



## **Master's Thesis**

# **Primärsukzession nach Gletscherrückzug – Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen auf den Gletschervorfeldern von Horn- und Waxeggkees am Zillertaler Hauptkamm für Wissenschaft und Umweltbildung**

**Primary succession after glacier retreat – Establishment of permanent observation plots on the glacier forelands of Horn- and Waxeggkees at the Zillertal main mountain ridge for science and pedagogics**

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science (M.Sc.)

**Eingereicht von** Heinze, Anne-Marie, 03647106, Forst- und Holzwissenschaft (M.Sc.)

**Betreut von** Prof. Dr. Anton Fischer, Fachgebiet für Geobotanik, TUM

Dr. Barbara Michler, Fachgebiet für Geobotanik, TUM

**Eingereicht am** 26. Juni 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>III</b>
<b>1. MOTIVATION.....</b>	<b>5</b>
<b>2. STAND DES WISSENS UND FRAGESTELLUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>3. HOCHGEBIRGS-NATURPARK ZILLERTALER ALPEN .....</b>	<b>10</b>
3.1. FORSCHUNG IM NATURPARK .....	11
3.2. FORSCHUNGSSTANDPUNKT BERLINER HÜTTE .....	11
<b>4. UNTERSUCHUNGSGEBIET .....</b>	<b>12</b>
4.1. GEOGRAPHISCHE LAGE, NATURRÄUMLICHE EINGLIEDERUNG UND TOPOGRAPHIE .....	12
4.2. KLIMATISCHE BEDINGUNGEN .....	13
4.3. GEOLOGIE UND BÖDEN .....	14
4.4. VEGETATION .....	15
<b>5. METHODIK.....</b>	<b>16</b>
5.1. REKONSTRUKTION DES GLETSCHERSTANDS .....	16
5.2. ANLAGE DER VERSUCHSFLÄCHEN UND VEGETATIONS-AUFNAHMEN .....	18
5.3. AUSWERTUNGSVERFAHREN .....	19
<b>6. ERGEBNISSE .....</b>	<b>20</b>
6.1. CLUSTERANALYSE ALLER ARTEN.....	20
6.2. CLUSTERANALYSE OHNE AUSREIßER .....	25
6.3. KLASSIFIKATION DER VEGETATIONSGRUPPEN UND ARTEN.....	28
6.4. UNTERSCHIEDE DER VEGETATION AUF HORN- UND WAXEGGKEES.....	29
6.5. BESTIMMUNGSBUCH FÜR DIE UMWELTPÄDAGOGIK .....	30
<b>7. DISKUSSION .....</b>	<b>31</b>
7.1. SUKZESSIONSSTADIEN NACH DECKUNGSGRAD UND ARTEN .....	31
7.2. SUKZESSIONSSTADIEN NACH ALTER UND ARTENZUSAMMENSETZUNG .....	33
7.3. ANTHROPOGENER EINFLUSS (ALMWIRTSCHAFT) AUF DIE SUKZESSION .....	35
7.4. TOURISTISCHES UND UMWELTPÄDAGOGISCHES INTERESSE .....	37
<b>8. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>38</b>

<b>9. AUSBLICK .....</b>	<b>40</b>
<b>10. SUMMARY .....</b>	<b>41</b>
<b>11. LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>42</b>
<b>13. ANHANG .....</b>	<b>45</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ÖAV	Österreichischer Alpenverein
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
WGMS	World Glacier Monitoring Service
CRS-Strategie	Competitive, Ruderal, Stress-Strategie

## Danksagung

Für die Erstellung der Arbeit gilt vielen Beteiligten besonderer Dank. Hervorzuheben sind dabei Professor Dr. Anton Fischer und Dr. Barbara Michler, die jederzeit für Fragen zur Verfügung standen und wertvolle Anregungen gegeben haben. Danke Prof. Fischer, dass Sie sich trotz ihrer Pension Zeit für mich genommen haben. Danke Frau Michler, dass Sie für mich die gesamte statistische Auswertung übernommen und mir die Ergebnisse ausführlich erklärt haben.

Großen Dank gilt zudem meinen Kollegen aus dem Hochgebirgs-Naturpark Zillertaler Alpen, Willi Seifert, Katharina Weiskopf, Karin Bauer und Frederick Manck für einen unvergesslichen Praktikumssommer in Ginzling. Willi und Katharina, Danke, dass ich euch für mein Thema begeistern konnte und wir es gemeinsam weiterentwickelt haben. Danke Freddie, für all deine wissenschaftlichen Inputs, Ratschläge und den Chrashkurs in der Pflanzenbestimmung.

Danke auch an den Verband der Österreichischen Naturparks und an die Österreichischen Bundesforsten für das Forschungsstipendium.

## 1. Motivation

Gletschervorfelder sind Paradiese der Artenvielfalt. Seit ihrem letzten großen Vorstoß um 1850 schmelzen die Gletscher der Alpen kontinuierlich, und das, obwohl 1920 noch einmal ein kleiner Gletschervorstoß zu verzeichnen war (Nagl und Erschbamer 2010; Gosterxeier et al. 2002; Heuberger 1977). Fotografische Vergleiche zeigen jedes Jahr deutlich, wie stark die Gletscher schmelzen. Sie werden „*kleiner, dünner, durchlöcherter und langsamer, zerfallen und verschwinden*“ (Kuhn et al. 2015, S. 138). Nach dem IPCC- Sonderbericht von 2017 sind die Temperaturen seit der vorindustriellen Zeit aufgrund anthropogenen Wirkens um 0,8°C bis 1,2°C gestiegen (IPCC 2018). Wissenschaftler der Universität Delft rechnen damit, dass die Alpengletscher, aufgrund der Erderwärmung, bis 2100 94 % ihrer heutigen Eismasse verlieren werden (Zekollari et al. 2019).

Die Alpen locken immer mehr Feriengäste an. Vermehrt wird sogar von Massentourismus gesprochen, der die Bergwelt bedroht (Heidenfelder 2017). Pro Tag besuchen etwa 60 Mio. Tagestouristen die Alpen (Bätzing 2018). Um den Besuchern Abenteuer zu bieten, werben Tourismusregionen mit immer spannenderen, actionreicheren Abenteuern. Wie im Sport gilt hier das Motto „höher, schneller, weiter“. Doch jegliche Art von Attraktionen beeinflusst die alpine Landschaft. Die Alpenvereine setzen deshalb auf sanften Tourismus oder Ökotourismus, der das Reisen ökologisch und sozial verträglich machen soll (o.A. 2019). Mit diesen Kampagnen soll das „touristische Kapital“, also die Schönheit der Natur, der Bergwelt und die Unerschlossenheit der alpinen Räume bewahrt werden, denn die Besucher wollen Ruhe und Ursprünglichkeit, Gletscher, Almwiesen, Fels und Wasser weiterhin genießen.

Hier setzt die Umweltbildung der Natur- und Nationalparks an, um den Besuchern die alpinen Landschaften und ihre Schutzbedürftigkeit näher zu bringen. Mithilfe von Führungen, Themenwegen und Ausstellungen lässt sich Wissen für jede Altersstufe aufbereiten und vermitteln. Kinder und Jugendliche lernen hauptsächlich ökologische Grundlagen, die sie später vertiefen können. Erwachsene erfahren oft mehr über die wissenschaftlichen Hintergründe. All diese Aspekte fließen in das Thema dieser Masterarbeit mit ein:

- Die Anlage von Dauerversuchsflächen auf Gletschervorfeldern. So können in Zukunft Wiederholungsaufnahmen der Vegetation gemacht werden, um die Folgen des Klimawandels für die Vegetation im Hochgebirge zu verdeutlichen.
- Die erhobenen Daten sollen auch darüber Auskunft geben, inwieweit Beweidung, die auf einem der Vorfelder durchgeführt wird, die bestehende Vegetation beeinflusst.

- Gleichzeitig soll die Vegetation den Besuchern des Hochgebirgs-Naturparks Zillertaler Alpen, des Gletscherlehrwegs um die Berliner Hütte und den Schülern der Naturparkschulen nähergebracht werden.

## 2. Stand des Wissens und Fragestellung

Durch das Schmelzen der Gletscher finden Pflanzen und Tiere auf den entstehenden Vorfeldern neue, noch unberührte Lebensräume, die sie besiedeln können. Die Temperaturerhöhung kann das Wachstum und die Biomasseproduktion der Pflanzen im Hochgebirge sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Mit der Temperaturerhöhung haben sich bereits heute Wachstumsprozesse und Verbreitungsgrenzen verändert. Einen positiven Effekt hat sie vor allem auf die Samenproduktion und die Keimungsrate einiger Arten. Die Schmetterlingsblütler *Trifolium pallescens* und *Anthyllis vulneraria* subsp. *alpestris* profitieren besonders von einer Temperaturerhöhung, wohingegen *Artemisia umbelliformis* ihr Wachstum nicht vergrößert (Erschbamer 2006b).

Hinsichtlich der Verbreitungsgrenzen erforschen die Wissenschaftler im GLORIA Projekt, wie sich die Flora im Gebirge verändern wird. Pflanzen können sich im Gebirge in der Höhe weiter nach oben ausbreiten und somit Vegetationszonen verschieben. Die Vegetation der alpinen und nivalen Stufe wird verdrängt oder läuft gar Gefahr auszusterben, wenn sie nicht weiter hinaufsteigen können (Erschbamer 2006b). Der Temperaturanstieg gefährdet auch jene Pflanzen, die sich auf Nischen spezialisiert haben. Gehen diese Nischen durch den Klimawandel verloren, finden sie keinen neuen, passenden Lebensraum mehr (Ozenda & Borel 1995). Auch Erschbamer (2006a) ist überzeugt, dass die Hochgebirgspflanzen vom Klimawandel betroffen sein werden und es zu einem höheren Artenschwund kommen kann.

Unberührte Naturflächen, auf denen Sukzession stattfinden kann, gibt es kaum noch. Schon Ellenberg erkannte, wie wichtig solche, vom Menschen, unberührten Flächen sind, denn „*nirgends kann man Sukzession besser studieren als auf den Vorfeldern großer Gletscher*“ (Ellenberg 2003, S. 633). Auch Krause & Frenzel (1957) und Gosterxeier et al. (2002) stellen fest, dass es nur noch wenige Orte auf der Welt gibt, an denen die Voraussetzungen für eine umfassende Sukzessionsforschung passen. Man benötigt Flächen, die möglichst von menschlichem Wirken unbeeinflusst sind, damit die gesamte Abfolge der natürlichen Sukzessionsstadien (Pioniervegetation bis hin zu geschlossenen Rasengesellschaften) und auch der bodenbildenden Prozesse erforscht werden können (Krause und Frenzel 1957). Auf Gletschervorfeldern sind die Stadien zeitlich bestimmbar, so dass die Wiederbesiedelung der neu entstandenen Flächen genau beobachtet werden kann (Heuberger 1977). Als Gletschervorfeld bezeichnet man die Fläche zwischen dem Gletscherende, oder Beginn des Eises, und den Moränen des Vorstoßes zwischen 1850 und 1900.

Sukzession lässt sich in das Primär- und Sekundärstadium und in die Rasenbildung unterteilen (Gosterxeier et al. 2002; Nagl und Erschbamer 2010; Jochimsen 1963). Nagl und Erschbamer (2010) haben versucht, die Sukzessionsstadien noch weiter zu unterteilen und den zeitlichen Ablauf zu differenzieren und zu beziffern. Rezent eisfreie Flächen können circa null bis drei Jahre alt sein, sie sind noch frei von jeglichem Bewuchs. Das Pionierstadium entwickelt sich auf Flächen in einem Alter von vier bis 30 Jahren. Es beherbergt ungefähr 3 Pflanzen pro m<sup>2</sup>. Darauf folgt das frühe Sukzessionsstadium. Eine Zeiteinordnung ist schwierig zu treffen, da es von mehreren Faktoren abhängt. Es wird bedingt durch die Exposition, Hangneigung, Wasserversorgung und Relief. So können Lawinenabgänge und Erdrutsche an steilen Hängen die Besiedelung stören und verzögern. Das Übergangsstadium bis zu einem Flächenalter von etwa 160 Jahren ist geprägt von einem abwechslungsreichen Relief und kleinräumigen Unterschieden mit mosaikartigem Vegetationsmuster. Ab einem Alter von 160 Jahren beginnt die Bildung von Initialrasen. Jochimsen (1963) beschreibt das Pionierstadium als ein Stadium, in dem sich Pflanzen zufällig ansiedeln. Erst im Sekundärstadium erfolgt eine Differenzierung. Die Pflanzendichte pro Fläche nimmt in den ersten Jahren kontinuierlich zu. Danach sinkt der Deckungsgrad aufgrund der höheren Spezialisierung.

Eine wichtige Rolle bei der Sukzession spielen abiotische und biotische Faktoren. Zu den abiotischen zählen unter anderem Substrateigenschaften wie Bodenfeuchte, Korngröße, Meereshöhe, Mikrotopografie, nutzbare Feldkapazität, oberflächliche Austrocknung und Textur. Zu den biotischen Faktoren zählen Diasporenverfügbarkeit, -eintrag und -produktion, Keimungsfähigkeit sowie Mykorrhizierung, lokale Anpassung an den Standort, Wachstumspotential und Konkurrenz. Damit die wenigen Pionierpflanzen sich etablieren können, ist eine ausreichende Wasserversorgung unverzichtbar. Eine erfolgreiche Keimung und ein gutes Wachstum sind entscheidend bei der Besiedelung (Nagl und Erschbamer 2010; Krause und Frenzel 1957).

Eine erfolgreiche Ansamung von Pflanzen kann erst stattfinden, wenn das Gletschervorfeld nicht mehr in Bewegung ist, da Bodenbewegungen eine Keimung erschweren (Jochimsen 1963; Türk und Erschbamer 2010). Mögliche Arten der Bodenbewegung können Erdrutsche, Schuttsetzen und Bodenunruhen aufgrund von Fließbewegungen sein. Die Wurzeln werden dadurch stark belastet und sollten eine hohe Dehnungsfähigkeit besitzen, um eine Bodenbewegung unbeschadet zu überstehen (Jochimsen 1963). Ein zusätzliches Problem stellen Verschüttungen der Pflanzen durch Hangrutsche oder Murenmaterial dar. Eine reine Ansamung der Samen durch Windverbreitung ist hierdurch fast ausgeschlossen. Vegetative

Vermehrungen können solch eine Überschüttung kompensieren und mithilfe unterirdischer Ausläufer der Pflanze zur Ausbreitung verhelfen. (Wittmann und Rucker 2000)



### 3.1. Forschung im Naturpark

Schon früh im 19. Jahrhundert haben Alpinisten/Innen, ForscherInnen und später der Alpenverein mit seinen Gletschermessungen die Forschung im hinteren Zillertal vorangetrieben. Mittlerweile besteht die Aufgabe des Naturparks darin, die bisherigen Forschungsergebnisse zu inventarisieren, aufzubereiten und der Bevölkerung zugänglich zu machen.

### 3.2. Forschungsstandpunkt Berliner Hütte

Bei Gletscherforschern galt die Berliner Hütte (Abb. 2) von Beginn an als geeigneten Stützpunkt. Seit 1891 nutzen sie diesen, um die drei großen Zemmgrundgletscher (Gründe bezeichnen im Zillertal die Täler) Horn-, Schwarzenstein- und Waxeggkees zu untersuchen. Die Gletschervorfelder der drei Gletscher liegen circa 100 m von der Hütte entfernt. Das gemeinsame Vorfeld zählt zu den tiefstreichenden der Ostalpen und erstreckt sich ohne Steilstufen ins Tal. Die Moränenwälle sind sehr gut erhalten, wodurch eine Altersdatierung einfach fällt (Heuberger 1977). Sebastian Finsterwalder hielt, erstmals 1921, an der Berliner Hütte seine Gletscherkurse ab. Die Gletscherkurse waren der Startschuss für interdisziplinäre Zusammenarbeit in der universitären Forschung und Lehre (Pindur und Heuberger 2008). Da das Gebiet aus wissenschaftlicher sowie alpinistischer Sicht von geschichtlicher Bedeutung ist, werden die Gletscher bis heute vom ÖAV und der Kommission für Glaziologie jährlich vermessen (Nietzsche (2015)).



Abbildung 2: Berliner Hütte © Klaus Wildkal

## 4. Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wurden die Gletschervorfelder von Horn- und Waxeggkees an der Berliner Hütte ausgewählt (siehe Abb. 3). 2004 hat der Österreichische Alpenverein mithilfe von Helmut Heuberger und Roman Türk einen Gletscherlehrweg mit Begleitbuch entlang der Vorfelder eingerichtet. Im Begleitbuch wird alles Wissenswerte über Geologie, Gletscherrückzug, Moränen und Vegetation beschrieben. Der Weg führt über die Wanderwege 523 und 502. Er startet am Gasthof Alpenrose und führt hinauf zur Berliner Hütte. Von dort folgt man dem Berliner Höhenweg in Richtung Schönbichler Horn. Auf der westlichen Seitenmoräne des Waxeggkees' muss man wieder hinab zur Waxeggalm und erreicht den Ausgangspunkt. Im Führer sind zehn Haltepunkte erwähnt, zwei davon mit Schautafeln.

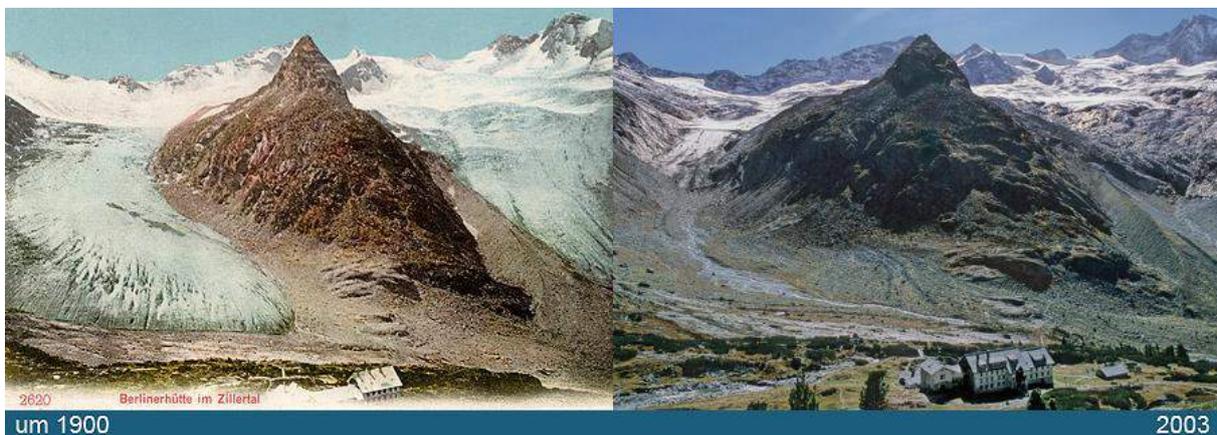


Abbildung 3: Vergleich Gletscherstände um 1900 und 2003. Rechts auf den Bildern sieht man das Waxeggkees, an den linken Bildseiten das Hornkees, © Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung

### 4.1. Geographische Lage, naturräumliche Eingliederung und Topografie

Die Gletschervorfelder liegen im Talschluss des Zemmgrunds. Vom Zillertal zweigt der Zemmgrund, oder hinteres Zillertal nach Süden ab. Am Alpengasthof Breitlahner (1256 m NN) zweigt der Zemmgrund vom Zemtal ab. An der Waxeggalm trifft man auf den Alpenhauptkamm. Die Gipfel der Berliner Spitzen I bis IV, sowie der Turnerkamp, Großer Möseler und das Schönbichler Horn begrenzen das Horn- und Waxeggkees nach Süden. Sie werden vom Bergkamm in 270° umrahmt (Meran 2011).

Die Vorfelder befinden sich in einer Höhe von 2000 bis 2200 m NN. Die Hangneigung liegt zwischen 26 und 28 %, wobei das Vorfeld des Waxeggkees durch eine Steilstufe /Felswand geprägt ist.

## 4.2. Klimatische Bedingungen

Der Zillertaler Hauptkamm liegt im Einflussbereich der kontinentalen Klimazone. Große Temperaturunterschiede, tageszeitlich, sowie jahreszeitlich, prägen die Gegend. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 2°C in 1800 m NN. In 1800 m NN muss man an 120 Tagen mit Frost rechnen. Die Hauptniederschläge fallen im Juli, die Wenigsten in Herbst und Winter.

Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt zwischen 1000 mm im Tal und 2600 mm am Hauptkamm (Fliri 1975; Pindur und Luzian 2007). Zur Veranschaulichung dient ein Klimadiagramm vom Bergsteigerdorf Ginzling auf 1060 m (siehe Abb. 4).

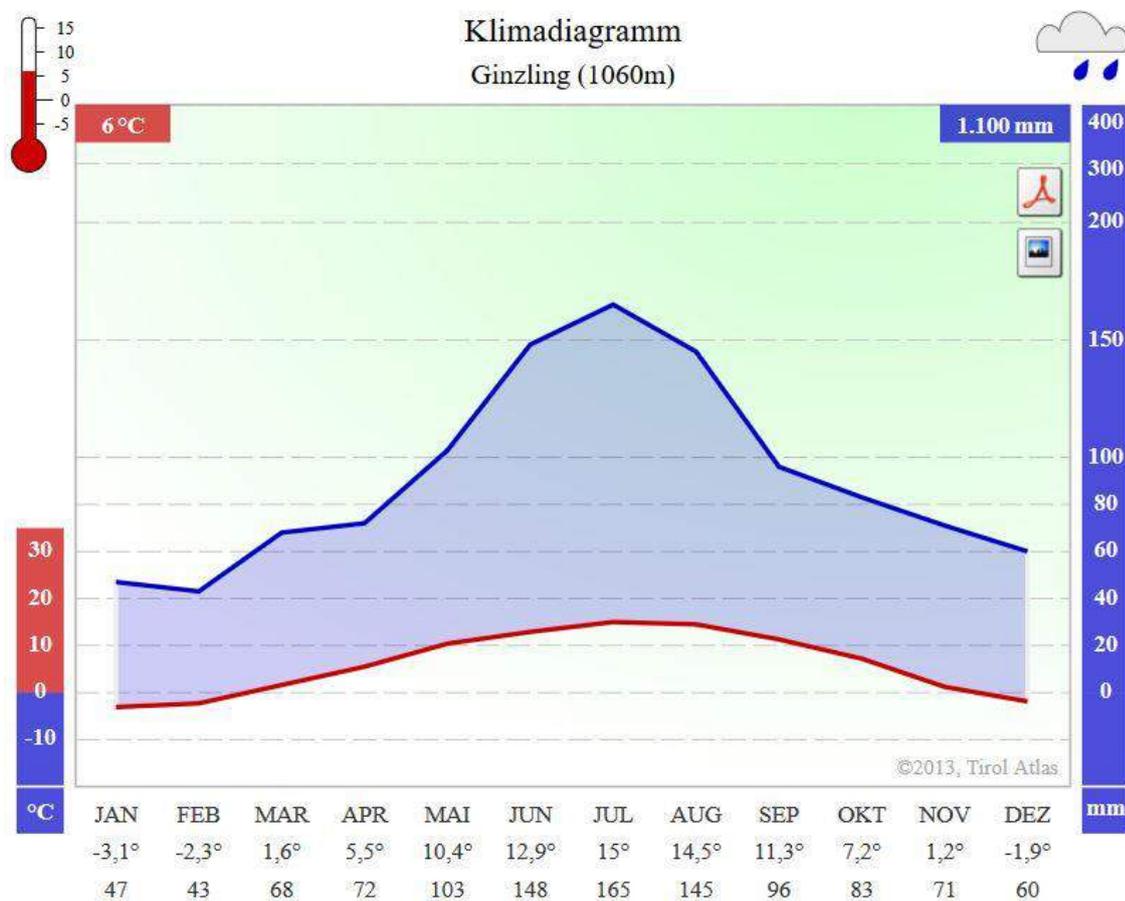


Abbildung 4: Klimadiagramm Ginzling (nach Walter/Lieth, Daten vom ZAMG)

### 4.3. Geologie und Böden

Aus geologischer Sicht gehören die Zillertaler Alpen zum Ostalpin, genauer zum geologisch bedeutenden, 176 km langen Tauernfenster (siehe Abb. 5). Hier treten tiefere, also ältere Gesteinsschichten zu Tage, da das jüngere Gestein bereits erodiert ist (Auffinger 2014). Hauptgesteinsart ist der Zentralgneis (Granitgneis). Die Gletschervorfelder sind geprägt durch Prozesse aus dem Quartär, also nach den letzten Eiszeiten. Hierzu zählen Berg- und Felsstürze, Überschwemmungen und Vermurungen. Schutt- und Geröllflächen entstehen, die mit der Zeit von Flechten und Pflanzen überwachsen werden. Die Seiten- und Endmoränen der sog. Kleinen Eiszeit um 1850, sind auf den Vorfeldern deutlich zu erkennen. Zudem werden die Gletscher seit 1890 glaziologisch beobachtet. Die Wissenschaft kann also auf eine der längsten Zeitreihen glazialer Forschung zurückgreifen (Heuberger 1977).

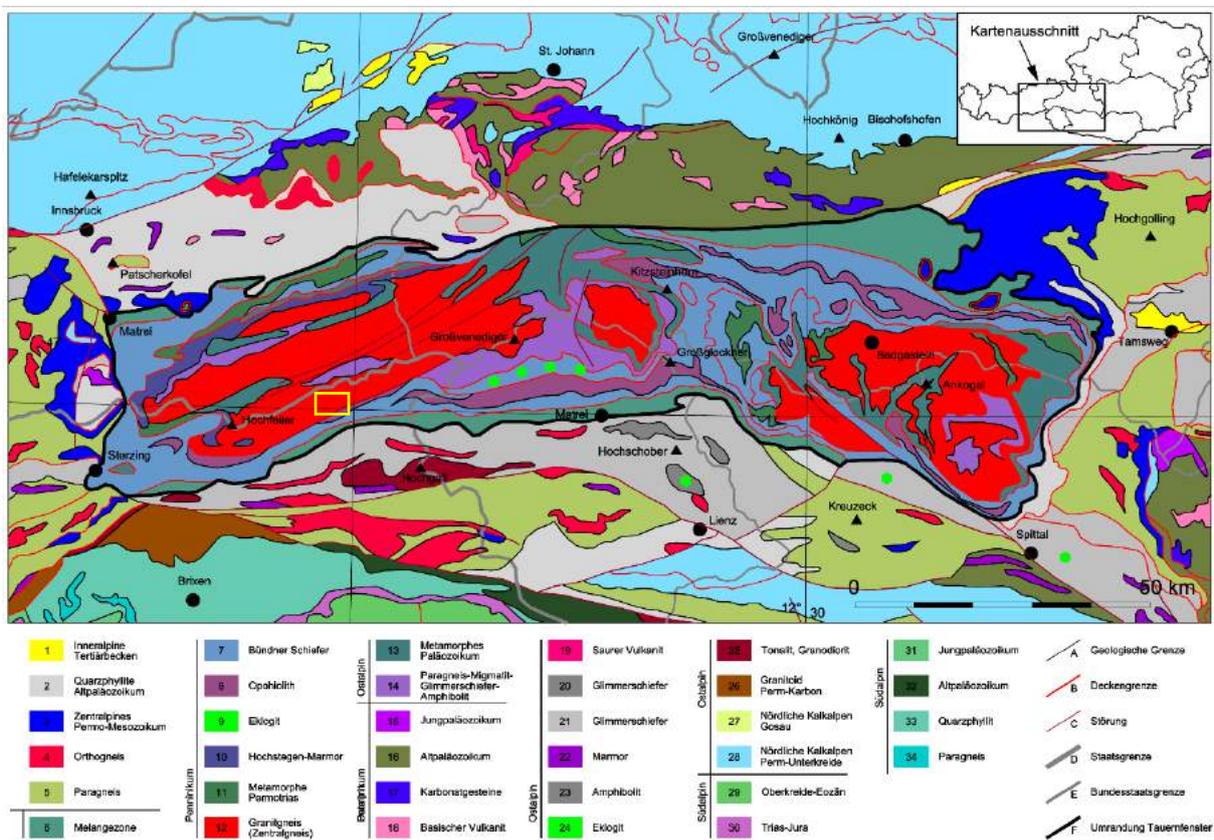


Abbildung 5: Geologie des Tauernfensters, im gelben Kasten das Untersuchungsgebiet, © Geologische Bundesanstalt Wien 2018

#### 4.4. Vegetation

Die Vegetation im Untersuchungsgebiet (exemplarisch Abb. 6 und 7) wird gebildet von alpinen und subalpinen Pflanzengesellschaften. In der alpinen Stufe finden wir hauptsächlich alpine Grasheiden, Schutt- und Felsvegetation, sowie Schneetälchenvegetation. Charaktergesellschaften sind: *Caricetum curvulae*, *Salicetum herbacae* und *Oxyrietum digynae*. In der subalpinen Stufe kommen die Gesellschaften *Larici-Cembretum*, *Rhododretum ferruginei*, *Vaccinietum myrtilli*, sowie *Callunetum*, *Nardetum* und *Loiseleurietum* vor.



Abbildung 6: Blick auf das Vorfeld des Waxeggkees, © Anne-Marie Heinze



Abbildung 7: Blick auf das Vorfeld der 1850er Moräne mit Waxeggalm in der Bildmitte, © Anne-Marie Heinze

## 5. Methodik

Zu Beginn der Untersuchung musste das Alter des Gletschervorfelds bestimmt werden. Anschließend ist die Vegetation systematisch aufgenommen worden. Darauf folgt die statistische Auswertung.

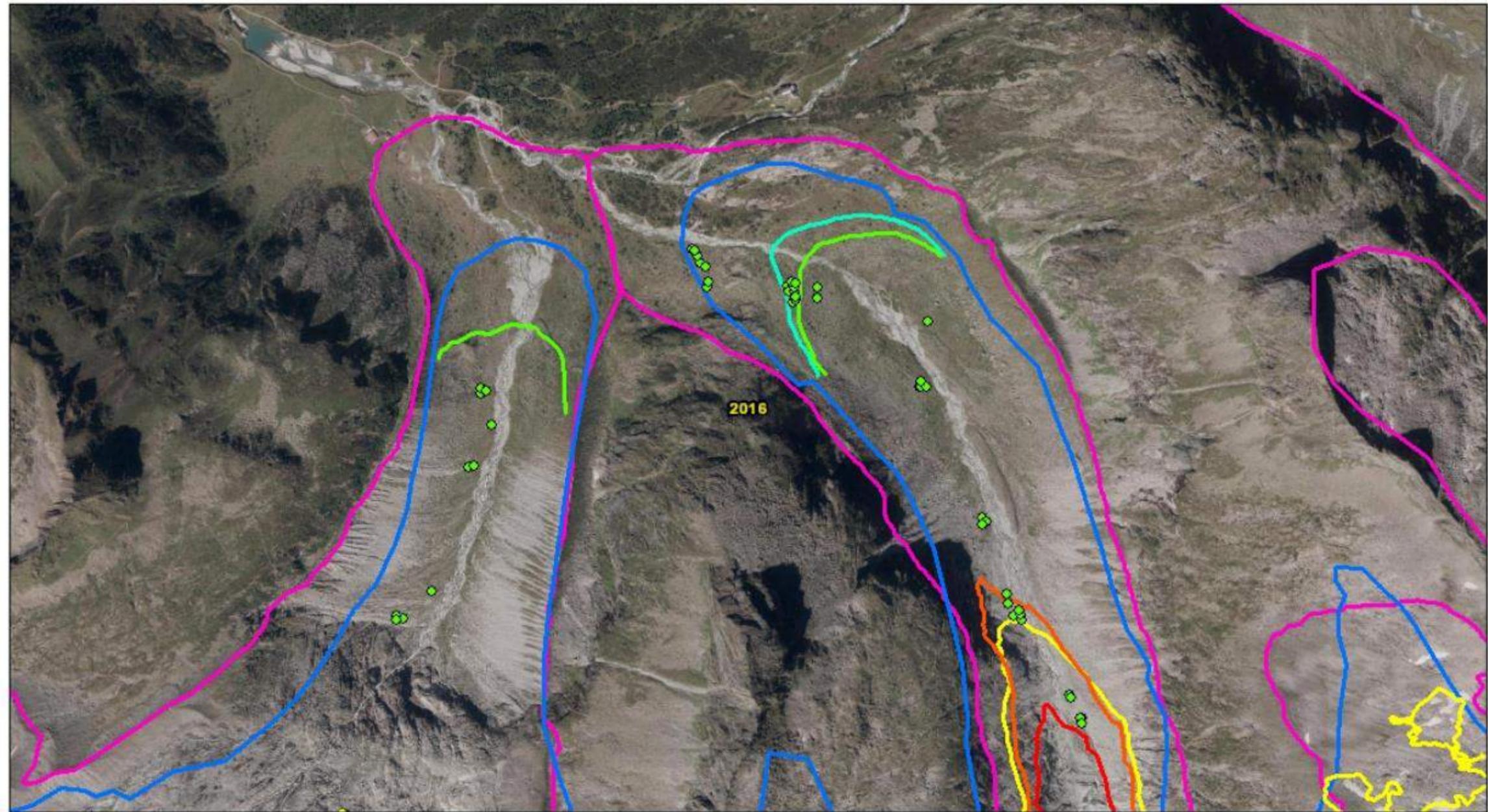
### 5.1. Rekonstruktion des Gletscherstands

Den Rückzug des Gletschers und damit das Alter der frei gewordenen Flächen wurde mithilfe von historischen Alpenvereinskarten von 1850, 1882, 1930, 1932 und ab 1969 durch Orthophotos des Landes Tirol rekonstruiert. Als weitere Datengrundlage wurde die Gletscherstudie von Nietzsche (2015) herangezogen, in der bereits der Gletscherrückzug zwischen 1969, 1989 und 2011 dokumentiert und aufgearbeitet wurde. Zusätzlich konnte der jüngste Rückzug der Gletscher durch die Längenmessungen vom ÖAV und dem WGMS in der Schweiz ermittelt werden. Der ÖAV vermisst seit 1891 jährlich zusammen mit der Kommission für Glaziologie die Zemmgrundgletscher, wodurch auch die Vorstoßperioden sehr zuverlässig und genau erfasst werden.

Die größte Gletscherveränderung fand zwischen 1850 und 1969 statt. Der Gesamtverlust beläuft sich auf 24,5 km<sup>2</sup> (38 %) bezogen auf den nacheiszeitlichen Höchststand von 1850. Seit 1999 nimmt der Verlust jährlich um 0,1 km<sup>2</sup> (3,5 %) weiter zu (Meran 2011), wobei das Hornkees stärker schmilzt als das Waxeggkees. Die Längenänderung seit 1882 beträgt am Hornkees 1371 m und am Waxeggkees 873 m. Da am Waxeggkees die Gletscherzunge (Zehrgebiet) schon sehr früh abgeschmolzen ist, ist der Eisverlust heute geringer. Das große Nährgebiet am Nordhang des Großen Möseles kompensiert die Eisverluste. Zuwachs und Verlust gleichen sich am Waxeggkees fast aus (Nietzsche 2015; Schwendinger und Pindur 2013).

In Abbildung 8 ist der Rückzug der Gletscher dargestellt. Zwischen 1850 und 1890 haben sich die Zungen um circa 500 m zurückgezogen. Darauf folgte ein erster Vorstoß von 1891 bis 1901 und ein zweiter von 1916 bis 1923. Das Hornkees rückte dabei an seinen Moränenwall von 1910 auf 50 m heran. Die Zunge des Waxeggkees endete 120 m vor dem 1902er-Endmoränenwall (Nietzsche 2015).

# Gletscherrückgang und Vegetationsaufnahmen an Horn- und Waxeggkees



◆ Vegetationsaufnahmen

2011	1969	1901	1850
1998	1923	1882	

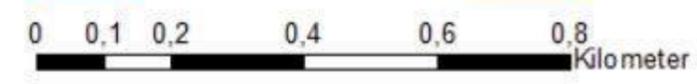


Abbildung 8: Gletscherrückgang und Vegetationsaufnahmen (Orthophoto: © Land Tirol)

## 5.2. Anlage der Versuchsfelder und Vegetationsaufnahmen

Der größte Teil der Versuchsfelder (siehe Abb. 8) liegt auf dem Hornkees. Aufgrund der starken Beweidung am Waxeggkees kam es zu beträchtlichen Störungen der natürlichen Sukzessionsabfolge. Deshalb befinden sich dort nur 10 Versuchsfelder. Die Versuchsfelder wurden entlang der Gletscher-Rückzugsgrenzen und Moränenwällen angelegt, um ihr Alter möglichst genau angeben zu können. Um die Felder vor Beeinträchtigungen durch Wanderer zu schützen, liegen sie auf der westlichen Seite des Gletscherbachs. Auf der östlichen Bachseite führt ein Pfad zur Gletscherzunge. Zu Beginn dieses Pfades befindet sich die Gletscherkindfläche, die in Zukunft der Umweltbildung des Naturparks dienen soll. Die Felder der 2011er-Moräne mussten, aufgrund von Felsplatten, östlich des Bachs angelegt werden. Die Bezeichnung jeder Aufnahmefläche, z.B. H 1901.1 gliedert sich folgendermaßen:

- „H“ steht für das Vorfeld des Hornkees‘
- „W“ für das Vorfeld des Waxeggkees‘
- Die Jahreszahl entspricht dem Gletscherstand zum Zeitpunkt der Kartenerstellung
- Die fortlaufenden Nummern bezeichnen die Aufnahmeflächen je Zeitabschnitt

Die Vegetationsaufnahme erfolgte nach der Methode von Braun-Blanquet (1964), wobei die Artmächtigkeiten in Prozent [%] geschätzt wurden. Die Größe der Aufnahmeflächen beträgt 1x1m.

Zu den floristischen Daten wurden für jede Aufnahmefläche Koordinaten (GPS-Empfänger Garmin eTrex Vista HCx, Genauigkeit 10 m), Meereshöhe (GPS-Empfänger Garmin eTrex Vista HCx) und Neigung [°Grad] bestimmt. Die maximale Wuchshöhe [cm], Gesamtdeckung [%] und die Deckung der krautigen Pflanzen [%] wurde geschätzt. Da das GPS-Gerät eine relativ schlechte Genauigkeit hat, wurden die Felder bei der Aufnahme bereits in ein Orthophoto eingetragen und später mit den GPS-Koordinaten abgeglichen.

Die Artbestimmung erfolgte so weit als möglich im Gelände. Schwierig zu bestimmenden Arten (*Salix spec.*, *Myosotis spec.*, *Taraxacum spec.*) wurden gesammelt und später im Naturparkhaus bestimmt. Eine Artenliste, basierend auf Vegetationsfunden des Ferdinandeum in Innsbruck diente bei schwierig zu bestimmenden Arten als Grundlage. Alle Gefäßpflanzen wurden nach der Nomenklatur von Fischer et al. (2008) benannt. Flechten und Moose wurden nicht bestimmt.

### 5.3. Auswertungsverfahren

Die statistische Auswertung erfolgte durch Frau Dr. Barbara Michler, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet für Geobotanik. Die Vegetationsaufnahmen sind in einer Microsoft Access-Datenbank hinterlegt. Im ersten Schritt wurden die Daten mithilfe einer Clusteranalyse klassifiziert. Für die Clusteranalyse wurde die Ward-Methode genutzt und als Ähnlichkeitsmaß die euklidische Distanz. Durch solch eine Analyse lassen sich hierarchische Ähnlichkeitsstrukturen zwischen den Arten aufzeigen. Als Ergebnis der Clustermethode erhält man Dendrogramme.

Im zweiten Schritt wurde eine Korrespondenzanalyse mittels Ordination durchgeführt. Hierfür wurden Arten mit niedrigen Deckungen, also einem Deckungsgrad unter 1%, transformiert und höher gewichtet.

## 6. Ergebnisse

Insgesamt sind 63 Versuchsflächen dauerhaft markiert. Zehn Flächen liegen am Vorfeld des Waxeggkees und 52 am Vorfeld des Hornkees. Eine zusätzliche Fläche für die Umweltbildung im Hochgebirgs-Naturpark (H1923. Gletscherkind (GK)) befindet sich am Hornkeesvorfeld auf der westlichen Bachseite.

Zu Beginn folgt ein Überblick über die durchschnittlichen Deckungsgrade auf den Moränenflächen:

*Tabelle 1: Mittlere Deckungsgrade auf den Vorfeldern*

Moräne	Mittlerer Deckungsgrad [%]
W 1969	70,8
W 1969.1-3	33,5
H 1882	69,9
H 1901	94,2
H 1923	73,1
H 1998	32,5
H 2011	7,5

Auffällig ist der Wert der H 1901- Flächen, der um fast 25 % höher ist als der Wert der älteren H 1882 Flächen. Nach 1901 nehmen die Deckungswerte weiter ab.

### 6.1. Clusteranalyse aller Arten

Durch die Clusteranalyse ergeben sich sieben unterschiedliche Gruppen (in Abb. 9 gekennzeichnet durch die Zahlen eins bis sieben hinter den Aufnahmeflächen). Auf der x-Achse sind die Aufnahmeflächen aufgetragen und auf der y-Achse das Ähnlichkeitsverhältnis. Je weiter oben die Flächen miteinander verbunden sind, desto weniger Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung bestehen. Die blaue Linie zeigt die Ähnlichkeit an, bei der das Auswertungsprogramm die sieben Gruppen unterschieden hat. Die Versuchsflächen H1901.10 und H1901.7 (Gruppe 3, rot umrahmt) sind sich hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung zueinander sehr ähnlich. Sie zeigen aber kaum Ähnlichkeiten zu den

Aufnahmen der anderen Flächen. Gruppe 2 ist die größte Gruppe mit 20 Flächen. Hier fällt auf, dass die Flächen H1901.3 und H1901.9 sich sehr von den anderen 18 Flächen unterscheiden. Gruppe 1 beinhaltet 14 Flächen, wobei sich jeweils sieben ähnlicher sind. In Gruppe 6 zeigt sich ein inhomogenes Ähnlichkeitsverhältnis. Mit nur vier Flächen zählt Gruppe 5 zu den eher kleineren Gruppen, mit ähnlicher Artzusammensetzung. In der Gruppe 7 sind nur Flächen von der H1998-Moräne zusammengefasst. In Gruppe 4 zeigt sich wieder ein inhomogenes Ähnlichkeitsverhältnis, vergleichbar mit dem von Gruppe 2.

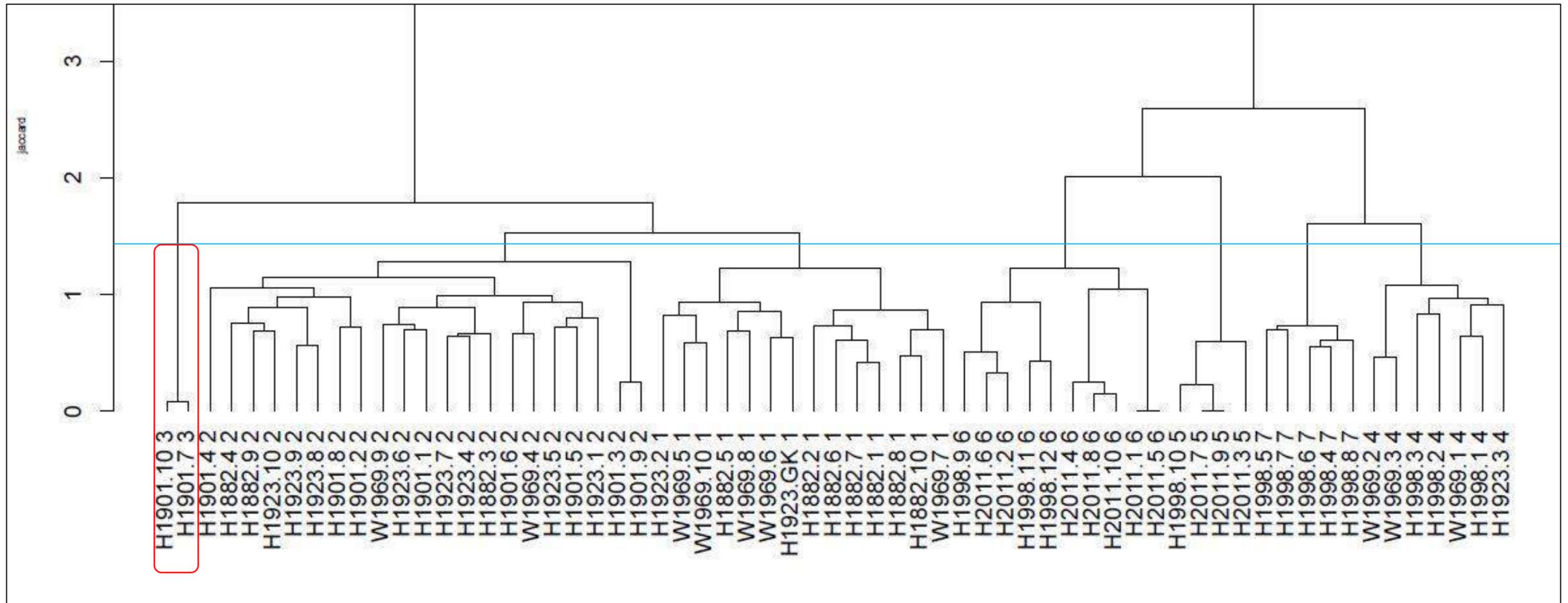


Abbildung 9: Klassifikation der Aufnahmen hinsichtlich ihrer Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung

Abbildung 10 zeigt die signifikant vorkommenden Arten, zugeordnet zu ihren Aufnahme­flächen und Vegetationsgruppen (In Beilage 2 ist die Klassifikation mit allen vorkommenden Arten dargestellt). Auch hier ist deutlich erkennbar, dass Gruppe 3 isoliert von den anderen Gruppen vorkommt. 50% der hier wachsenden Arten kommen fast ausschließlich auf diesen beiden Flächen vor. Es handelt sich um: *Adenostyles alliariae*, *Rumex scutatus*, *Peucedanum ostruthium*, *Cirsium spinosissimum*, *Taraxacum spec.*, *Deschampsia cespitosa*, *Carex atrata subsp. aterrima*, *Alchemilla fissa*. Gruppe 2 und 1 beinhalten die gleichen Arten: *Alchemilla fissa*, *Potentilla aurea*, *Euphrasia minima*, *Anthoxanthum alpinum*, *Trifolium pallescens*, *Trifolium pratense*, *Campanula scheuchzeri*, *Leontodon hispidus*, *Rhinanthus glacialis*, *Homogyne alpina*. Es fällt auf, dass die Artzusammensetzung genau umgekehrt verteilt ist. Die Häufigkeit der Arten, in oben genannter Reihenfolge, nimmt in Gruppe 2 zu, wogegen sie in Gruppe 3 abnimmt.

Vergleicht man die Arten der Gruppen 1 bis 3 und 4 bis 7, ändert sich die Zusammensetzung ab Gruppe 4 erneut. Folgende Arten sind in den Gruppen 4 bis 7 vorherrschend: *Agrostis alpina*, *Cerastium uniflorum*, *Cystopteris fragilis*, *Carex curvula*, *Oxyria digyna*, *Saxifraga bryoides*, *Cerastium holosteoides*, *Arabis alpina*. In der Gruppe 4 finden wir die höchste Artenvielfalt. Es kommen sowohl Arten aus den Gruppen 1 bis 3 als auch aus den Gruppen 5 bis 7 vor (*Adenostyles alliariae*, *Carex atrata subsp. aterrima*, *Euphrasia minima*, *Anthoxanthum alpina*, *Trifolium pallescens*, *Campanula scheuchzeri*, *Leontodon hispidus*, *Homogyne alpina*, *Agrostis alpina*, *Saxifraga bryoides*). Gruppe 4 steht demnach zwischen den beiden Haupt-Vegetationsgruppen. In Gruppe 5 fehlen die Arten *Arabis alpina* und *Anthoxanthum alpina* und in Gruppe 7 kommen wieder Arten vor, die in Gruppe 5 und 6 nicht vorkommen (*Agrostis alpina*, *Cerastium uniflorum* und *Cystopteris fragilis*).

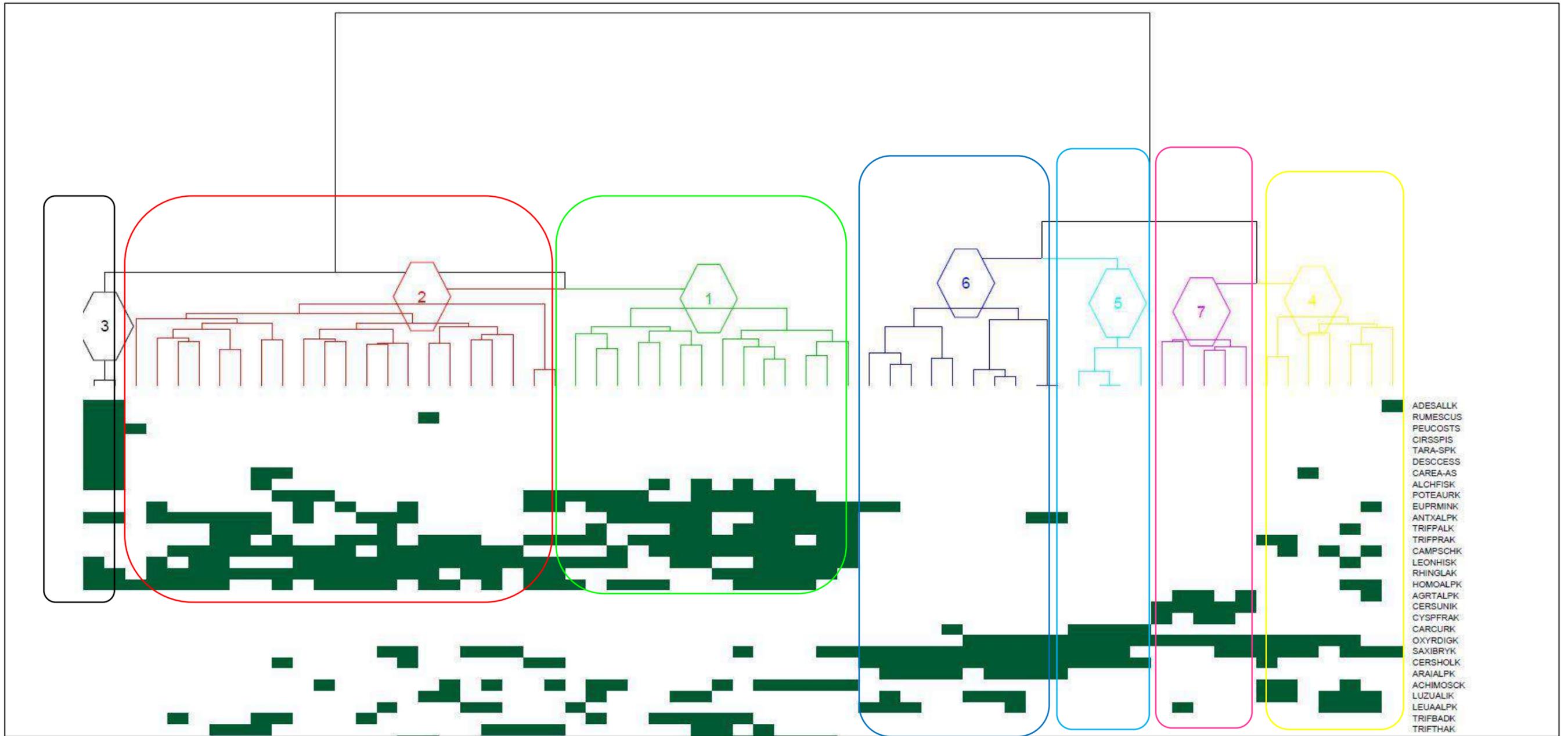


Abbildung 10: Klassifikation der Vegetationsgruppen nach ihren signifikanten Arten

## 6.2. Clusteranalyse ohne Ausreißer

Das Dendrogramm, ohne die Ausreißer von Gruppe 3 in Abb. 9, unterscheidet wieder alle Aufnahmen in sieben verschiedene Gruppen.

Die einzig erkennbare Veränderung des bereinigten (Abbildung 11) zum unbereinigten (Abbildung 9) Dendrogramm zeigt wieder die Vegetationsgruppe 3. Die beiden Ausreißer H 1901. 7 und H 1901.10 ersetzen die H 1901.3 und H 1901.9. In der unbereinigten Form zählen beide Flächen noch zur Gruppe 2. Aus Abbildung 11 geht hervor, welche Arten sich in Gruppe 3 und Gruppe 2 unterscheiden. *Gentiana bavarica* und *Luzula alpinopilosa* kommen in Gruppe 3 nicht vor, sehr wohl aber in Gruppe 2. In Gruppe 3 fehlen dafür *Campanula scheuchzeri* und in der Krautschicht *Anthoxanthum alpinum*.

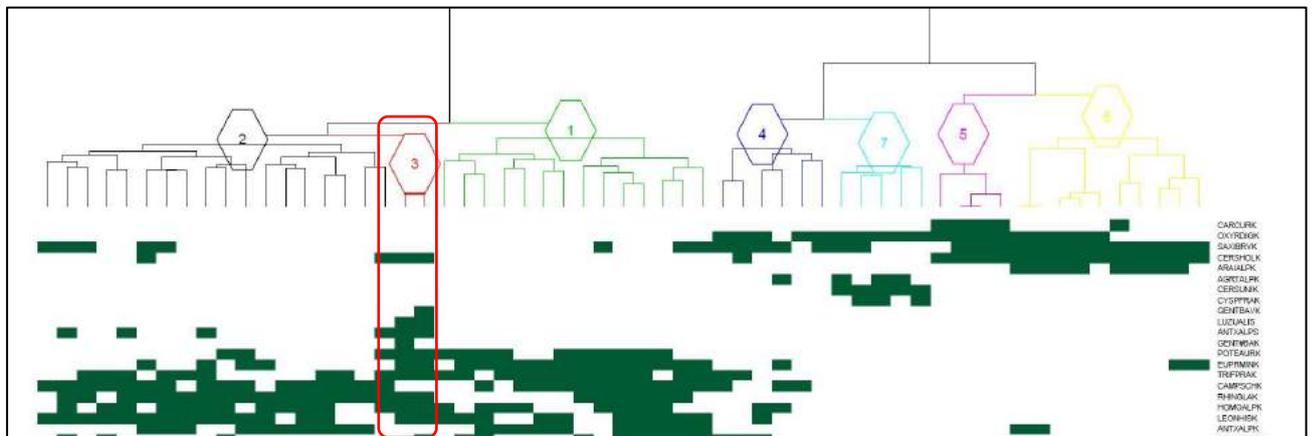


Abbildung 11: Klassifikation der Vegetationsgruppen nach ihren signifikanten Arten, ohne die Ausreißerfläche H 1901.7 und H 1901.10

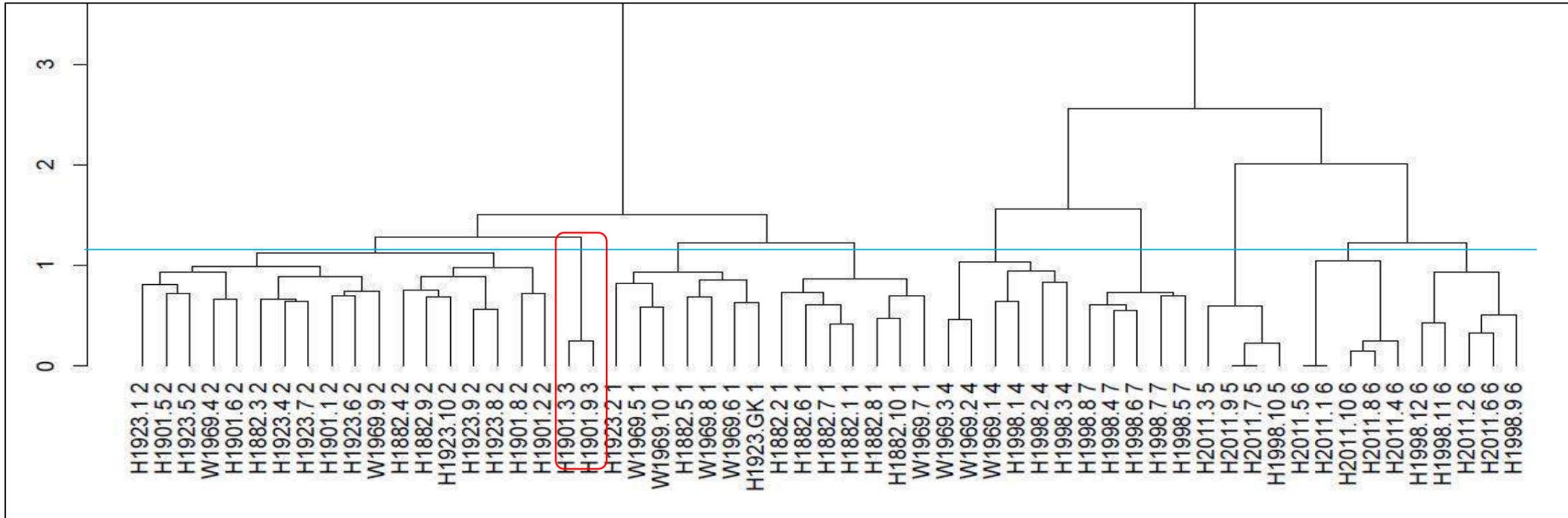


Abbildung 12: Klassifikation der Aufnahmen hinsichtlich ihrer Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung

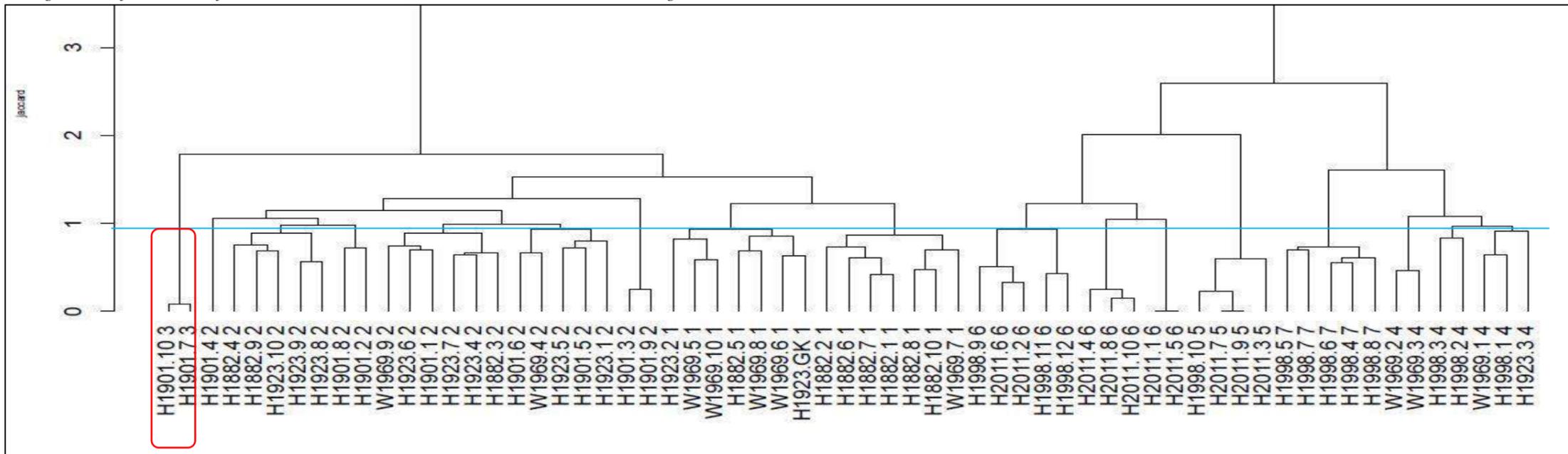


Abbildung 13: Klassifikation der Aufnahmen hinsichtlich ihrer Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung

Tabelle 2: Sukzessionsstadien der Vegetationsgruppen nach Altersstruktur (nach (Nagl und Erschbamer 2010; Gosterxeier et al. 2002))

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7
1882 (7)	1882 (3)					
	1901 (8)	1901 (2)				
1923 (2)	1923 (8)		1923 (1)			
1969 (5)	1969 (2)		1969 (3)			
			1969 (3)			
				1998 (1)	1998 (3)	1998 (5)
				2011 (3)	2011 (7)	
Übergangsstadium	Übergangsstadium	Übergangsstadium	Sekundär-, Übergangsstadium	Pionierstadium	Pionierstadium	Pionierstadium

Aus Tabelle 2 geht die Altersstruktur der Vegetationsgruppen hervor. Diese unterscheidet sich in den Dendrogrammen mit und ohne Ausreißer nicht. Auffällig ist, dass die Vegetationsgruppen 1, 2 und 4 einen langen Zeitraum von circa 70 bis 90 Jahren abdecken. In der Gruppe 1 herrschen Flächen von der Moräne 1882 vor, gefolgt von denen der 1969er-Moräne. Die Gruppe 2 wird von den Altersstufen 1901 und 1923 dominiert. Die mittelalten Flächen von 1969 herrschen zusammen mit 1998 in Gruppe 4 vor. Die Gruppen 5 bis 7 beinhalten die jungen Flächen von 1998 bis 2011, wobei die Vegetationsgruppen 5 und 6 von den jüngsten eisfrei gewordenen Flächen geprägt sind.

### 6.3. Klassifikation der Vegetationsgruppen und Arten

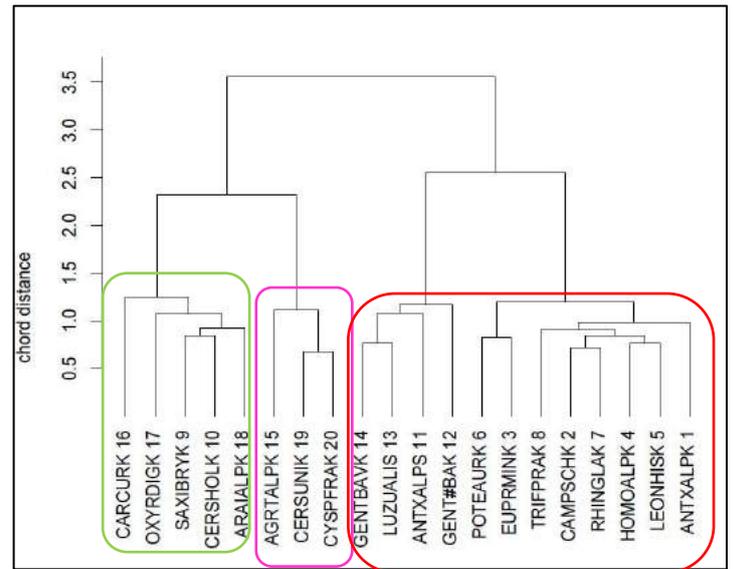
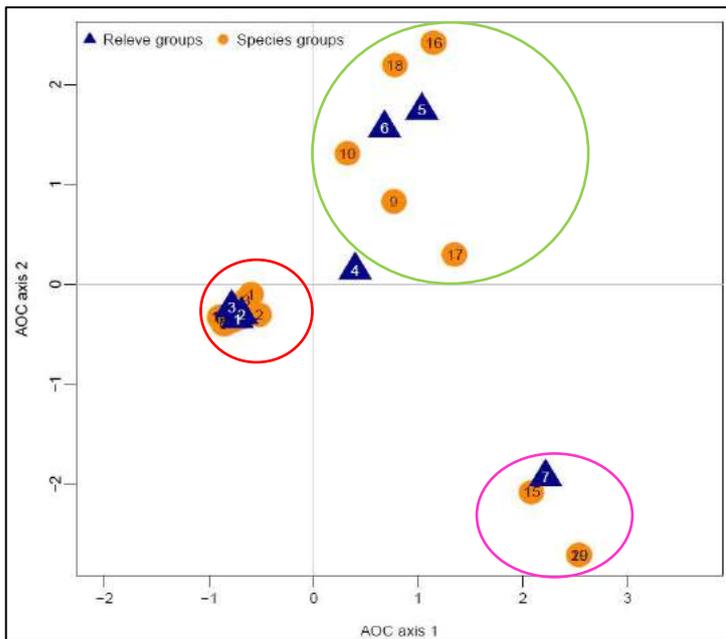


Abbildung 15: Dendrogramm der Ähnlichkeiten der signifikant vorkommenden Arten

Abbildung 14: Ordination der Vegetationsgruppen und ihrer signifikanten Arten

Abbildung 14 zeigt die Zusammenhänge der Vegetationsgruppen und der signifikant vorkommenden Arten. Die Vegetationsgruppen 1 bis 3 haben hohe Ähnlichkeiten in ihrer Artzusammensetzung (vgl. Abbildung 9, 11). Die häufig auftretenden und sich ähnelnden Arten (vgl. Abbildung 15) sind *Gentiana bavarica*, *Luzula alpinopilosa*, *Anthoxanthum alpinum*, *Potentilla aurea*, *Euphrasia minima*, *Trifolium pratense*, *Campanula scheuchzeri*, *Rhinanthus glacialis*, *Homogyne alpina* und *Leontodon hispidus*. Die Gruppen 4 bis 6 stehen weit voneinander entfernt, was auf Unterschiede in ihrer Artzusammensetzung hinweist, wobei unklar bleibt, ob Gruppe 4 mehr Ähnlichkeiten zu den Gruppen 1 bis 3 oder 5 und 6 aufweist. Gruppe 7 steht abseits der anderen Gruppen. Ihre signifikanten Arten (*Agrostis alpina*, *Cerastium uniflorum*, *Cystoperis fragilis*) zeigen ebenfalls wenig Ähnlichkeit mit den Arten der anderen Gruppen.

Kurz zusammengefasst, lassen sich die Flächen aufgrund ihrer Artenzusammensetzung in sieben Vegetationsgruppen einteilen. In den Gruppen 1 und 2 finden sich neben den ältesten Flächen von 1882 auch die mittelalten von 1901 bis 1969. Gruppe 3 stellt Flächen von der 1901er Moräne dar, die die wenigsten Ähnlichkeiten mit allen anderen Flächen haben. Gruppe 4 fasst Flächen von 1923 bis 1998 zusammen. Die Gruppen 5 bis 7 beinhalten die jüngsten Flächen des 1998 und 2011 eisfrei gewordenen Vorfeldes.

#### 6.4. Unterschiede der Vegetation auf Horn- und Waxeggkees

Die 10 Aufnahmeflächen des Waxeggkees sind in die Vegetationsgruppen 1, 2 und 4 eingeteilt. Gruppe 1 bilden sie mit zwei Flächen auf der H 1923 Moräne. In Gruppe 2 befinden sich zudem Aufnahmeflächen von H 1882, H 1901 und H 1923. Gruppe 4 bilden die Waxeggkees-Flächen zusammen mit Flächen der H 1923- und H 1998-Moräne.

Vergleicht man exemplarisch je eine Fläche von beiden Gletschervorfeldern aus der Vegetationsgruppe 2 (W 1969.6 (Abb. 16) und H 1923.6 (Abb. 17)) miteinander, fallen schon beim Betrachten von Fotos floristische Unterschiede auf. Beide Flächen liegen im gleichen Zeitabschnitt der Vorfelder, auf nahezu gleicher Höhe an den Moränenwällen von 1923 und sind in die Vegetationsgruppe 2 eingeteilt. Das große Vorkommen von *Nardus stricta* sticht hervor. Auf dem Hornkees tritt *Nardus stricta* in geringer Deckung auf den Versuchsflächen H 1923.1 und 2 auf. Am Waxeggkees beträgt seine Deckung auf den Versuchsflächen 10 bis 70%.



Abbildung 16: Aufnahmefläche W 1969.9 mit *Nardus stricta*,  
© Anne-Marie Heinze



Abbildung 17: Aufnahmeflächen H 1923.6 ohne *Nardus stricta*,  
© Anne-Marie Heinze

Die Fläche W 1969.6 hat, nach Abbildung 8, ein enges Ähnlichkeitsverhältnis zur Fläche H 1923.6 und H 1901.1. Tabelle 2 zeigt exemplarisch die Unterschiede in der Artzusammensetzung der drei Flächen. Die Artenvielfalt ist auf den Flächen des Hornkees höher.

## 6.5. Bestimmungsbuch für die Umweltpädagogik

Die Gletscherkindfläche (H 1901.GK) wurde für die Umweltbildungsangebote des Hochgebirgs-Naturparks eingerichtet. Dritt- und Viertklässler der Naturpark-Volksschulen verbringen jeden Sommer einige Tage mit den Naturparkführern im Bereich der Waxeggalm. Unter dem Thema „Gletschererlebnistage“ lernen sie vieles rund um das Thema Ökologie der Gletscher, Wetter und Klima, Eis und Schnee sowie Flora und Fauna kennen. Damit die Kinder verstehen, wie man wissenschaftlich korrekte Vegetationsaufnahmen macht, wurden alle Arbeitsschritte fotografisch festgehalten. So kann die Methode von der Flächenauswahl über die dauerhafte Markierung, das Einmessen der Koordinaten und das Bestimmen der Neigung bis hin zu den eigentlichen pflanzensoziologischen Aufnahmen komplett nachvollzogen werden. Im ersten Teil des Buches (Abb. 18) wird die Methodik und das Thema der Masterarbeit dargestellt. Im zweiten Teil sind alle Pflanzen, die auf der Gletscherkindfläche vorkommen, mit Bildern und Worten beschrieben. Zusätzlich finden sich häufige Arten und solche mit besonderen Merkmalen (starker Geruch, essbare Pflanzen, hohe Verwechslungsmöglichkeiten) wieder. Auf die Beschreibung von Gräsern wurde nach Rücksprache mit dem Naturpark verzichtet. Das vollständige Bestimmungsbuch findet sich in Beilage 3.



Abbildung 18: Titelblatt Pflanzen-Bestimmungshilfe, © Anne-Marie Heinze

## 7. Diskussion

### 7.1. Sukzessionsstadien nach Deckungsgrad und Arten

Die Vegetationsaufnahmen/ Vegetationsgruppen lassen sich anhand ihrer Artzusammensetzung und ihres Deckungsgrades in folgende Sukzessionsstadien (Abb. 19) einteilen (nach Danler (2016), Erschbamer et al. (1999), Mallaun (2001)):

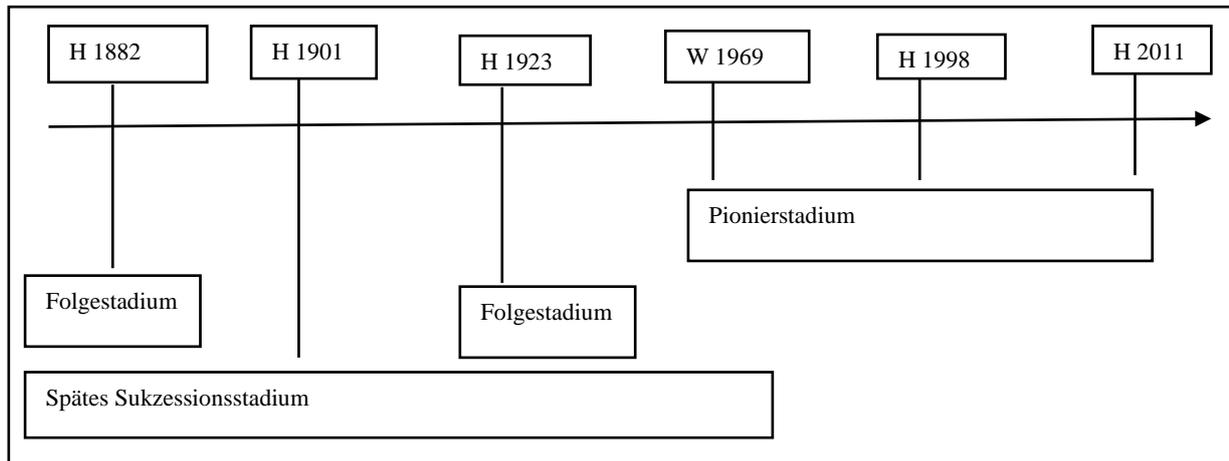


Abbildung 19: Zeitstrahl der Sukzessionsstadien nach Deckungsgrad, © eigene Darstellung

charakteristisch. In das Pionierstadium fallen die Flächen der Moränen von H 2011, H 1998 und die südlichsten drei Aufnahmeflächen der W 1969 Moräne. Man findet den typischen Bewuchs mit den Pionierpflanzen *Saxifraga aizoides*, *Cerastium uniflorum*, *Oxyria digyna* und *Arabis alpina*.

Im **Folgestadium** beträgt die Gesamtdeckung bereits 40-75 %. Zum Folgestadium gehören demnach die Flächen der Moränen von H 1923, H 1882 und W 1969. Hier wachsen vorwiegend *Trifolium pallescens*, *Poa alpina*, *Salix herbacea*, *Leontodon hispidus*, *Euphrasia minima* und *Campanula scheuchzeri*.

Auf den Grundmoränen ab dem Jahr 1923 beträgt die Deckung bereits 50-90 %. Zum **Späten Sukzessionsstadium** zählen demnach H 1882, H 1901, H 1923 und W 1969. Pionierpflanzen nehmen immer mehr ab und werden durch späte Sukzessionsarten wie, *Leontodon hispidus*, *Bistorta vivipara*, *Poa alpina*, *Potentilla aurea*, *Salix herbacea*, *Saxifraga paniculata*, *Trifolium badium*, *Trifolium pallescens* ersetzt. Nach Erschbamer et al. (1999) könnte man auf diesen Flächen bereits von Initialrasen mit *Kobresia myosuroides* oder *Agrostis alpina* sprechen. *Agrostis alpina* wird als späte Sukzessionsart beschrieben, welche bei den vorliegenden Vegetationsaufnahmen allerdings auf den Flächen von H 1998 gefunden wurde. Da auch Nagl und Erschbamer (2010) von *Agrostis alpina* als Bestandteil von

Rasengesellschaften sprechen, liegt die Vermutung nahe, dass diese Art falsch bestimmt wurde.

Die Moränen anhand des Deckungsgrades einzuteilen, gestaltet sich im Folgestadium und dem Späten Sukzessionsstadium schwierig, da die Überschneidung sehr groß ist. Die Artenzusammensetzung unterscheidet sich ebenfalls kaum voneinander.

Erschbamer et al. (1999) unterscheidet zudem noch den Artengrundstock des gesamten Vorfelds. Auf dem Hornkees-Vorfeld zählen Arten wie *Saxifraga bryoides*, *Euphrasia minima*, *Cerastium holosteoides*, *Carex atrata*, *Campanula scheuchzeri* und *Anthoxanthum alpinum* dazu.

Der erhöhte Deckungsgrad auf den Flächen von 1901 liegt vermutlich an der kleinräumigen klimatischen Gunstlage zwischen den beiden Moränenwällen von 1901 und 1923 (Abbildung 20). Eine andere Erklärung liefern Graßmair und Erschbamer (2015). Samen keimen am besten an störungsfreien Plätzen, also in der Nähe großer Steine. Die Fläche zwischen den Moränenwällen ist wenige Meter breit, sodass sie den Pflanzen und Sämlinge einen guten Schutz vor Steinschlag und Wind und somit günstige Keimungsvoraussetzungen bieten (Niederfriniger, Schlag und Erschbamer 2000).



Abbildung 20: H 1901-Moräne: linker Moränenwall von 1901, rechter Moränenwall von 1923, © Anne-Marie Heinze

## 7.2. Sukzessionsstadien nach Alter und Artenzusammensetzung

Eine weitere Möglichkeit Sukzessionsstadien zu unterscheiden ist die Differenzierung nach ihrem Alter (Abb. 21) (Nagl und Erschbamer 2010).

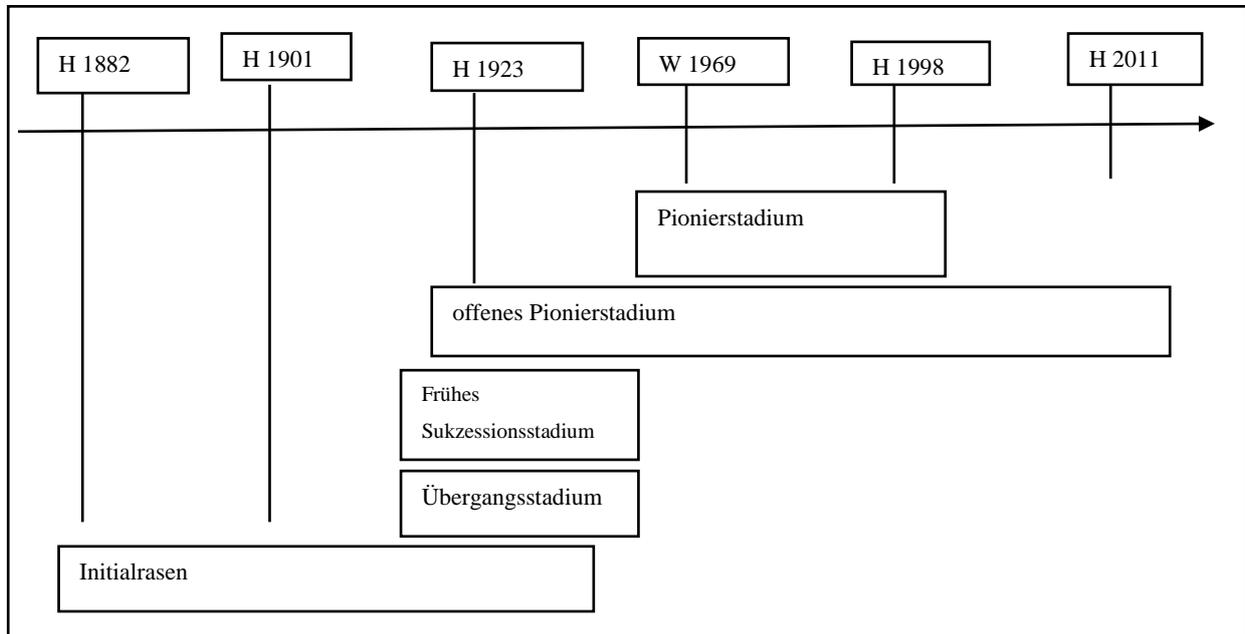


Abbildung 21: Zeitstrahl der Sukzessionsstadien nach ihrem Alter, © eigene Darstellung

Erstbesiedler *Saxifraga aizoides* bewachsen. Die Art nimmt auf den Versuchsflächen von W 1969 5 % und auf H 1998 bis zu 3 % Deckung ein. H 1998 kann man demnach zum Pionierstadium zählen. W 1969 zählt nicht mehr zum Pionierstadium, da das Vorfeld bereits zu lang eisfrei ist.

Darauf folgt das **offene Pionierstadium** im Alter zwischen 25 und 40 Jahren. Als typische Pflanzenarten werden *Poa alpina*, *Saxifraga bryoides* und *Arabis alpina*, u.v.m. genannt. *Arabis alpina* wächst bei den Versuchsflächen hauptsächlich auf den H 2011 und H 1998-Flächen, die beide zu jung sind. *Poa alpina* kommt auf H 1923 nahe der H 1998 er-Grenze vor, sowie auf H 1998 und W 1969. *Saxifraga bryoides* findet man auf dem gesamten Gletschervorfeld, vermehrt aber auf den Flächen von H1998 und H 2011.

Je nachdem wie weit das Pionierstadium auf dem Gletschervorfeld fortgeschritten ist, wird das **frühe Sukzessionsstadium** zwischen 15 (40) bis 40 (70) Jahre eingeteilt. Auf diesen Flächen kommen frühe und späte Sukzessionsarten (*Saxifraga aizoides*, *Cerastium uniflorum*, *Trifolium pallescens* u.v.m) gleichermaßen vor. *Cerastium uniflorum* wächst auf der H 1998-Moräne, *Trifolium pallescens* allerdings vermehrt auf den nördlichen Flächen von H 1923. Auch hier kann keine Übereinstimmung mit dem Alter der Flächen festgestellt werden.

Ein **Übergangsstadium** zwischen 40 und 60 Jahren Eisfreiheit ist geprägt von kleinräumigen Unterschieden im Relief, wodurch auch eine große Artenvielfalt zu Stande kommt. Typische Arten sind *Salix herbacea*, *Luzula alpinopilosa*, *Oxyria digyna*, *Leucanthemopsis alpina*, *Saxifraga bryoides*, *Trifolium pallescens* und *Poa alpina* u.v.m. Die Arten müssten also im südlicheren Bereich der H 1923er Moräne vorkommen. Tatsächlich wachsen bis auf *Leucanthemopsis alpina*, *Saxifraga bryoides*, *Trifolium pallescens* und *Poa alpina* keine der genannten Arten dort. Auch die, die genannt sind, wachsen in höheren Deckungen auf den jüngeren und älteren Moränenflächen.

Die **Initialrasen** im Alter zwischen 70 (60) bis 100 (140) beherbergen die Arten *Campanula scheuchzeri*, *Leontodon hispidus*, *Trifolium badium*, *Leucanthemopsis alpina*, *Salix herbacea*, *Achillea moschata* und *Saxifraga paniculata*. Diese Arten kommen alle auf den Flächen von H 1882, H 1901 und H 1923 vor. Auf diesen Flächen lässt sich also von Initialrasen sprechen.

Man kann demnach feststellen, dass sich eine Unterscheidung mithilfe der Sukzessionsstadien auf dem Hornkees deutlich schwieriger gestaltet als eine Differenzierung anhand des Deckungsgrades. Das Wachstum und Keimen der Arten wird weniger vom Alter der Flächen bestimmt, als vielmehr von abiotischen und biotischen Faktoren. Hierzu zählen Substrateigenschaften wie Bodenfeuchte und Korngröße genauso wie Diasporenverfügbarkeit, Konkurrenz und Wachstumspotential (Erschbamer et al., 2010)

### 7.3. Anthropogener Einfluss (Almwirtschaft) auf die Sukzession

Die Waxeggalm ist 1607 erstmals urkundlich erwähnt worden (Stolz 1930). Pollenanalysen von Haas et al. (2007) belegen sogar eine Besiedelung ab 4100 v. Chr. Im Schwarzensteinmoor östlich des Hornkees‘ fand man typische Beweidungs-Zeigerpflanzen wie *Plantago lanceolata*, *Rumex spec.*, *Artemisia spec.*, *Chenopodiaceae* und *Urticaceae*. Weitere Pollenfunde zeigen, dass sich der anthropogene Einfluss seit der Bronzezeit (2200-800 v. Chr.) verstärkt haben muss. Zu den im Schwarzensteinmoor gefundenen Weidezeigern kommen typische Siedlungszeigerarten (*Plantago alpina*, *Ligusticum mutellina*) hinzu. Sowohl das Pollendiagramm als auch Zeichnungen und Lithografien („Alpe Schwarzenstein“ von A. Ziegler) zeigen, dass sich in der Neuzeit, seit der Mitte des 20. Jahrhunderts, das Weidegeschehen mit Kühen, Schafen und Pferden weiter intensiviert hat. Auch mithilfe dendrochronologischer Analysen kann festgestellt werden, dass die Gebäude der Waxeggalm zwischen Mitte des 15. Jahrhunderts und dem frühen 20. Jahrhundert errichtet worden sind. Heute beträgt die Fläche der Waxeggalm insgesamt 258 ha, wovon 122 ha zur Weidefläche zählen. Zu den häufigsten auftretenden Arten gehören *Deschampsia cespitosa*, *Nardus stricta*, *Achillea moschata* und *Saxifraga paniculata* (Kuehs & Stifter 2013).

Die Aufnahmeflächen des Waxeggkees‘ zeigen keinen deutlichen Unterschied zu den Flächen des Hornkees. Zwar wird Vegetationsgruppe 1 fast ausschließlich von Flächen des Waxeggkees gebildet, dennoch zeigt die Gruppe in Abbildung 10 eine hohe Ähnlichkeit mit den Gruppen 2 und 3. Lediglich Vegetationsgruppe 4 steht allein für das, was sich aus der besonderen Mischung von Flächen der H 1923-, H 1998 und W 1969-Moräne erklären lässt. Diese Vegetationsgruppe stellt den Übergang zwischen den ganz jungen (Pioniervegetation) und den älteren Flächen (Folgevegetation) dar.

Ein so langer Beweidungszeitraum führt zur Veränderung der Vegetation, aber auch zur Einstellung eines Gleichgewichts. Erschbamer et al. (2009) untersuchten die Artenvielfalt auf beweideten Flächen im Vergleich zu Ausschlussflächen nach den CRS-Strategien. Auffällig ist, dass die Bestandshöhe auf den beweideten Flächen geringer ist, die Artenvielfalt aber gleichbleibt. Zudem finden sich auf den beweideten Flächen weniger stresstolerante Arten, also jene, die langlebig sind und kleine, immergrüne, langlebige Blätter haben. Ihre Photosynthese ist an ungünstige Bedingungen angepasst. Die Gräser auf dem Waxeggkees wachsen zum Teil nicht über die Krautschicht heraus. *Phleum rhaeticum*, *Luzula alpinopilosa*, *Carex atrata* subsp. *aterrima*, *Anthoxanthum alpinum* hingegen wachsen auf

dem Hornkees bis in die Strauchschicht hinein. Für *Carex atrata* subsp. *atrata*, *Deschampsia cespitosa*, *Juncus trifidus*, *Nardus stricta*, *Phleum alpinum* und *Poa minor* konnten auf dem Hornkees keine größeren Individuen gefunden werden.

Auf dem Waxeggkees wachsen durchschnittlich 11,9 Pflanzenarten auf einer 1 m<sup>2</sup> großen Probefläche, auf dem Hornkees nur 9,2 Arten. Diese Zahlen bestätigen, dass die Artenvielfalt durch eine Beweidung nicht geschmälert wird. Die durchschnittlich 11,9 Arten werden lediglich durch die Artenvielfalt auf der ältesten Hornkees-Fläche überboten. Auf der 1882er Moräne wachsen durchschnittlich 14 Arten pro Aufnahme­fläche. Hieraus lässt sich schließen, dass eine Beweidung auf jüngeren Flächen die Biodiversität fördern, jedoch auf älteren zu einer Abnahme der Artenvielfalt führen kann.

Da diesen Erkenntnissen aber nur eine sehr kleine Stichprobe von 10 Aufnahme­flächen zu Grunde liegt, kann sie nicht als wissenschaftlich belegbar gelten. Um den Einfluss der Beweidung statistisch gesichert darzustellen, sind deutlich mehr Aufnahmen auf dem Waxeggkees nötig.

#### 7.4. Touristisches und Umweltpädagogisches Interesse

Bei der Pflanzenbestimmung haben die Kinder bisher mit handelsüblicher Bestimmungsliteratur gearbeitet. Problematisch hierbei sind die vielen Fachbegriffe und die Vielzahl der enthaltenen Pflanzen. Das neue Bestimmungsbuch enthält mitnichten alle Pflanzen, die auf einem Gletschervorfeld wachsen. Aufgeführt sind aber jene, die auf der Gletscherkindfläche vorkommen. Ergänzt werden diese durch besonders große Pflanzen, bunt blühende Arten, solche mit starken Gerüchen und Pflanzen, die zum Verzehr geeignet sind. Diese Aspekte sollen den Kindern helfen, einen persönlichen Bezug zur Vegetation herzustellen. GrundschülerInnen lernen am besten, wenn sie das Wissen selbst wahrnehmen und entdecken können. Zusätzlich können sie überprüfen, ob die Aufnahmen von 2018 korrekt sind. Indem die SchülerInnen die Pflanzenaufnahme wiederholen, können sie später ihre MitschülerInnen der vorangegangenen Jahre berichtigen und neue Erkenntnisse einbringen und ergänzen.

Man kann nicht mit Sicherheit sagen, wie häufig der Gletscherlehrweg um die Berliner Hütte begangen wird. Die Übernachtungszahlen der Berliner Hütte und die Frequentierung des Berliner Höhenweges in Kombination mit der Auflage des Begleitbuchs zum Gletscherlehrweg lassen aber Rückschlüsse zu. Jene Wanderer, die durch den Zemmgrund zur Berliner Hütte aufsteigen, kommen zwangsläufig an den beiden Schautafeln an der Waxeggalm und der Berliner Hütte vorbei. Die Höhenwanderer des Berliner Höhenweges wandern ebenfalls ein Stück auf dem Lehrweg und können sich in der Berliner Hütte mithilfe des Begleitbuchs weiter informieren. Zusätzlich führt der Naturpark jeden Sommer Gäste im Rahmen seines Sommerprogramms zur Berliner Hütte.

Die Vielzahl an Natur- und Gletscherlehrwegen spiegelt die Präsenz in der Öffentlichkeit wider. Sie ermöglichen einer breiten Masse den leichten Zugang zu Umweltbildung. Der Nationalpark Hohe Tauern unterhält beispielsweise 21 verschiedene Lehrwege. Im Gebiet des Naturparks Zillertal liegen fünf Lehrpfade. Viele solcher Pfade liegen in der Nähe großer Tourismuszentren und Besuchermagnete (Mayrhofen im Zillertal, Sölden im Ötztal, Großglockner-Hochalpenstraße).

## 8. Zusammenfassung

Durch den Klimawandel schmelzen die Gletscher und geben neue, für Pflanzen und Tiere zu besiedelnde Flächen frei. Diese Gletschervorfelder bieten der Sukzessionsforschung neue Untersuchungsmöglichkeiten. So kann beispielsweise die Primärsukzession, ohne vorherigen menschlichen Einfluss, erfasst werden, sowie auch die Veränderung von Vegetation im Klimawandel.

Die Gletschervorfelder von Horn- und Waxeggkees liegen am Zillertaler Hauptkamm im Hochgebirgs-Naturpark Zillertaler Hauptkamm. Durch ihre zugängliche Lage an der Berliner Hütte eignen sich die Vorfelder besonders gut, um den Touristen und Einheimischen die Gletscherwelt näher zu bringen. Aufgrund der Lage im Hochgebirgs-Naturpark Zillertaler Alpen sollen die Ergebnisse auch den Umweltbildungsangeboten zu Gute kommen.

Die verwendete Methodik unterteilt sich in die Rekonstruktion der Gletscherstände seit 1850. Es wurden 63 Probeflächen mit je 1 m<sup>2</sup> angelegt, 10 auf dem Vorfeld des Waxeggkees und 53 auf dem des Hornkees. Die statistische Auswertung basiert auf Korrespondenz- und Clusteranalysen. Dadurch lassen sich hierarchische Ähnlichkeitsstrukturen zwischen den Arten aufzeigen. Als Ergebnis erhält man Dendrogramme.

Die Flächen lassen sich aufgrund ihrer Artenzusammensetzung in sieben Vegetationsgruppen einteilen. Um die Vegetationsgruppen in Sukzessionsstadien einzuteilen, werden sie zusätzlich anhand des Deckungsgrades unterschieden. Die jüngsten Flächen, auf dem seit 1998 eisfrei gewordenen Vorfeld, zeigen einen Bewuchs mit Pionierarten. Charakteristische Pflanzenarten sind *Saxifraga aizoides*, *Cerastium uniflorum*, *Oxyria digyna* und *Arabis alpina*. Die ältesten Flächen von 1882 und die mittelalten von 1901 bis 1969 stellen das Folgestadium dar. Typische Arten des Folgestadiums sind *Trifolium pallescens*, *Poa alpina*, *Salix herbacea*, *Leontodon hispidus*, *Euphrasia minima* und *Campanula scheuchzeri*. Zum späten Sukzessionsstadium zählen Probeflächen aus den Jahren 1882 bis 1969. Pionierpflanzen nehmen immer mehr ab und werden durch späte Sukzessionsarten ersetzt. Eine Unterscheidung anhand des Flächenalters gestaltet sich schwierig, da Pflanzenwachstum und Sukzession mehr von abiotischen und biotischen Faktoren abhängig sind als vom Flächenalter. Auffällig ist, dass auf dem beweideten Waxeggkees die Bestandshöhe geringer ist als auf dem überweideten Hornkees, die Artenvielfalt gleichbleibt und sich weniger stresstolerante Arten ansiedeln.

Die Fläche H 1923.Gletscherkind dient der Umweltbildung des Hochgebirgs-Naturparks. Die SchülerInnen der Naturparkschulen können auf den jährlich stattfindenden Gletschererlebnistagen die Pflanzenwelt des Hochgebirges kennenlernen und ihre ersten Erfahrungen mit wissenschaftlichen Arbeiten machen. Die verbesserte „Pflanzen-Bestimmungshilfe für das Gletschervorfeld des Hornkees“ beinhaltet alle Pflanzen der Gletscherkindfläche und erklärt, wie man Vegetationsaufnahmen macht.

## 9. Ausblick

Welche Folgen der Klimawandel auf die Vegetation und die Gletscherschmelze hat, lässt sich heute schwer sagen. Sicher ist lediglich, dass die Vegetation sich anpassen wird. Sie wandert im Gebirge höher, manche Arten werden besonders profitieren, andere ihren Lebensraum verlieren. Wichtig sind dauerhafte Observatorien, wie solche des GLORIA- Projektes, um Trends und Entwicklungen aufzuzeigen. Nach einem festgelegten, einheitlichen Methodenkanon werden Bergregionen auf der ganzen Erde untersucht. Da sich die Probeflächen in jeder Höhenstufe befinden und auch die Temperaturen gemessen werden, können klimatische Entwicklungen mit der Vegetationsentwicklung verglichen werden. Es stellt einen weiteren Schritt dar, die Folgen den Klimawandels sichtbar zu machen.

Zudem wird das Wachstum und Keimen der Arten weniger vom Alter der Flächen bestimmt, als vielmehr von abiotischen und biotischen Faktoren. Hierzu zählen Substrateigenschaften wie Bodenfeuchte und Korngröße genauso wie Diasporenverfügbarkeit, Konkurrenz und Wachstumspotential (Erschbamer et al., 2010). Diese Faktoren gilt es zu bestimmen, um das Pflanzenwachstum zu untersuchen und zu verstehen.

## 10. Summary

The effects of climate change are various. Glaciers are melting and new habitats for plants and animals occur. The glacier forelands offer more possibilities for succession research such as primary succession without previous human impact as well as the recording of vegetation and its changes due to climate change. The glacier forelands of Horn- and Waxeggkees are located at the Zillertal main mountain ridge in the High Mountain Nature Parc of the Zillertal Alps. As the forelands are located very close to the Berliner Hut, they are predestined to teach tourists and locals about the glacier ecosystem. The results of this master thesis are supposed to support the environmental education in the Nature Parc.

The methodology used here can be subdivided into reconstruction of the glacier snout since 1850. 63 plots with the size of 1 m<sup>2</sup> have been installed on the forelands. Ten of them are located at the Waxeggkees foreland and 53 at the Hornkees. The statistical evaluation is based on correspondence and cluster analysis. This is how hierarchical similarity structures in form of dendrograms can be shown.

Based on the plot's species composition the plots can be divided into seven vegetation groups. With the coverage rate vegetation groups can be separated into succession stadiums. The youngest plots, which are free of ice since 1998, point to the growth of pioneer species. The typical plant species are *Saxifraga aizoides*, *Cerastium uniflorum*, *Oxyria digyna* und *Arabis alpina*. The oldest plots date to the year 1882 and the middle-aged from 1901 to 1969 represent the consecutive state. Its typical plant species are *Trifolium pallescens*, *Poa alpina*, *Salix herbacea*, *Leontodon hispidus*, *Euphrasia minima* and *Campanula scheuchzeri*. Part of the late succession stage are plots of the years 1882 to 1969. Pioneer plants continue to decline and are replaced by late succession species. Differentiation by means of the age of the plots can be challenging because growth of plants and plant succession are more dependent on abiotic and biotic factors than on the plots' age. It is notable that the plant height and the stress tolerant species on Waxeggkees are lower than on Hornkees. Additionally, the biodiversity on both forelands almost stays the same.

The plot H 1923. Gletscherkind serves the Nature Parc's environmental education. Pupils of the Nature Parc schools can discover the high mountain plant species. In order to record existing vegetation, the pupils get the "Pflanzen-Bestimmungshilfe für das Gletschervorfeld des Hornkees", which is a brochure that contains explanations of all plants of the Gletscherkind plot. This is how the pupils gather first experiences in scientific research.

## 11. Literaturverzeichnis

- AUFFINGER, K. (2014): Pfitscherjoch grenzenlos. Brixen.
- BÄTZING, W. (2018): Die Alpen. Das Verschwinden einer Kulturlandschaft. Darmstadt: wbg Theiss.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl. New York: Springer.
- DANLER, A. (2016): Besiedlungsmuster dreier Gletschervorfelder in den Ötztaler Alpen. Masterarbeit. Leopold-Franzen-Universität Innsbruck, Innsbruck. Institut für Botanik.
- Deutscher und Österreichischer Alpenverein (Hg.) (1977): Alpenvereinsjahrbuch 1977. Unter Mitarbeit von Marianne Landes und Landes Elmar. München, Innsbruck.
- ELLENBERG, H (2003): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- ERSCHBAMER, B. (2006): Klimawandel - Risiko für die Alpen. In: R. Psenner und R. Lackner (Hg.): Alpine space - man and environment // Die Alpen im Jahr 2020. Die Alpen im Jahr 2020, Bd. 1. Innsbruck: innsbruck university press, S. 15–22.
- ERSCHBAMER, B. (2006): Klimawandel im Alpenraum: Was passiert mit den Alpenpflanzen? In: Leopoldine-Franziska? S. 6–8.
- ERSCHBAMER, B. (2009): Faktoren und Prozesse der Besiedelung im alpinen Neuland. In: Bericht der Reinhard Tüxen Gesellschaft (21), S. 253–265.
- ERSCHBAMER, B.; BITTERLICH, W.; RAFFL, C. (1999): Die Vegetation als Indikator für die Bodenbildung im Gletschervorfeld des Rotmoosferner (Obergurgl, Ötztal, Nordtirol). In: Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins (86), S. 107–122.
- ERSCHBAMER, B.; VORHAUSER, K.; KAUFMANN, R.; MAYER, R. (2009): Auswirkungen der Beweidung in zentralalpinen Hochlagen. In: Alm- und Bergbauer, 10/2009, S. 13–15.
- FISCHER, M. A.; OSWALD, K.; ADLER, W. (2008): Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 3., verbesserte Auflage. Linz: OÖ Landesmuseum.
- FLIRI, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. In: Monographien zur Landeskunde Tirols.
- GOSTERXEIER, N.; FUCHS, M.; KAUFMANN, R. (2002): Verteilung der Bodenfauna im Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Ötztaler Alpen, Tirol). In: Entomologica Austriaca, S. 9–10.
- GRAßMAIR, R.; ERSCHBAMER, B. (2015): Die Besiedelung des Blockgletschers Äußeres Hochebenkar im Vergleich zur angrenzenden Vegetation. In: Alpine Forschungsstelle Obergurgl (Hg.): Forschung am Blockgletscher. innsbruck university press, S. 159–175.

- GUISAN, A.; HLOLTEN, J.-L.; SPICHIGER, R.; TESSIER, L. (Hg.) (1995): Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian Mountain. *Conserv. Jard. Bot. Genève*.
- HAAS, J. N.; WALDE, C.; WILD, V. (2007): Holozäne Schneelawinen und prähistorische Almwirtschaft und ihr Einfluss auf die subalpine Flora und Vegetation der Schwarzensteinalm im Zemmgrund (Zillertal, Tirol, Österreich). In: *Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. (Hg.): BFW-Berichte*, Bd. 141, S. 191–226.
- HEIDENFELDER, C. (2017): Ökotourismus. Hg. v. planet-wissen.de. Online verfügbar unter [https://www.planet-wissen.de/natur/gebirge/der\\_mensch\\_in\\_den\\_alpen/pwieoekotourismus100.html](https://www.planet-wissen.de/natur/gebirge/der_mensch_in_den_alpen/pwieoekotourismus100.html), zuletzt aktualisiert am 16.06.2019, zuletzt geprüft am 16.06.2019.
- HEUBERGER, H. (1977): Gletscher- und klimageschichtliche Untersuchungen im Zemmgrund. In: *Deutscher und Österreichischer Alpenverein (Hg.): Alpenvereinsjahrbuch 1977*, Bd. 102. München, Innsbruck, S. 41–50.
- HEUBERGER, H.; Türk, R. (2012): Gletscherlehrweg Berliner Hütte.
- IPCC (2018): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. 1,5°C globale Erwärmung. Bonn, Bern, Wien.
- JOCHIMSEN, M. (1963): Vegetationsentwicklung im hochalpinen Neuland. Beobachtungen an Dauerflächen im Gletschervorfeld 1958-1962.
- KRAUSE, H.G.; FRENZEL, B. (1957): Die Entwicklung der Vegetation eines zentralalpiner Gletschervorfeldes seit dem Jahr 1957. In: *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt (62)*, S. 189–226.
- KEUHS, C.; STIFTER, S. (2013): Beschreibung, der im Rahmen der Biotopkartierung im Sommer 2013, erhobenen Almen. Hg. v. Hochgebirgs-Naturpark Zillertaler Alpen.
- KUHN, M.; LAMBRECHT, A.; ABERMANN, J. (2015): Bestandsaufnahme der österreichischen Gletscher. In: *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*, S. 138–145.
- MALLAUN, M. (2001): Verlauf der Primärsukzession in einem zentralalpiner Gletschervorfeld (Ötztaler Alpen, Tirol). Diplomarbeit. Leopold-Franzen-Universität Innsbruck, Innsbruck.
- MERAN, I. (2011): Gletscherinventar der Zillertaler Alpen von 1850-2006. Bachelorarbeit. Leopold-Franzen-Universität Innsbruck, Innsbruck. Geo- und Atmosphärenwissenschaft.
- Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. (Hg.) (2007): BFW-Berichte.
- NAGL, F.; ERSCHBAMER, B. (2010): Vegetation und Besiedlungsstrategien. In: *Glaziale und periglaziale Lebensräume in Oberrurgl (1)*, S. 121–143.
- NICOLUSSI, K.; PINDUR, P.; SCHIESSLING, P.; KAUFMANN, M.; THURNER, A.; LUZIAN, R. (2007): Waldzerstörende Lawinenereignisse während der letzten 9000 Jahre im Oberen Zemmgrund, Zillertaler Alpen, Tirol. In: *Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss. (Hg.): BFW-Berichte*, Bd. 141, S. 157–176.

NIEDERFRINGER SCHLAG, R.; ERSCHBAMER, B. (2000): Germination and establishment of seedlings on a glacier foreland in the Central Alps, Austria. In: *Arctic, Antarctic and alpine Research*, Bd. 32, S. 270–277.

NIETZSCHE, C. (2015): Die Gletscher der Zillertaler Alpen. Vom nacheiszeitlichen Gletscherhöchststand bis heute. Fügen: Sterndruck.

o.A. (2019): Sanfter Tourismus. Deutscher Alpenverein. Online verfügbar unter [https://www.alpenverein.de/natur/alpine-raumordnung/alpen-unter-druck/sanfter-tourismus\\_aid\\_27600.html](https://www.alpenverein.de/natur/alpine-raumordnung/alpen-unter-druck/sanfter-tourismus_aid_27600.html), zuletzt aktualisiert am 25.04.2019, zuletzt geprüft am 16.06.2019.

OZENDA, P.; BOREL, J.-L. (1995): Possible responses of mountain vegetation to a global climatic change: the case of the Western Alps. In: A. Guisan, J.-L. Holten, R. Spichiger und L. Tessier (Hg.): *Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian Mountain*, Bd. 8, S. 137–144.

PINDUR, P.; HEUBERGER, H. (2008): Zur holozänen Gletschergeschichte im Zemmgrund in den Zillertaler Alpen, Tirol/Österreich (Ostalpen). In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Bd. 42. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner, S. 21–89.

PINDUR, P.; LUZIAN, R. (2007): Der "Obere Zemmgrund"- Ein geographischer Einblick. In: *BFW-Berichte* (141), S. 23–35.

PSENNER, R.; LACKNER, R. (Hg.) (2006): *Alpine space - man and environment // Die Alpen im Jahr 2020*. Die Alpen im Jahr 2020. Innsbruck: innsbruck university press.

SCHWENDINGER, G.; PINDUR, P. (2013): Die Entwicklung der Gletscher im Zemmgrund, Zillertaler Alpen (Österreich), seit dem Hochstand in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Längenänderung, Flächen- und Volumenverlust, Schneegrenzanstieg. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie* (47/48), S. 63–90.

STOLZ, O. (1930): Die Schwaighöfe in Tirol. Ein Beitrag zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeschichte der Hochalpentäler. In: *Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins* 5.

TÜRK, R.; ERSCHBAMER, B. (2010): Die Flechten im Gletschervorfeld des Rotmoosferner. In: *Glaziale und periglaziale Lebensräume in Obergurgl*, S. 155–163.

WALTER, H.; LIETH, H.: Klimadiagramm Schlegeis (Speicher) (1800) - Tirol Atlas. Hg. v. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Online verfügbar unter <http://tirolatlas.uibk.ac.at/graphics/lieth/diag.py/chart?id=1390192>, zuletzt geprüft am 16.06.2019.

WITTMANN, H.; RÜCKER, T. (2000): Vegetationsentwicklung im Gletschervorfeld: Wie wichtig ist der Faktor Zeit tatsächlich? In: *Linzer biologische Beiträge* 32 (2), S. 734–735.

ZEKOLLARI, H.; HUSS, M.; FARINOTTI, D. (2019): Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. In: *The Cryosphere* 13 (4), S. 1125–1146. DOI: 10.5194/tc-13-1125-2019.

## 12. Anhang

Anhang 1: Artenliste mit Deckungsgraden

Siehe Beilage 1

Anhang 2: Klassifikation mit allen Arten

Siehe Beilage 2

Anhang 3: Pflanzenbestimmungshilfe

Siehe Beilage 3

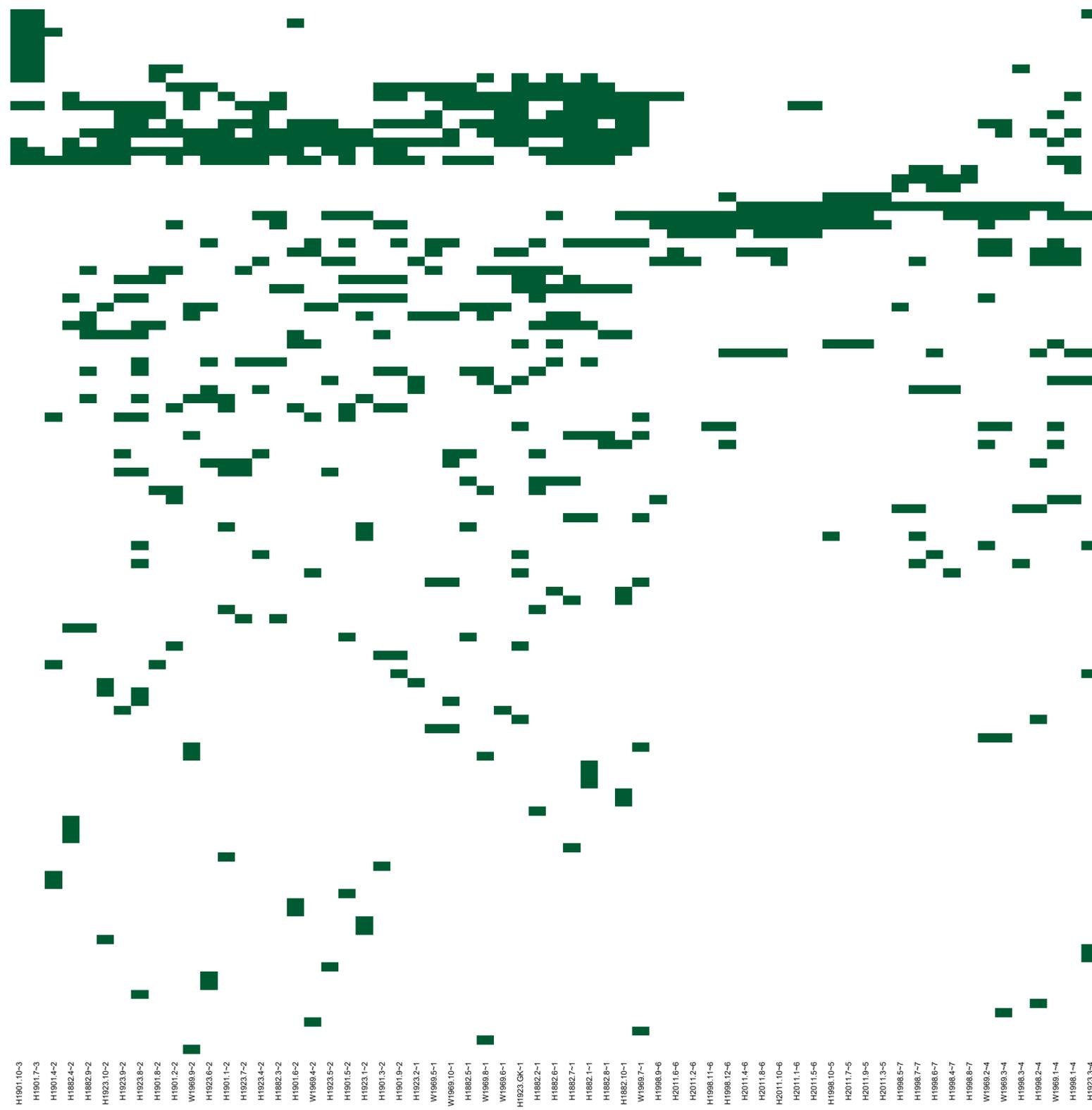
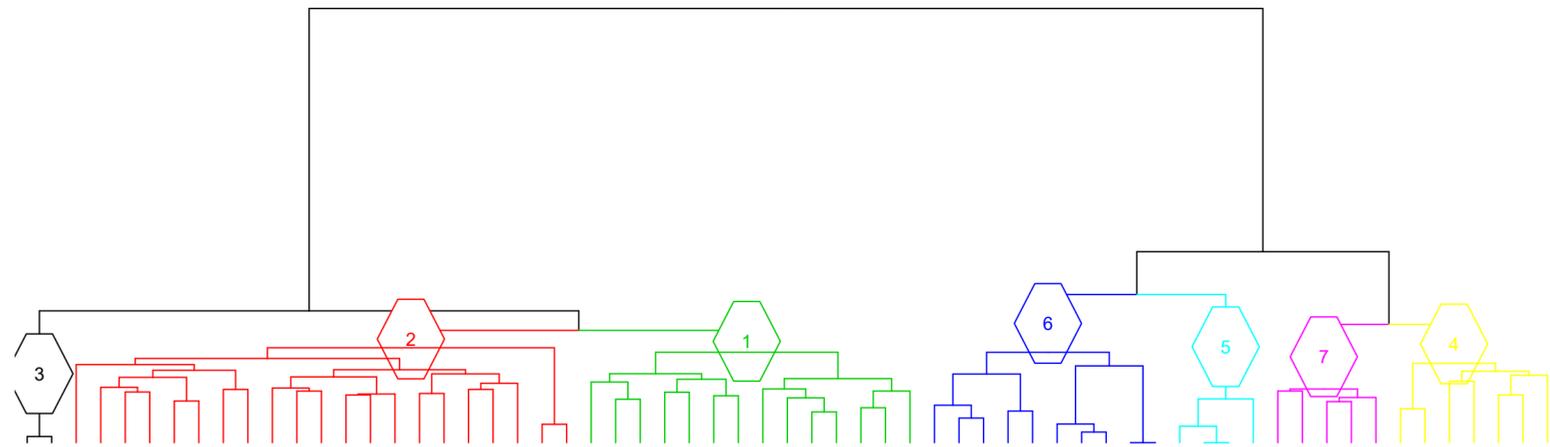
## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen als Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, wurden als solche kenntlich gemacht. Des Weiteren versichere ich, dass die Abschlussarbeit noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht wurde.

Bad Endorf, 26. Juni 2019

Anne-Marie Heinze





- ADESALLK
- RUMESCUS
- PEUCOSTS
- CIRSSPIS
- TARA-SPK
- DESCCESS
- CAREA-AS
- ALCHFISK
- POTEAURK
- EJPRMKN
- ANTXALPK
- TRIFPALK
- TRIFPRK
- CAMPSCHK
- LEONHISK
- RHINGLAK
- HOMOALPK
- AGRTALPK
- CERSUNIK
- CYSPFRK
- CARCURK
- OXYRDIGK
- SAXIBRYK
- CERSHOLK
- ARALALPK
- ACHMOSCK
- LUZUALIK
- LEUAALPK
- TRIFBADK
- TRIFTHAK
- PEUCOSTK
- JUNUTRIK
- SALHELVK
- NARUSTRK
- LEONHELK
- SOLVIRK
- DESCCESK
- DOROGLAK
- BISTVIVK
- HIERVLK
- ALCHGLAK
- POALPK
- VACIMYRK
- ANTXALPS
- RHOEFERS
- SAXIAZK
- POAMINK
- CAREA-TK
- PHYHEMK
- SALXHERK
- SALXREUK
- HIERSPHK
- LEONHISK
- PHLEALPK
- SAXISTEK
- POAHYBK
- DIPHALPK
- DOROGLAS
- BARTALPK
- SALXRETK
- TUSSFARK
- CAREA-AK
- CREPCONK
- GALUANIK
- SAXIPANK
- SEMPMONK
- JUNICOMK
- SALXHASK
- HUPESELK
- MYOSALPK
- LUZUALIS
- SOLVIRS
- GENTSBAVK
- DIPHALPS
- PYRBMINK
- GENTNIVK
- SALXWALS
- CAREFRK
- ANTEDIOK
- SALXAPPB
- SELASELK
- LUZUSUDK
- JUNUTRIS
- POACENS
- VIOLBIFK
- BOTRLUNK
- GYMCONK
- PHLERHAK
- LOTUCORK
- PINUMUGB
- SALXWALK
- POACENK
- CAMPBARK
- GENTBAK
- MYOSDECS
- SALHELVS
- PINUCEMK
- ADESALLS
- SILEVULS
- RHOEFERK
- SILEEXSK
- EPIOANGS
- AGRTALPS
- CIRSSPK
- VACIVITK
- MYOSDECK
- SALXSERK
- HIERPIUK
- CAREDIK
- SALXWALB
- SALXAPPS
- PARCPALK
- PINUCEMS
- PHLERHAK

H1901.10-3  
H1901.7-3  
H1901.4-2  
H1882.4-2  
H1882.5-2  
H1923.10-2  
H1923.5-2  
H1923.8-2  
H1901.5-2  
H1901.2-2  
W1969.5-2  
H1923.6-2  
H1901.1-2  
H1923.7-2  
H1923.4-2  
H1882.3-2  
H1901.6-2  
W1969.4-2  
H1923.5-2  
H1901.5-2  
H1923.1-2  
H1901.3-2  
H1901.9-2  
H1923.2-1  
W1969.5-1  
W1969.10-1  
H1882.5-1  
W1969.6-1  
W1969.6-1  
H1923.GK-1  
H1882.2-1  
H1882.6-1  
H1882.7-1  
H1882.1-1  
H1882.8-1  
H1882.10-1  
W1969.7-1  
H1969.5-6  
H2011.6-6  
H2011.2-6  
H1994.11-6  
H1998.12-6  
H2011.4-6  
H2011.6-6  
H2011.10-6  
H2011.1-6  
H2011.5-6  
H1998.10-5  
H2011.7-5  
H2011.9-5  
H2011.3-5  
H1998.5-7  
H1998.7-7  
H1998.6-7  
H1998.4-7  
H1998.5-7  
W1969.2-4  
W1969.3-4  
H1998.3-4  
H1998.2-4  
W1969.1-4  
H1998.1-4  
H1923.3-4



### Diese Pflanzen wuchsen 2018 auf der Gletscherkindfläche

Deutscher Name	Deckungsgrad [%]
Zerschützter Frauenmantel	10
Kahler Frauenmantel	0,5
Scheuchzer's Glockenblume	3
Trauer-Segge	0,5
Rasen-Schmiele	0,5
Zwerg-Augentrost	1
Stiefhaarer Löwenzahn	3
Alpen-Vergissmeinnicht	1
Meißenwurz	0,5
Gilfingerkraut	2
Netz-Weide	10
Bach-Steinbrech	0,5
Braun-Klee	12
Bleich-Klee	12
Wiesenklee	6
Rasiger Klee	0,5
<b>Gesamt-Bedeckung</b>	<b>63</b>

Deckungsgrad: Wie viel von einer Pflanze wächst auf der Fläche?

- Der Aufnahmerahmen ist 1x1 m groß
- Bedeckt eine Pflanze 10x10 cm der Fläche beträgt ihre Deckung 1%

7

### Benutzung des Bestimmungsbuchs

- Jede Pflanze ist in mit Worten und Bildern beschrieben.
- Alle Pflanzen sind nach der Blütenfarbe sortiert.
- Die Blume neben dem deutschen Namen der Pflanze (oben links) zeigt die Blütenfarbe.



8

### Alpenmargarite

*(Leucanthemopsis alpina)*

- Höhe 5-15 cm
- Laubblätter sitzen knapp über der Erde („grundständig“) und ein Blatt besteht aus mehreren Blättern („fiedertellig“)
- Stängel mit nur einer Blüte
- Blütezeit Juli-August



9

### Kleines Wintergrün

*(Pyrola minor)*

- Höhe 10-25 cm
- Stängel grün-rötlich
- Weiß-rosafarbene kugelige Blüten
- Blütezeit Juni-Juli



10

### Kraut-Weide

*(Salix herbacea)*

- Höhe 2-10 cm
- kriechender Zwergstrauch, „kleinster Baum der Welt“
- verholzter Stamm unterirdisch
- Zweige mit 2-3 Laubblättern oberirdisch
- Blätter rund, kahl und glänzend hellgrün
- Blütezeit Mai bis September



11

### Lebendgebährender Knöterich

*(Persicaria vivipara)*

- Höhe 5-25 cm
- Laubblätter länglich und spitz zulaufend („lanzettlich“)
- Viele weiße Blüten bilden eine endständige Ähre
- Blütezeit Juni-August




12

 **Meisterwurz**  
(*Peucedanum ostruthium*)

- Höhe 30-100 cm
- Weiße Doldenblüte
- Riecht nach Karotten und Sellerie
- Die Laubblätter sind grasgrün und kahl, manchmal borstig-flaumig behaart
- Große Laubblätter
- Blütezeit: Juni bis August





13

 **Moschus-Schafgarbe**  
(*Achillea moschata*)

- Höhe 5-20 cm
- Zarte Fiederblätter
- Lang gestielte, weiße Doldenblüten
- Stark aromatisch duftend
- Blütezeit Juli bis August




14

 **Moos-Steinbrech**  
(*Saxifraga bryoides*)

- Höhe 2-10 cm
- Laubblätter bilden knapp über der Erde Rosetten
- Weiße Blüten mit orangenen Punkten
- Blütezeit Juli-August
- **Geschützte Art**



Quelle: wikipedia.org



15

 **Preiselbeere**  
(*Vaccinium vitis-idaea*)

- Höhe 10-40 cm
- Blattoberseite glänzend grün
- Blattunterseite mit kleinen Punkten (wie Nadelstiche)
- Blütezeit Mai-August
- Früchte (rote Beeren) August-September




16

 **Rispen (Trauben)-Steinbrech**  
(*Saxifraga paniculata*)

- Höhe bis 30 cm
- Hellgraue Blätter bilden eine Rosette
- Weiß-gelbliche Blüten mit roten Punkten
- Blütezeit Mai-August
- **Geschützte Art**




17

 **Schweizer-Weide**  
(*Salix helvetica*)

- Höhe: 1-1,5 m
- Gestielte Laubblätter
- Keine kleinen Nebenblätter neben den großen Laubblättern
- Blattoberseite grasgrün, Unterseite weißfilzig behaart
- Blütezeit Juni-Juli




18

 **Stern-Steinbrech**  
(*Saxifraga stellaris*)

- Höhe bis zu 30 cm
- Laubblätter am Rand mit groben Zähnen
- Weiße Blütenblätter mit je zwei gelben Punkten pro weißen Blütenblatt
- Blütezeit Juni-August
- **Geschützte Art**




19

 **Stumpfblättrige Weide**  
(*Salix retusa*)

- Kriechender Zwergstrauch
- 5-30 cm lange Zweige
- Die Rinde olivgrün bis braun, glatt
- Gestielte, eiförmige Laubblätter mit glänzender Oberseite
- Herbstlaub gelb




20

 **Zwerg-Augentrost**  
(*Euphrasia minima*)

- Höhe: 2-15 cm
- Unverzweigter Stängel
- Blüten sitzen einzeln in der Achse zwischen Laubblatt und Stängel
- Laubblätter gezähnt
- Blütezeit Juli-September




21

 **Alpen-Kratzdistel**  
(*Cirsium sphenostachyum*)

- Höhe 20-80 cm
- Stängel dicht beblättert und abstehend behaart
- Blätter stechend
- Blütezeit Juli-September
- Blassgelbe Blüte
- Oft auf beweideten Flächen




22

 **Kahler-Frauenmantel**  
(*Alchemilla glabra*)

- Höhe: bis 60 cm
- Blätter nierenförmig oder rund, rund eingeschnitten
- Blattstiele sind anliegend behaart
- Blütezeit Mai bis August




23

 **Zerschlitzer-Frauenmantel**  
(*Alchemilla fissae*)

- Höhe: 10-30 cm
- Blätter und Stängel unbehaart
- Blätter bis zur Mitte eingeschnitten
- Blütezeit Juni bis August



Ötztal - Flora Helvetica - Herbst 2010



24

 **Bach-Steinbrech**  
(*Saxifraga aizoides*)

- Höhe 5-20 cm
- Laubblätter 1-2,5 cm lang, fleischig dick mit hellem Punkt an den Spitzen
- 2-12 Blüten in Trauben
- Blütezeit Juni-September




25

 **Braun-Klee**  
(*Trifolium badium*)

- Höhe: 10-20 cm
- Laubblätter wechselständig angeordnet
- Gelbe Blüten; braun im verblühten Zustand
- Blütezeit Juni bis August




26

 **Gold-Fingerkraut**  
(*Potentilla aurea*)

- Höhe 5-20 cm
- Blüten goldgelb, mit orangenen Flecken
- 1-5 Blüten pro Stängel
- Blätter meist fünfzählig, oberseits kahl, Blatttrand silberglänzend behaart
- Blütezeit Juni-September





27

 **Grannen-Klappertopf**  
(*Rhinanthus glacialis*)

- Höhe 10-50 cm
- Laubblätter gegenständig, mit gesägtem Rand
- Tragblätter mit spitzen Zähnen (Grannen, bis 5 mm)
- Blütenstände in Trauben
- Blütezeit Juni-September




28

 **Großblütige Gämswurz**  
(*Doronicum grandiflorum*)

- Höhe 10-50 cm
- Blüte gelb bis goldgelb
- Blütezeit Juli-August
- **Geschützte Art**

Verwechslungsgefahr mit Arnika!




29

 **Hufattich**  
(*Tussilago farfara*)

- Höhe 10-30 cm
- Herz-/ Huf förmige Laubblätter, Unterseite weiß behaart
- Blütezeit Februar – April

Blätter und Blüten sind essbar!





30

 **Schweizer Löwenzahn**  
(*Leontodon helveticus*)

- Höhe 10-30 cm
- Einzelnr Stängel, unverzweigt mit einer Blüte
- Unterschied zum Steifhaarigen Löwenzahn: bis zu 6 Schuppenblätter
- Blütezeit Juni - Oktober




31

 **Steifhaariger Löwenzahn**  
(*Leontodon helpidius*)

- Höhe 10-60 cm
- Einzelnr Stängel, unverzweigt mit einer Blüte
- Unterschied zum Schweizer Löwenzahn: bis zu 2 Schuppenblätter
- Blütezeit Juni - Oktober




32

 **Zottiges Habichtskraut**  
(*Hieracium villosum*)

- Höhe 10-40 cm
- Blüte mit vielen gelben, fünfzipfeligen Blütenblättern
- Weiße, zottige Behaarung
- Blätter umfassen den Stängel halb
- Blütezeit Juli-August




33

 **Tüpfel-Enzian**  
(*Gentiana punctata*)

- Höhe 20-60cm
- Blüten hellgelb, zu mehreren am Stängelende und in Blattachseln
- Blütezeit Juni-September
- **Geschützte Art!**




34

 **Alpen-Brandlätich**  
(*Homojone alpina*)

- Höhe 10-40 cm
- Rotbrauner Stängel, silbrig behaart mit einem Blütenkorb
- Laubblätter knapp über dem Boden, lang gestielt, fest und glänzend
- Blütezeit Mai-August




35

 **Bleicher-Klee**  
(*Trifolium pallescens*)

- Höhe 8-20 cm
- Blüte rosa
- Kleine Nebenblätter
- Blütezeit Juli-August




36

 **Gewöhnliches Katzenpfötchen**  
(*Antennaria dioica*)

- Höhe 5-20 cm
- Immergrüne Pflanze, Blätter und Stängel silbrig behaart
- Rote, körbchenförmige Blütenstände (3 bis 12 Blüten je Korb)
- Blütezeit Mai-Juli

• **Geschützte Art!**




37

 **Rasiger Klee**  
(*Trifolium thalii*)

- Höhe 4-10 cm
- Rasenbildend
- Blütenblätter weiß-rosa-hellbraun
- Blütezeit Juli-August




38

 **Wiesenklee**  
(*Trifolium pratense*)

- Höhe 15-80 cm
- Laubblätter mit hellem, dreieckigen Fleck
- Schmale, spitz zulaufende („Lanzettlich“) Nebenblätter
- Blütezeit Mai bis Oktober




39

 **Alpen-Säuerling**  
(*Oxalis digyna*)

- Höhe 5-30 cm
- 2-5 Blüten als Ähren an den Blütenständen
- Grün-rosafarbene Blütenblätter
- Laubblätter schmecken säuerlich
- Blütezeit Juli-August




40

 **Gewöhnliches Kohlröschen**  
(*Nigella nigra*)

- Höhe 5-25 cm
- Blüten schwarz-purpur bis dunkel rotbraun
- Blätter grasartig
- Blütezeit Juni-September

• **Geschützte Art!**




41

 **Heidelbeere**  
(*Vaccinium myrtillus*)

- Höhe 10-60 cm
- Zwergstrauch: stark verzweigt, grüne Äste
- Eiförmige, fein gezähnte Laubblätter
- Herbstfärbung: tiefrote Blätter, Sommergrün (verliert Blätter im Winter)
- Blütezeit April-Mai
- Früchte (blaue Beeren) zwischen Juli-September




42

 **Alpen-Mannsschild**  
(*Androsace alpina*)

- Höhe 1-3 cm
- Blüten rosa mit gelblicher Mitte, selten weiß
- Blätter schmal und kurz
- Polsterpflanze
- Blütezeit Juli-August

• Geschützte Art!




43

 **Rostblättrige Alpenrose**  
(*Rhododendron ferrugineum*)

- Höhe: 30-120 cm
- Zwergstrauch mit verholzten Zweigen
- 6-12 dunkelrosa Blüten, kelch- bis trichterförmig
- Blattunterseiten wie Rost gefärbt
- Blütezeit Mai-August




44

 **Schmalblättrige Weidenröschen**  
(*Epilobium angustifolium*)

- Höhe 50-120 cm
- Stängel bis in die Spitze lila gefärbt
- Blätter schmal und lang („lanzettlich“), Blatttrand gezähnt
- Blütezeit Juni-August




45

 **Alpen-Trauerblume**  
(*Bartsia alpina*)

- Höhe 8-20 cm
- Blüten dunkelviolett bis schwarzrot
- Blätter gekreuzt gegenständig
- Blütezeit Juni-August




46

 **Scheuchzer's Glockenblume**  
(*Campanula scheuchzeri*)

- Höhe: 5-40 cm
- Lang gestielte Grundblätter (zur Blütezeit vertrocknet)
- Stängelblätter schmal und lang („lanzettlich“)
- Meist 2-5 Blüten pro Stängel
- Blütezeit Juli-August




47

 **Alpen-Vergissmeinnicht**  
(*Myosotis alpestris*)

- Höhe: 10-15 cm
- Die Grundblätter stehen in Rosetten
- Die Blüten sind breit und hell- bis intensiv blau mit gelben Schuppen
- Blütezeit: Juni bis August




48

 **Frühlingsenzian**  
(*Geniana verna*)

- Höhe 3-10 cm
- Blüten tief dunkelblau, meist einzeln pro Stängel
- Blätter am Boden in einer Rosette
- Blütezeit März-Juli
- **Geschützte Art**




49

 **Koch'scher Enzian**  
(*Geniana occulta*)

- Höhe 8-15 cm
- Blüte dunkelblau, glockenförmig mit 5 verwachsenen Blütenblättern
- Blätter 4-10 cm lang, oberhalb der Mitte am breitesten
- Blütezeit Mai-August
- **Geschützte Art**




50

## Abbildungsverzeichnis

Der Urheber der Pflanzenbilder, die hier nicht gesondert aufgeführt sind, ist der Hochgebirgs-Naturpark Zillertal Alpen.  
Alle Bilder bis Seite 6 sind von Anne-Marie Heinze

Alpenmargarite: Iggrenne, wikipedia.org, 2015  
 Kleines Wintergrün: Bernd H., wikipedia.org, 2012  
 Lebensgrün: Knobloch, Jörg H., wikipedia.org, 2012  
 Moos: Steiner, Iggrenne, wikipedia.org, 2004  
 Präseibere: Tafel, wikipedia.org, 2007  
 Rispel: Traubner, Steiner, Bernd Haynold, 2007  
 Stern-Steinbrech: Mefubren99, wikipedia.org, 2010  
 Zwerg-Augentrost: Iggrenne, wikipedia.org, 2004  
 Zerschlitzer Frauenmantel: K. Lauber, Flora Helvetica  
 Bach-Steinbrech: Jörg Hempel, 2013  
 Braun-Klee: Patrick Effland, 2005  
 Huflattich: Andreas Treppe, 2008  
 Zottiges Heidekraut: Iggrenne, wikipedia.org, 2004  
 Alpen-Brandlisch: Franz Xaver, 2014  
 Bleicher Klee: Thomaj, wikipedia.org, 2006  
 Gewöhnliches Katzenpfötchen: Bernd Haynold, 2006  
 Raiger Klee: Iggrenne, wikipedia.org, 2006  
 Wissenklee: Andreas Treppe, 2013  
 Alpen-Scharling: Thomas Mathis, 2005  
 Heidelbeere: Banangraut, wikipedia.org, 2006  
 Schmalblättriges Weidenröschen: Kullma, wikipedia.org, 2009  
 Scheuchzer's Glockenblume: Kurt Kulac, 2006

51