2			1
Galium spec.		1			1
Gentiana acaulis				2	1
Geranium lividum	1				1
Geranium pratense	1				1
Geranium sylvaticum	2				1
Hieracium spec.				1	1
Leucanthemum ircutianum	1				1
Lolium perenne	2				1
Lotus corniculatus				1	1
Luzula campestris				2	1
Luzula luzulina		1			1
Luzula silvatica subsp. Sieberi		1			1
Melampyrum sylvaticum		2			1
Myosotis alpestris				1	1
Myosotis arvensis	1				1
Myosotis spec.	1				1
Myosotis sylvaticum			2		1
Oxalis acetosella		1			1
Phleum alpinum ssp. raeticum			1		1
Plantago atrata			1		1
Plantago major	1				1
Poa compressa		1			1
Poa pratensis			1		1
Poa remota	1				1
Polygala alpestris			1		1
Polygonum bistorta	5				1
Polygonum spec.		1			1
Polygonum viviparum		1			1
Potentilla erecta		1			1
Potentilla reptans		1			1
Potentilla spec.		1			1
Ranunculus acris	2				1
Ranunculus breyninus			2		1
Ranunculus montanus				1	1
Ranunculus muricatus		2			1
Ranunculus polyanthemus		2			1
Ranunculus repens	2				1
Ranunculus villarsii			2		1

Rhinanthus alectorolophus			3		1
Rhinanthus angustifolium			2		1
Silene vulgaris		6			1
Taraxacum officinale agg.	6				1
Thymus pulegioides		1			1
Trifolium alpina				1	1
Trisetum flavescens		1			1
Tussilago farfara		1			1
Vaccinium myrtillus				4	1
Vaccinium uliginosum				2	1
Veronica chamaedris		6			1
Viola biflora		1			1
Viola calcarata				1	1
Viola spec.			1		1
Durchschnittliche Stetigkeit	2,00	1,72	1,91	2,00	1,31



Abbildung 4: *Viola calcarata*, *Rumex alpinus* & *Geum montanum* (von l. nach r.) als Beispiele für vorkommende Pflanzenarten

Maximale und durchschnittliche Wuchshöhe

Die maximale Wuchshöhe der Vegetation in den Vegetationsaufnahmen ist mit steigender Höhe signifikant niedriger (ANOVA, $n=21$, $df=1$, $F=13.34$, $p=0.0017$). Dieser Zusammenhang konnte für die durchschnittliche Wuchshöhe noch deutlicher beobachtet werden (ANOVA, $n=21$, $df=1$, $F=19.32$, $p=0.0003$).

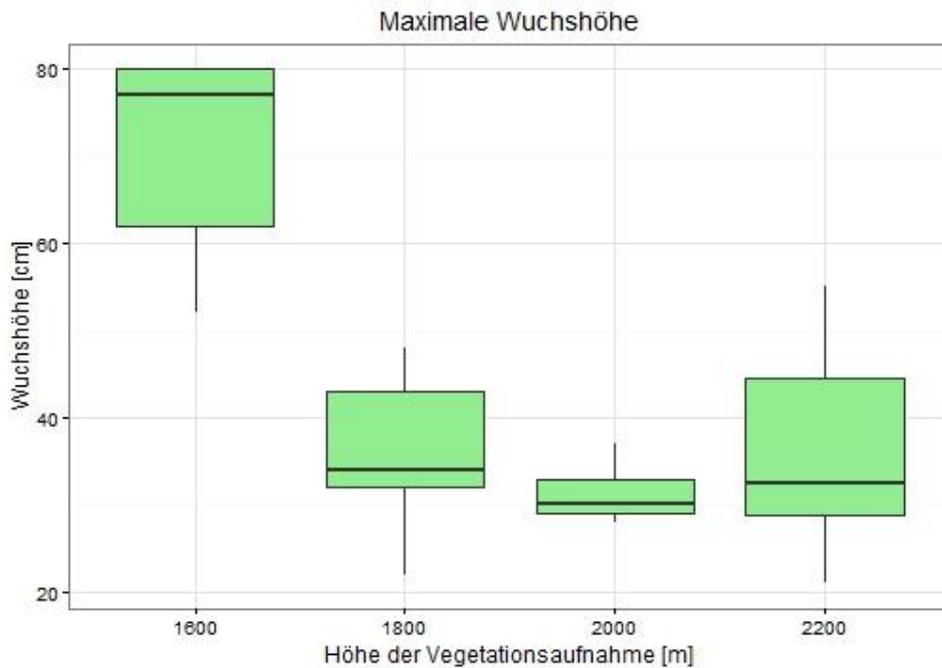


Abbildung 5: maximale Wuchshöhen der vier Höhenstufen

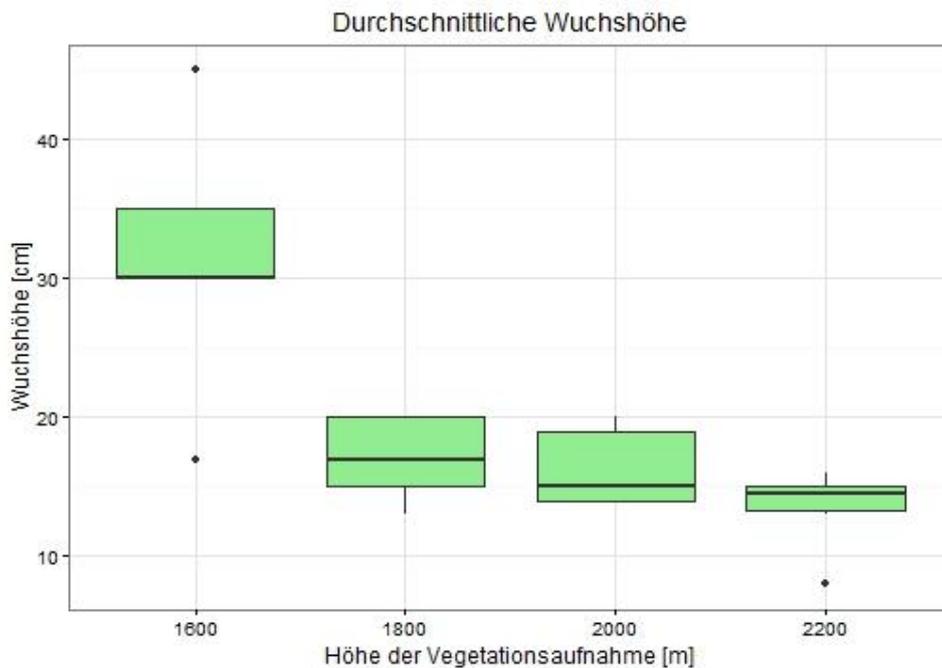


Abbildung 6: durchschnittliche Wuchshöhen der vier Höhenstufen

Artenzusammensetzung

Prozentualer Anteil der Familien

Der prozentuale Anteil am Deckungsgrad der einzelnen Familien ist auf den Untersuchungsflächen der jeweiligen Höhenstufen sehr unterschiedlich (Abbildung 7). Insbesondere auf 2200 m, der am höchsten gelegenen Untersuchungsfläche, sind Familien nicht mehr vertreten, welche auf tiefer gelegenen Untersuchungsflächen einen hohen Anteil am Deckungsgrad hatten (z.B. Apiaceae, Geraniaceae). Andere Familien treten nur auf den höchsten Untersuchungsflächen in höherem Anteil auf (Cyperaceae, Ericaceae usw.) (Tabelle 4).

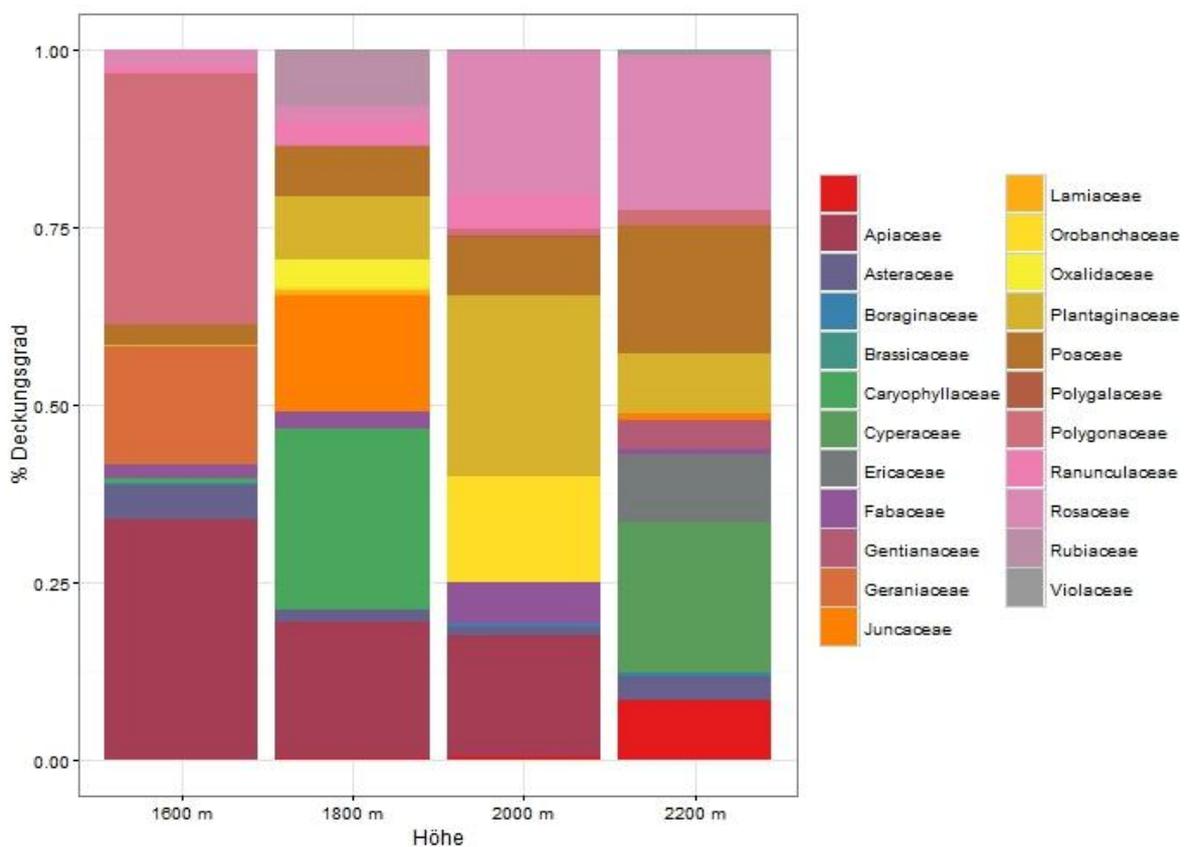


Abbildung 7: Prozentualer Anteil der Familien am Deckungsgrad der Höhenstufen.

Tabelle 4: Prozentualer Anteil der Familien am Gesamtdeckungsgrad der jeweiligen Höhestufen. Alle Werte in %.

Familie	1600 m	1800 m	2000 m	2200 m
Apiaceae	33,99	19,30	17,11	0,00
Asteraceae	4,67	1,63	1,07	3,38
Boraginaceae	0,25	0,00	0,59	0,53
Brassicaceae	0,09	0,00	0,00	0,00
Caryophyllaceae	0,64	25,61	0,00	0,07
Cyperaceae	0,00	0,00	0,00	21,02
Ericaceae	0,00	0,00	0,00	9,57
Fabaceae	1,98	2,32	5,70	0,81
Gentianaceae	0,00	0,00	0,00	4,20
Geraniaceae	16,58	0,00	0,00	0,00
Juncaceae	0,00	16,34	0,00	0,77
Lamiaceae	0,00	0,77	0,00	0,00
Orobanchaceae	0,00	0,51	14,97	0,00
Oxalidaceae	0,00	3,86	0,00	0,00
Plantaginaceae	0,23	8,88	25,39	8,46
Poaceae	2,94	6,98	8,23	18,08
Polygalaceae	0,00	0,00	0,21	0,00
Polygonaceae	35,32	0,17	0,90	2,10
Ranunculaceae	0,93	3,33	4,89	0,03
Rosaceae	2,40	2,13	20,34	21,86
Rubiaceae	0,00	7,72	0,00	0,00
Violaceae	0,00	0,26	0,07	0,70
unbekannt	0,00	0,19	0,53	8,41

Ordination

Mittels einer CCA konnte nachgewiesen werden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhenstufe und der dort aufgefundenen Arten besteht ($df=1$, $X^2=0,74$, $p=0,001$, 999 Permutationen). Dass die Höhe hervorragend geeignet ist um Untersuchungsflächen und Arten entlang eines Gradienten zu ordnen, kann auch Abbildung 8 entnommen werden.

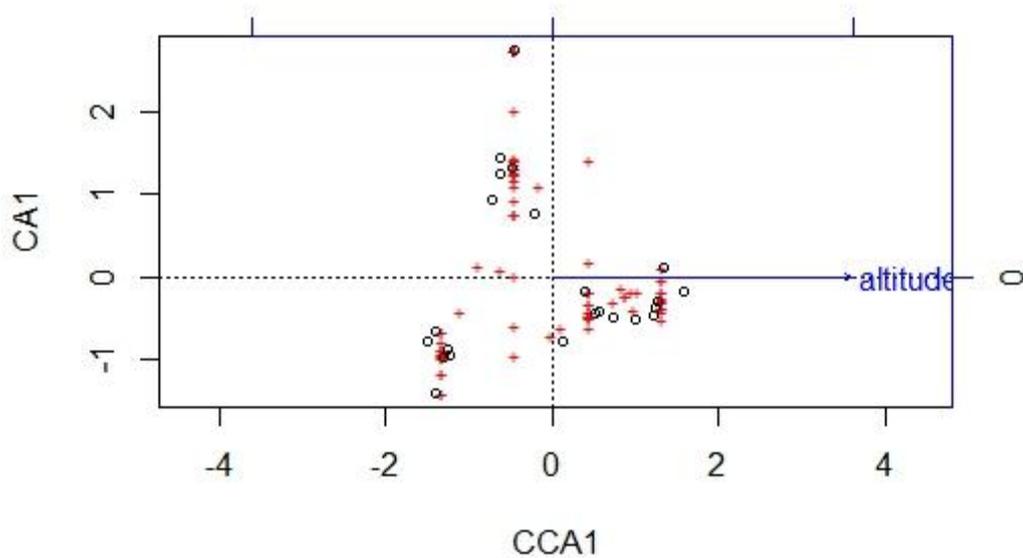


Abbildung 8: Darstellung der Ordination von Arten (rot) und Untersuchungsorten (schwarz) entlang des Höhegradienten (Pfeilrichtung).

Betrachtet man Abbildung 8, so wird deutlich, dass bestimmte Arten auf bestimmten Höhestufen besonders häufig anzutreffen sind. So sind etwa *Geranium sylvaticum* und *Myosotis spec.* besonders häufig in den niedrigsten Untersuchungsflächen (1600 m) anzutreffen, Waldarten wie *Melampyrum sylvaticum* besonders häufig auf 1800 m und *Hieracium*-Arten sind besonders in den höchsten Untersuchungsflächen zu finden.

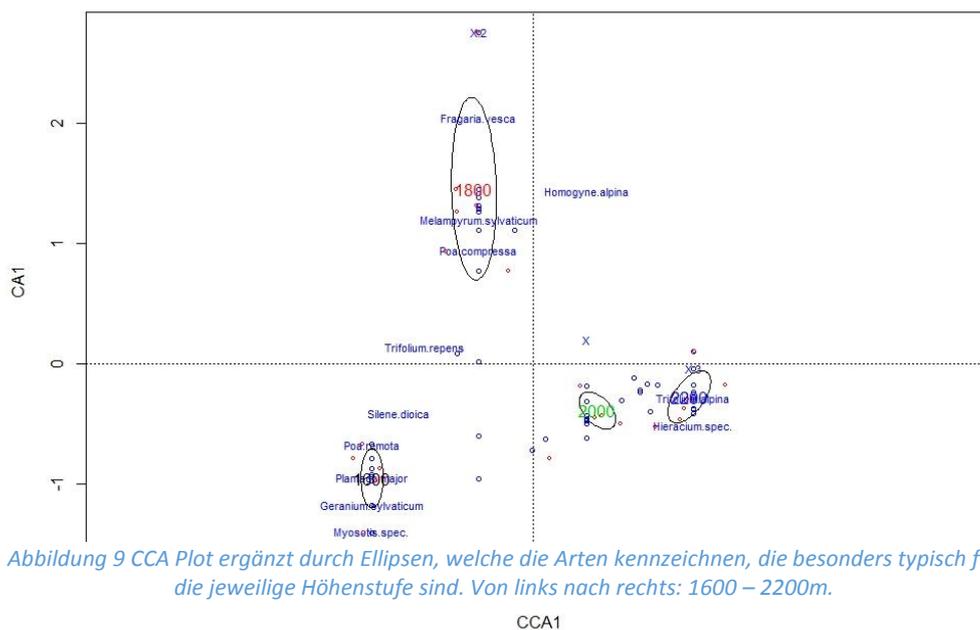


Abbildung 9 CCA Plot ergänzt durch Ellipsen, welche die Arten kennzeichnen, die besonders typisch für die jeweilige Höhenstufe sind. Von links nach rechts: 1600 – 2200m.

Um Ungenauigkeiten zu vermeiden wurden vier nicht eindeutig bestimmbare vegetative Grasarten sowie fünf weitere Arten, bei denen nur bis auf Familien-Ebene bestimmt werden konnte, aus den statistischen Analysen ausgeschlossen. In der Rohtabelle (Abbildung 11) sind sie trotzdem gelistet.

Diskussion

Zwar waren, wie erwartet, signifikante Unterschiede zwischen den vier Höhenstufen in Bezug auf die Artenzusammensetzung erkennbar. Jedoch zeigte die Analyse der Artenzahlen, entgegen unserer Hypothesen, keinen Gradienten von einer hohen hin zu einer niedrigeren Artenzahl mit zunehmender Höhe. Diese deckt sich mit Reviews, die kein einheitliches Muster des Artenreichtums finden konnten, sondern sowohl einzelne Studien mit monoton abnehmender Artenzahl fanden, als auch eine Vielzahl von Studien, welche andere Muster aufwiesen (Rahbeck, 1995). Es wird dabei darauf hingewiesen, dass der Höhengradient nicht nur eine Spiegelung des latitudinalen Artenreichtumsgradienten ist, der in zahlreichen Studien bestätigt werden konnte. Gründe, die dabei für das Vorhandensein anderer Muster angeführt werden, sind beispielsweise eine höhere Wasserverfügbarkeit durch erhöhte Kondensation und starke Variation im Lokalklima (Rahbeck, 1995) aber auch das Vorkommen eines maximalen Artenreichtums auf mittlere Höhe. Dieser „hump-shape“ des Artenreichtums wird unter anderem durch das Vorhandensein von alpinen und Waldspezies auf mittlerer Höhe erklärt, wobei es sich nicht notwendigerweise um fertile Populationen handelt, sondern auch um solche, welche nur durch externen Eintrag von Diasporen existieren (Grytnes, 2003). Dies ist eine Erklärung dafür, dass im Zuge unserer Vegetationsaufnahmen der Standort auf 1800 m die höchste Artenvielfalt zeigte. Die untersuchte Wiese befand sich auf einer Lichtung im Wald, so dass auch für Wälder typische Arten wie *Fragaria vesca*, *Melampyrum sylvaticum* und *Oxalis acetosella* gefunden wurden. Die Wiese auf 1600 m wurde nur am Rand untersucht, um zu großen Trittschaden zu vermeiden. Deswegen wurden vermutlich nicht alle Arten dieser Fläche erfasst, da die Vegetationsdecke am Rand nicht so durchgängig war, wie in der Mitte der Fläche. Hinzu kommt, dass zum Zeitpunkt der Aufnahmen bzw. in den voran gegangenen Jahren, die Fläche auf 1800 m vermutlich weniger anthropogen genutzt wird. Die Wiese auf 2000 m wird vermutlich intensiver genutzt und weist daher eventuell eine geringere Artenzahl auf als natürlicher Weise dort zu finden wäre. Auch die am höchsten gelegene Fläche auf 2200 m wies noch eine geschlossene Grasdecke auf, d. h. die Vegetation war nicht, wie erwartet, mosaikhaft auf der Fläche verteilt. Hier schien keine anthropogene Nutzung stattzufinden. Dies könnte ein weiterer Grund sein, warum die untersuchte Artenzahl dort höher war.

Eine Abnahme der absoluten Stetigkeiten mit zunehmender Höhe konnte ebenfalls nicht bestätigt werden. Ein möglicher Grund hierfür ist die mit nur sechs Quadraten je Höhenstufe geringe Anzahl an Untersuchungsflächen.

Obwohl keine Abnahme der Artenzahl und Stetigkeit festgestellt wurde, zeigen die Analysen trotzdem, dass sich die Artenzusammensetzung zwischen den Standorten signifikant unterscheidet. Dies spricht dafür, dass sich die Umweltbedingungen mit der Höhe deutlich ändern.

Unsere Vermutung, dass die maximale und durchschnittliche Wuchshöhe mit zunehmender Höhe abnimmt, konnte mit unseren Analysen bestätigt werden. Dies spricht dafür, dass sich die Umweltbedingungen, v. a. die Temperatur, signifikant mit der Höhe ändern. Die Änderung der Wuchshöhe ist auch in Abbildung 5 und 6 gut erkennbar.

Zu berücksichtigen ist bei allen Analysen, dass die natürliche Waldgrenze des subalpinen Nadelwaldes oberhalb des Hochplateaus der Alp Flix liegt. Vor 600 Jahren wurde das Gebiet gerodet und besiedelt. Das bedeutet, dass der Standort auf 2200 m immer waldfrei war, die anderen drei Standorte allerdings ursprünglich mit Wald bedeckt waren. Dies könnte eine mögliche Ursache dafür sein, warum bei unseren Vegetationsaufnahmen auf 2200 m eine verhältnismäßig hohe Artenzahl festgestellt wurde.

Ungenauigkeiten in den Analysen entstanden ebenfalls dadurch, dass nicht alle Arten bestimmt werden konnten. Bei einigen Pflanzen konnte nur die Gattung bestimmt werden, bei anderen nur die Familie.

Unsere Vegetationsaufnahmen zeigten nicht in allen Aspekten die erwarteten Ergebnisse bzw. Zusammenhänge zwischen der Höhe über dem Meeresspiegel und der pflanzlichen Diversität. Um genauere Aussagen zu treffen, müssten weitere Vegetationsaufnahmen auf höher gelegenen Standorten durchgeführt werden und alle Aufnahmen mit einer größeren Anzahl an Quadraten erfolgen. Zudem werden auf Wiesen normalerweise, basierend auf Erfahrungen aus Artenzahl-Areal-Kurven, großflächigere Quadrate von 5 bis 25 m² gewählt, was insbesondere in Bezug auf die Stetigkeit andere Ergebnisse zu erwarten lässt. Dies war im Rahmen unserer Exkursion allerdings nicht durchführbar.

Schlussfolgerung

An Hand der Analyse der Artenzusammensetzung konnte der Zusammenhang zwischen Vegetation und klimatischen Faktoren deutlich gezeigt werden. Veränderungen in der Vegetation erlauben demnach zukünftige Rückschlüsse auf klimatische Veränderungen. Durch langfristige und kontinuierliche Vegetationsaufnahmen können so Klimaveränderungen und deren Auswirkungen aufgezeichnet werden.

Mit der Ermittlung der maximalen und durchschnittlichen Wuchshöhe wurde die Anpassung des Zwergwuchses nachgewiesen. Es konnte gezeigt werden, dass diese Anpassung mit zunehmender Höhe stärker ausgeprägt ist. Diese Tatsache ist wiederum ein Beweis für die vertikale Veränderung der klimatischen Faktoren.

Um genauere Aussagen über die pflanzliche Diversität und die Existenz von Habitat-Mosaiken treffen zu können sind weitere Vegetationsaufnahmen, insbesondere in noch höher gelegenen Standorten, erforderlich. Außerdem gilt es die unterschiedlichen Anpassungen an den alpinen Standort noch genauer zu untersuchen. Nur so können in Zukunft begründete Aussagen über die zu erwartende Vegetation getroffen werden.

Literatur

Grytnes, J. A. (2003). Species-richness patterns of vascular plants along seven altitudinal transects in Norway. *Ecography*, 26, 291–300

Grytnes, J. A., Heegaard, E., & Romdal, T. S. (2008). Can the mass effect explain the mid-altitudinal peak in vascular plant species richness? *Basic and Applied Ecology*, 9(4), 373–382. <http://doi.org/10.1016/j.baae.2007.05.001>

Jari Oksanen, F. Guillaume Blanchet, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry H. Stevens and Helene Wagner (2015). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.2-1. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Landolt, Elias, David Aeschimann, Beat Bäumler, Nathalie Rasolofo. *Unsere Alpenflora: Ein Pflanzenführer Für Wanderer Und Bergsteiger*. Bern: SAC-Verlag, 2015. Print. 9. überarbeitete Auflage

Nenadic, O., Greenacre, M. (2007) Correspondence Analysis in R, with two- and three-dimensional graphics: The ca package. *Journal of Statistical Software* 20(3):1-13.

Palmer, Michael W. "Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis." *Ecology* 74.8 (1993): 2215-2230.

Rahbek, C. (1995). The elevational gradient of species richness: a uniform pattern?. *Ecography*, 18(2), 200-205.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R-Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

Reisigl, Herbert; Richard Keller (1987): "Alpenpflanzen in Lebensraum: Alpine Rasen Schutt- und Felsvegetation. Vegetationsökologische Informationen für Studien, Exkursionen und Wanderungen." Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Wickham, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York (2009).

Anhang

67		1600					1800					2000					2200																																
Datum		24.06.2016					24.06.2016					26.06.2016					26.06.2016																																
Gruppe		Dominik, Cindy, Nora		Dominik, Nora		Kilian, Konstantin, Danina		Konstantin, Danina		Michaela, Paula, Ronja		Cindy, Ronja		Ronja, Danina		Ronja, Danina		Cindy, Kilian, Dominik		Cindy, Kilian, Dominik		Konstantin, Michaela, Nora		Konstantin, Michaela, Nora		Kilian, Danina, Cindy		Kilian, Danina, Cindy		Michi, Dominik, Ronja		Dominik, Ronja		Nora, Paula, Konstantin		Nora, Paula, Konstantin		Konstantin, Ronja		Konstantin, Michaela, Ronja		Paula, Domenik, Cindy		Paula, Domenik, Cindy		Kilian, Danina, Nora		Kilian, Danina, Nora	
Quadrat-Nr.		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2										
Wuchshöhe max. [cm]		77		80	62	52	80	43	48	32	22	34		30		33	37	29	28	34	28	21	48	55	31																								
Wuchshöhe Durchschnitt [cm]		45		30	30	17	35	20	15	17	13	20		15		20	19	14	14	16	8	14	13	15	15																								
Art	Familie	Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet																																															
Agrostis stolonifera	Poaceae											2																																					
Alchemilla vulgaris	Rosaceae	+	1											2	+	1	2	1																															
Alchemilla xanthochlora agg.	Rosaceae											2																																					
Anthoxanthum odoratum	Poaceae											+	1	1	1																																		
Bellis perennis	Asteraceae	r		1																																													
Capsella bursa-pastoris	Brassicaceae	r																																															
Carex ferruginosum	Cyperaceae																					1	1																										
Cerastium spec.	Caryophyllacea																					r																											

