

Zürich, 17. August 2023

QUADRA
*Lebensräume für
Mensch und Natur*

Untersuchung neu entstandener Gletschervorfelder im Kanton Glarus

Voruntersuchung 2022 und Synthese 2021 - 2022

Departement Bau und Umwelt
Umweltschutz und Energie
Glarus



Auftraggeberin

Departement Bau und Umwelt
Umweltschutz und Energie
Kirchstrasse 2
8750 Glarus

Auftragnehmerin

Quadra GmbH
Rötelstrasse 84
8057 Zürich
www.quadragmbh.ch

Bearbeitung durch

Sailer Uwe, dipl. natw. ETH, Quadra GmbH – Projektleitung; Flora u. Lebensräume
Vincent Sohni, dipl. Landschaftsökologe, Quadra GmbH – Fauna
Andri Morell, BSc ZFH Umweltingenieurwesen, Quadra GmbH – Bodenproben,
Fotograf und Drohnenpilot
Solène Schaub, Praktikantin, Quadra GmbH
Norbert Schnyder, dipl. bot., FUB - Forschungsstelle für Umweltbeobachtung AG
– Moose
Fridolin Weber, Niederurnen, Laufkäfer (2021)
Lukas Lischer, MSC Ecology and Evolution Uni Bern, Aquaplus – Laufkäfer (2022)
Beat Frey, Dr. sc. techn. ETH Zürich, WSL - Pilze

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Ausgangslage und Auftrag	6
3	Methode	7
4	Ergebnisse 2022	7
	4.1. Zonierung bzw. Altersstadien seit Gletscherrückgang	7
	4.2. Morphologie, Oberflächen	10
	4.3. Flora und Lebensräume	15
	4.3.1 Fazit	17
	4.4. Moose	18
	4.4.1 Fazit	19
	4.5. Fauna	20
	4.5.1 Fazit	21
	4.6. Pilze	21
	Zusammenfassung	22
5	Synthese 2021 und 2022	24
	5.1. Flora und Lebensräume	25
	5.1.1 Artenvielfalt	25
	5.1.2 Lebensraumtypen	26
	5.2. Moose	27
	5.3. Fauna	28
	5.3.1 Methodische Anmerkungen zur Fauna	30
	5.4. Pilze	31
6	Literaturvergleich	32
7	Diskussion und Empfehlungen	34
	7.1. Diskussion der Ergebnisse	34
	7.2. Empfehlungen	36
8	Literaturverzeichnis	38
	8.1. Gesetzliche Grundlagen	38
	8.2. Literatur	38
9	Anhang	42

1

Zusammenfassung

In den Jahren 2021 und 2022 wurden im Kanton Glarus fünf junge Gletschervorfelder aus Sicht Biodiversität untersucht. Bearbeitet wurden Gefässpflanzen, Lebensräume, Moose und Tiere; in zwei Gletschervorfeldern wurden auch Pilze mittels DNA-Analyse untersucht.

Um die Ergebnisse einordnen zu können wurde eine Literaturrecherche modernerer Forschungsergebnisse gemacht und in Bezug zu den vorliegenden Untersuchungen gestellt.

Erwartungsgemäss nimmt die Artenvielfalt in allen untersuchten Gletschervorfeldern über alle untersuchten Artengruppen im Laufe zunehmender Eisfreiheit zu; einzige Ausnahme sind die Pilze.

Erste Gefässpflanzen und Moose treten nach ungefähr 3-6 Jahren des Gletscherrückgangs auf. Eine Stagnation nach rund 50 Jahren wie in der Literatur beschrieben, konnte nicht eindeutig aber in der Tendenz bestätigt werden.

Obwohl nach dem Gletscherrückgang eine Primärsukzession einsetzt, stellen sich bei den Gefässpflanzen und Tieren keine Arten ein, die ihren Schwerpunkt auf diesen jungen Böden und Lebensräumen haben. So konnten bei den Gefässpflanzen eher zufällig einige seltene oder geschützte Arten festgestellt werden, bei den Tieren gar keine.

Bei den Moosen und Pilzen scheint es einige Spezialisten (Arten der Roten Liste) zu geben, die auf frühere Stadien der Eisfreiheit angewiesen sind.

Bei den Pilzen ist bereits im kargen Boden direkt an der Gletscherzunge eine hohe Diversität an Pilzarten nachzuweisen. Die Pilzgemeinschaften im Boden, die der Gletscherzunge am nächsten sind, sind einzigartig und ähneln eher den pilzlichen Gemeinschaften des Gletschereises als denen des Bodens. Dies deutet darauf hin, dass glaziale Umgebungen wichtige Reservoirs für die Pilzvielfalt sein könnten. Drastische Veränderungen in der Zusammensetzung der Pilzarten fallen mit dem Auftreten einer Vegetationsdecke und dem Aufbau von organischem Material im Boden zusammen.

Aufgrund der Erkenntnisse der Untersuchungen werden Empfehlungen formuliert, welche Artengruppen zu welchem Zeitpunkt erhoben werden sollten, um eine Abschätzung des biologischen Wertes jüngerer Gletschervorfelder machen zu können.

Es wird aber auch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Besonderheit und Einzigartigkeit der Gletschervorfelder weniger in ihrer biologischen Diversität, sondern in ihrer landschaftlichen Entstehung und Einbettung zu sehen ist. Für eine Beurteilung und Einordnung in einen regionalen oder gar nationalen Kontext ist die erprobte und etablierte Erhebungsmethode des IGLES sicherlich die richtige Beurteilungsmethode, um die Bedeutung einer Gletscherlandschaft einordnen zu können. Folglich sollte diese zwingend angewandt werden, wenn Projekte in jüngeren Gletschervorfeldern beurteilt werden sollen.

2

Ausgangslage und Auftrag

2021 wurden im Kanton Glarus die jungen Gletschervorfelder von drei Gletschern exemplarisch untersucht: der Bifertenfirn, der Claridenfirn und der Bächifirn. Die Ergebnisse sind in einem Bericht zusammengefasst [5].

Um die Ergebnisse zu verifizieren und einzelne methodische Empfehlungen aus der ersten Voruntersuchung umzusetzen, wurden 2022 nochmals zwei Gletscher, der Älplifirn und der Hintersulzfirn bearbeitet.

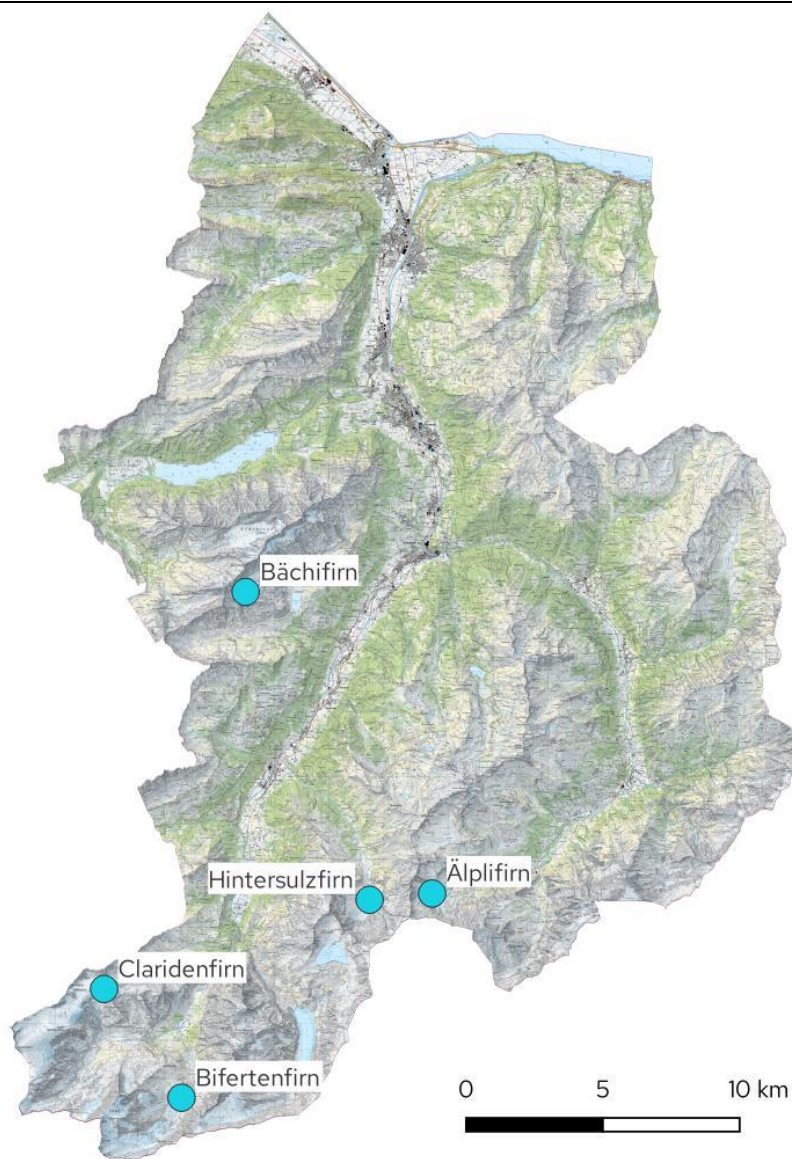


Abbildung 1: Lage der fünf untersuchten Gletschervorfelder im Kanton Glarus

3

Methode

Methodisch wurde analog dem Vorgehen von 2021 vorgegangen. Abweichend wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- _ Auf die Erhebung der Algen wurde verzichtet, da die Resultate von 2021 wenig aufschlussreich waren
- _ Die Erhebungen wurden rund einen Monat früher in der ersten Augushälfte durchgeführt; 2021: Anfang September und gegen Ende September.
- _ Der Hintersulzfirn wurde ausgewählt, weil die Vorfelder bis in tiefere Lagen mit geschlossener Vegetationsdecke reichen. Zudem wird/wurde der Alplifirn im Rahmen des GLAMOS [6] genauer dokumentiert. Vor Ort sind zwei grosse Felsen mit dem jeweiligen Jahr des Gletscherrückzugs markiert.
- _ Das Vorkommen bestimmter Organismengruppen lässt sich mittels der DNA im Boden bestimmen; insbesondere für Pilze eignet sich die Methode. Die WSL konnte für die Bearbeitung der Pilze in den Böden der Gletschervorfelder gewonnen werden. Mithilfe des „next generation sequencing“ (NGS), einer Methode, die das parallele Sequenzieren einer grossen Anzahl von DNA-Molekülen erlaubt, ist es gelungen, Pilze im Gletschervorfeld nachzuweisen.

4

Ergebnisse 2022

4.1. Zonierung bzw. Altersstadien seit Gletscherrückgang

Die Luftbilder lassen nicht in jedem Fall eine klare Zuweisung nach Jahren zu. Bei den Luftbildern in enger zeitlicher Abfolge erschwert die Qualität, der «Restschnee» und die Schuttbedeckung die zeitliche Zuordnung.

Beim Alplifirn konnte die Einteilung der zeitlichen Stadien nach Glamos vor Ort nicht nachvollzogen werden. Die Problematik besteht darin, dass der ganze untere Teil des Gletschers von einer mächtigen

Schuttschicht überdeckt ist. Ein Gletschertor befindet sich im Randbereich im Norden (siehe Abbildung 4).

Auch beim Hintersulzfirn kann die Zuordnung nach Glamos für 1973 nicht stimmen (liegt weit auf dem aktuellen Gletscher) und wurde deshalb nicht berücksichtigt. Dafür konnten zwei Endstadien zeitlich klar zugeordnet werden: jeweils 1992 und 1995 wurden im Gelände grossen Steine beschriftet (Abbildung 3).

Die im Vorfeld vorgenommene Zonierung wurde im Nachgang nochmals kritisch geprüft und in einzelnen Fällen angepasst, sprich vereinfacht. Leider ist es anhand der vorhandenen Unterlagen nach 2003 bzw. nach 1992 weitere zeitlichen Zonen auszuscheiden. Darum wurde bei beiden Gletschern der Abstand zum aktuellen Gletscherende in Metern ungefähr angegeben.

Da es nicht möglich war, die Zonen über beide Gletschervorfelder zu vereinen, wurden für jeden Gletscher eigene Zonen definiert.

Es gelten die folgenden Zonierungen:

Tabelle 1: Alplifirn

Gletscher- rückgang	2019- 2022	2017- 2019	2016- 2017	2003- 2016	2003- 2016	1850- 2003	1850- 2003
Abstand zum Gletschertor	0- 20m	20- 50m	50- 110m	110- 200m	200- 250m	250- 300m	über 300m
Zone	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6

Tabelle 2: Hintersulzfirn

Gletscher- rückgang	2019- 2022	2015- 2019	2010- 2015	1995- 2010	1992- 1995	1850- 1992	1850- 1992
Abstand zum Gletschertor	0- 15m	15- 45m	45- 67m	67- 117m	117- 167m	167- 217m	über 217m
Zone	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6

Die untenstehenden Abbildungen illustrieren die vorgenommene Zonierung für die zwei Gletschervorfelder.

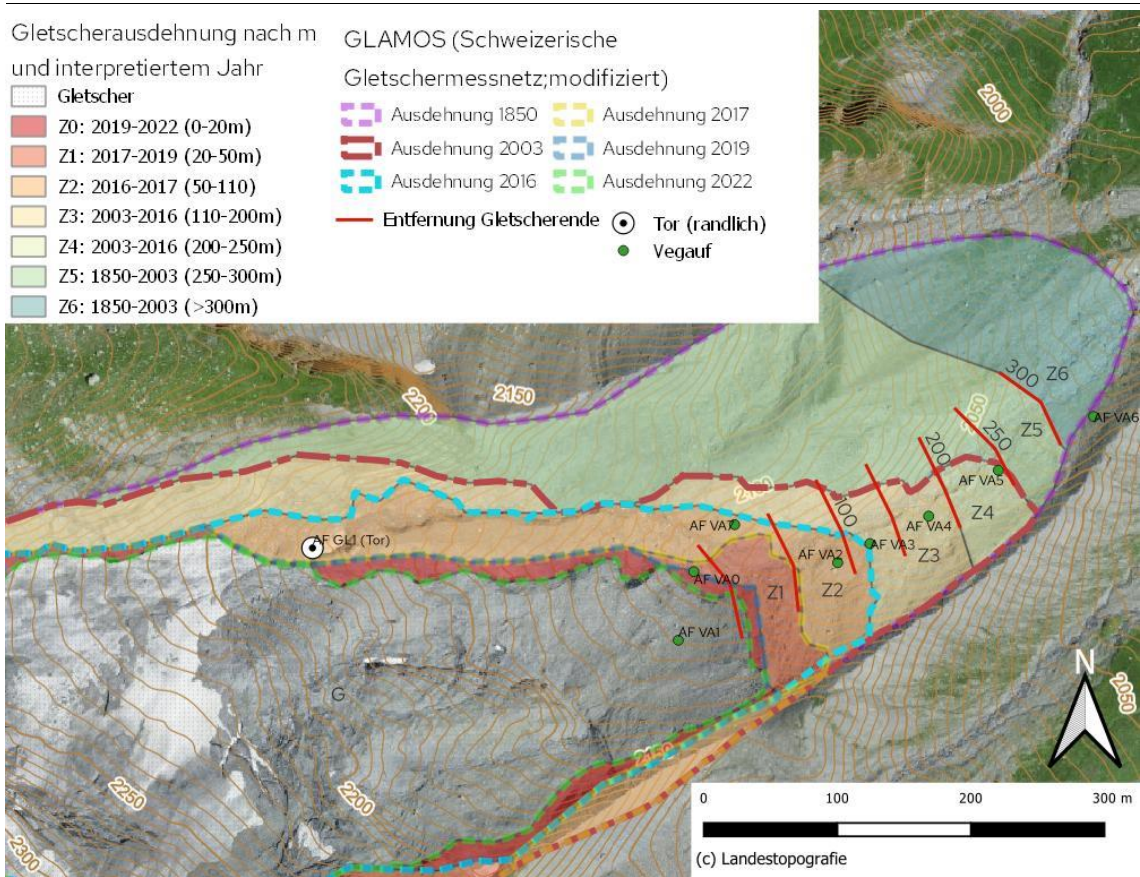


Abbildung 2
 Zonierung Alplifirn

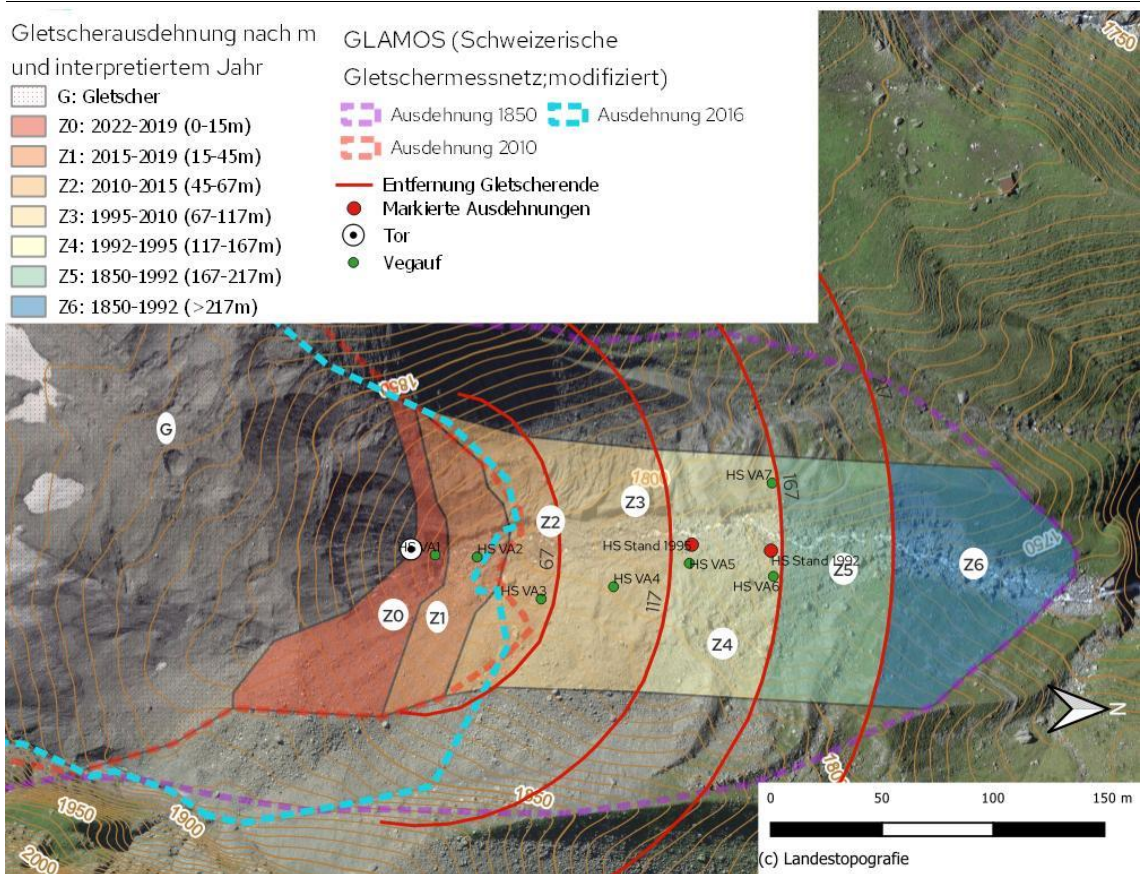


Abbildung 3
 Zonierung Hintersulzfirn

4.2. Morphologie, Oberflächen

Jedes der untersuchten Gletschervorfelder hat seine morphologischen, oberflächlichen Eigenheiten.

Die Oberflächenstruktur ist geprägt von der Topografie und den «Umgebungseinflüssen.» Frühe Stadien (Z0 bis Z3) in coupiertem Gelände haben gemeinsam, dass sie von Geröll und einem geringeren Kies Anteil geprägt sind. Der Kiesanteil nimmt bei älteren Stadien in der Tendenz zu.

Alplifirn

Der Alplifirn liegt an den steilen Felsflanken zwischen dem Hausstock und dem Mettlenstock. Das untersuchte Gletschervorfeld liegt zwischen 2000 und 2100m ü.M. Die «Hauptfliessrichtung» verläuft in einer Geländemulde von West nach Ost. Im Nordosten ragt eine Seitenmoräne in die Höhe (siehe Abbildung 4).

Der untere Teil des Gletschers ist von einer mächtigen Schuttschicht bedeckt, so dass das Ende des Gletschers erst im Gelände erkennbar ist. Ein Gletschertor befindet sich am nördlichen Rand des Gletschers. Das eigentliche Ende des Gletschers befindet sich rund 300m entfernt. Dort wurde für die Erhebungen der 0-Punkt gesetzt.



Abbildung 4: Drohnenaufnahme des Alplifirn; roter Kreis: Gletschertor am nördlichen Rand, rote Linie: 0-Linie = Gletscherende für die Untersuchungen



Abbildung 5: Drohnenaufnahme des Gletschervorfeldes des Alplifirn; im Hintergrund der Waffenplatz von Elm; rote Linie: Gletscherende

Das Schmelzwasser sammelt sich am Gletscherrand und fliesst in der Falllinie ins Tal (siehe Abbildung 5).

Das Gelände ist coupiert und vorwiegend mit schiefbrigem Kies und Geröll bedeckt. In kleinen Mulden, aber auch in ebener Lage sind feinere Fraktionen (Kies-Sand) vorhanden. Im aktuellen Vorfeld sind keine deutlichen randlichen Einflüsse von Hangschutt oder stark wasserführenden Abflussrinnen erkennbar.

Im Gegensatz zu anderen Gletschern sind keine wassergefüllten Senken oder gar Seen vorhanden.

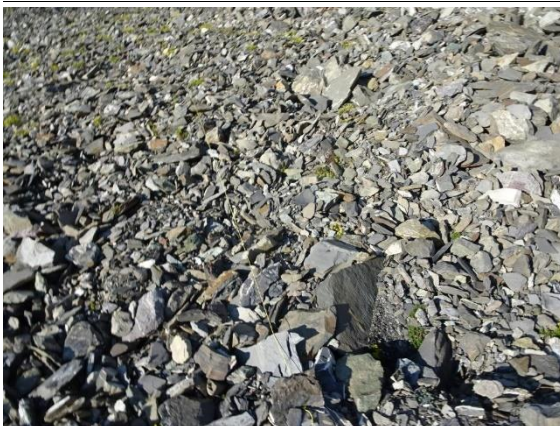


Abbildung 6
Alplifirn – auf der Schuttschicht auf dem Gletcher stellt sich spärlicher Bewuchs mit einzelnen Blütenpflanzen und Moosen ein



Abbildung 7
Alplifirn – Gletscherende Z0



Abbildung 8
Alplifirn –Z0 mit feinem Kies und sandigen Linsen



Abbildung 9
Alplifirn –Z1 mit feinem Kies und Geröll



Abbildung 10
Alplifirn –Z2 Bereich mit etwas größerem Geröll bis Felsen, der Bewimperte Steinbruch dominiert



Abbildung 11
Alplifirn –Z3 Die Struktur ist ähnlich wie in Z2, neben dem Bewimperten Steinbruch kommen weitere Gefässpflanzen und Moose vor



Abbildung 12
Alplifirn –Z4 rund 250m vom Gletscherende entfernt



Abbildung 13
Alplifirn –Z6 über 300m vom Gletscherende entfernt. Die Vegetationsentwicklung ist weiter fortgeschritten und weist eine verhältnismässig geschlossene Vegetationsdecke auf

Hintersulzfirn

Der Hintersulzfirn liegt an den steilen Felsflanken zwischen dem Scheidstöckli, Hintersulzhorn und dem Schlössliturm. Das untersuchte Gletschervorfeld liegt zwischen 1815 und 1750m ü.M. Die

«Hauptfliessrichtung» verläuft in einer von Seitenmöränen gebildeten Geländemulde von Süden nach Norden (siehe Abbildung 14).

Das Gletschertor befindet sich „schulbuchmässig“ am Ende des Gletschers. Das Schmelzwasser tritt am Gletscherende aus und fliesst in der Falllinie ins Durnachtal (siehe Abbildung 15).



Abbildung 14: Drohnenaufnahme des Hinterschulzfirn; Gletschertor in der Mitte am Ende des Gletschers gut erkennbar



Abbildung 15: Drohnenaufnahme des Gletschervorfeldes des Hinterschulzfirn talabwärts; roter Pfeil: Wanderweg +/- Grenze der Beweidung

Das Gelände nach dem Gletscherende ist schwach coupiert und vorwiegend mit schiefbrigem Kies, Geröll und Felsen bedeckt. In kleinen Mulden, aber auch in ebener Lage sind feinere Fraktionen (Kies-Sand) vorhanden. Im aktuellen Vorfeld sind keine deutlichen randlichen Einflüsse von Hangschutt oder stark wasserführenden Abflussrinnen vorhanden.

Auch hier sind keine wassergefüllten Senken oder gar Seen vorhanden. Das beweidete Sömmungsgebiet geht bis etwa zum Wanderweg, der auf einer Höhe von rund 1750m ü.M. am unteren Rand des Gletschervorfeldes liegt.



Abbildung 16
Hintersulzfirn – Gletschertor



Abbildung 17
Hintersulzfirn – Gletscherende Z0



Abbildung 18
Hintersulzfirn – Z1 relativ gleichmässiger schiefriger Schutt



Abbildung 19
Hintersulzfirn – Z2 heterogen mit feinem Kies – Sand und Felsen, der Bewimperte Steinbrech dominiert



Abbildung 20
Hintersulzfirn – Z3 heterogen mit schiefrigem Schutt und Felsen



Abbildung 21
Hintersulzfirn – Z4 heterogen mit schiefrigem Schutt und Felsen; Stand Gletscherende 1995



Abbildung 22
Hintersulzfirn – Z5 heterogen mit Felsen, neben dem Bewimperten Steinbrech kommen weitere Gefässpflanzen und Moose vor



Abbildung 23
Hintersulzfirn – Z5 an Seitenmoräne; Vegetationsdecke annähernd geschlossen, Dominanz des Alpen-Wundklee

4.3. Flora und Lebensräume

Für die Bearbeitung der Flora war der Zeitpunkt in der ersten Augushälfte sehr gut. Die meisten Arten wurden in blühendem oder fruchtendem Zustand angetroffen. Es ist daher davon auszugehen, dass das Artenspektrum ziemlich vollständig beurteilt werden konnte. Die beiden Gletschervorfelder wurden mit je sieben Vegetationsaufnahmen bzw. Gesamtartenlisten dokumentiert.

Eine Übersicht über alle Pflanzenerhebungen befindet sich im Anhang.

Im frühesten Stadium nach dem Gletscherrückgang (Z0; 2019 - 2022) kommen bei beiden Gletschervorfeldern keine Gefässpflanzen vor.

Erwartungsgemäss nimmt die Artenzahl mit der Dauer des Gletscherrückgangs kontinuierlich zu (vgl. Abbildung 24 und Abbildung 25). Die Entwicklung verläuft in den beiden Gletschervorfeldern ähnlich. Die maximale Artenvielfalt ist in der Tendenz nach ca. 15 bis 25 Jahren Eisfreiheit erreicht und bleibt dann konstant bzw. nimmt leicht ab.

Artenzahl Flora (Äplifirn)

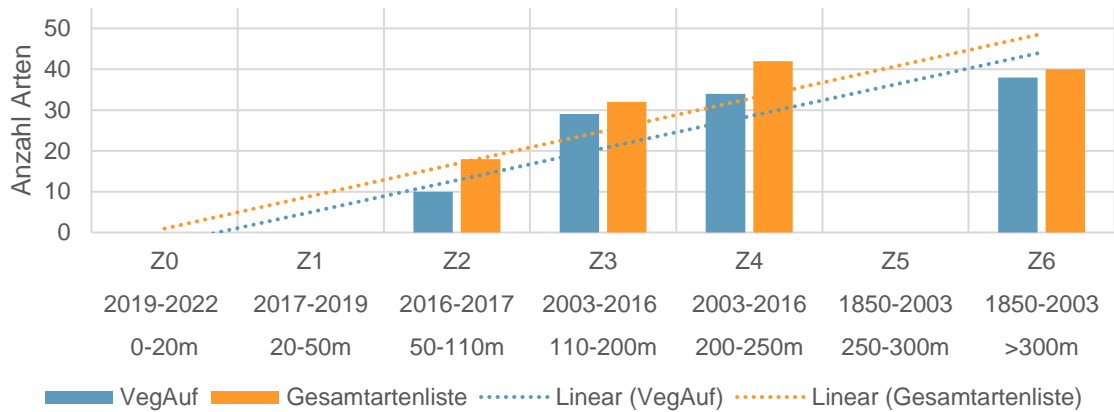


Abbildung 24: Artenzahl Flora mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit beim Äplifirn

Artenzahl Flora (Hintersulzfirn)

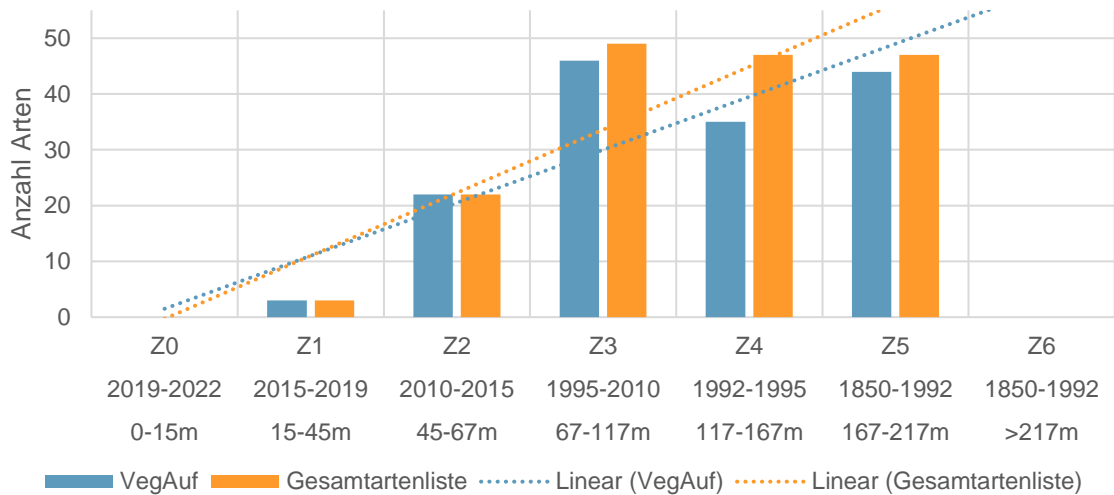


Abbildung 25: Artenzahl Flora mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit beim Hintersulzfirn

Bei den vorkommenden Lebensraumtypen handelt es sich in den jungen Stadien um Alluvionen mit krautiger Pioniervegetation (3.2.1.1. = *Epilobion fleischeri*) und anschliessend mehrheitlich bis in die älteren Stadien um Kalk-Schuttfluren (3.3.1.) unterschiedlicher Ausbildung. Bei beiden Gletschern sind die Feinerdenreiche Kalkschuttflur (3.3.1.4. = *Petasition paradoxo*) vorherrschend. Als Besonderheit sei die Alpine Kalkschieferflur (3.3.1.3. = *Drabion hoppeanae*) in einem jungen Stadium am Äplifirn erwähnt. Die Aufnahme am Äplifirn in einem Bereich, der mehr als 300m vom Gletscherende entfernt ist, wird den Rostseggenhalden zugeordnet. Rostseggenhalden sind subalpine bis alpine Hanggrasen, die vorwiegend an kalkhaltigen, meist

nordexponierten Steilhängen, die stets gut durchfeuchtet und natürlicherweise nicht sehr nährstoffarm sind, vorkommen.

Alle vorkommenden Lebensräume gelten gemäss Anhang 1 des NHV als schützenswert [2].

Tabelle 3

Zuordnung der Vegetationsaufnahmen (75m²) der zwei Gletschervorfelder zu den Lebensräumen der Schweiz; alle sind nach NHV Anhang 1 schützenswert; NP=National prioritäre Lebensräume 2 (hoch), 3 (mittel); RL=Rote Liste der Lebensräume: als nicht bedroht gilt NT (potentiell gefährdet)

Lebensraumtyp nach TypoCH	NP	RL	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Tot
3.2.1.1. Alluvionen mit krautiger Pioniervegetation	2	VU	2						2
3.3.1.2. Alpine Kalkblockflur	0	LC		1	1				2
3.3.1.3. Alpine Kalkschieferflur	0	LC	1						1
3.3.1.4. Feinerdenreiche Kalkschuttflur	0	LC		1	1	2	1		5
4.3.3. Rostseggenhalde	3	NT						1	1
Total			3	2	2	2	1	1	11

Es kommen zwei Arten vor, die zu den National prioritären Arten [6] zählen: Hallers Margerite (*Leucanthemum halleri*) und die Schwarze Schafgarbe (*Achillea atrata*). Ansonsten handelt sich durchwegs um Arten, die in der subalpinen bis alpinen Stufe auf Schuttflächen weit verbreitet sind.

4.3.1 Fazit

- In den frühesten Stadien (Z0 bis Z1; bis ca. 2015) sind kaum Pflanzen vorhanden
- Kontinuierliche Zunahme der Artenvielfalt mit zunehmender Zeit der Eisfreiheit; nach ca. 20 bis 25 Jahren der Eisfreiheit tritt in der Tendenz bezüglich der Artenvielfalt eine Stagnation ein.
- In allen untersuchten Zonen keine seltenen Arten oder ausgesprochene Spezialisten vorhanden
- Die vorhandenen Lebensräume lassen sich aufgrund der Artenzusammensetzung nach der Typologie der Lebensräume der Schweiz v.a. den Kalk-Geröllhalden (3.1.1.) zuordnen. Die feinerdereichen Kalkschuttfluren machen den grössten Teil aus; dies sowohl in relativ jungen als auch in älteren Stadien. Beim Alplifirn setzt nach einigen Jahrzehnten die Entwicklung zu Rostseggenhalden ein
- Die vorkommenden Lebensräume gelten nach NHV Anhang 1 als schützenswert

4.4. Moose

Die Moose wurden in den Vegetationsaufnahmen sowie in den verschiedenen Zonen gesammelt und von Norbert Schnyder, FUB, bestimmt.

Eine Übersicht über alle Mooserhebungen befindet sich im Anhang.

In der erst seit kurzem eisfreien Zone (0) noch keine Moosvorkommen. Ab Zone 2 und 3 eher wenige Pioniermoose, in späteren Phasen mehr und längerlebige Arten. Allerdings kommen bereits in frühen Phasen schon längerlebige Arten vor, wie *Ptychodium plicatum* beim Alplifirn bereits in Zone 1. In Zone 3 kommt auch die eher seltene, aber typische Art für Gletschervorfelder, *Ditrichum pusillum* vor.

Beim Hintersulzfirm sind in Zone 2 und 3 auch eher Pionierarten vorhanden, werden aber auch in Zone 3 schon teilweise durch längerlebende Arten ersetzt. Ein besonderer Fund ist *Lophozia personii* in Zone 2. Diese ist sehr selten, es gibt aktuell nur 5 bekannte Fundorte in der Schweiz. Die Art hat Pioniercharakter und kommt auf offenen kalkhaltigen Böden vor.

Insgesamt kommen 46 Moosarten in den verschiedenen Zonen vor. Am meisten Arten wurden in den mittleren Zonen Z3 und Z4 gefunden (vgl. Abb. 37).

Insgesamt wurden drei Arten der Roten Liste [9] gefunden; eine weitere ist auf der „Vornwarnliste“. Deren Vorkommen verteilt sich auf verschiedene Altersstadien (vgl. Abbildung 26 und Abbildung 27).

Tabelle 4

Vorkommen der Arten der Roten Liste der Moose

Prio=Nationale Priorität: 3= mittel, 4= mässig
 RL=Gefährdung: VU=gefährdet, NT= potenziell gefährdet
 Ver=Verantwortung: 1= geringe Verantwortung

A=Alplifirn; HS=Hintersulzfirm

Art (dt)	Art (wissenschaftlich)	Prio	RL	Ver	Vorkommen
Gedrehtzähniges Doppelhaarmoos	<i>Ditrichum pusillum</i>	3	VU	1	A
Mittleres Birnmoos	<i>Bryum intermedium</i>	4	VU	1	A, HS
Krummes Starknervmoos	<i>Cratoneuron curvicaule</i>	-	NT	-	A
Perssons Spitzlebermoos	<i>Lophozia perssonii</i>	4	VU	1	HS

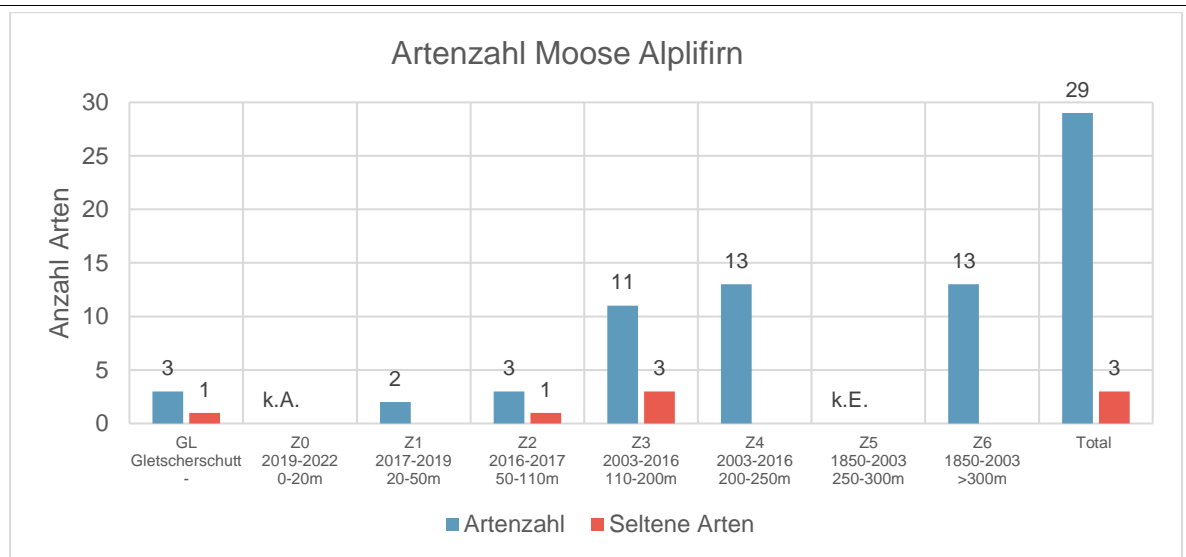


Abbildung 26: Artenzahl und seltene Arten der Moose mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit und Abstand vom Gletscherende beim Alplifirn (k.A.: keine Arten vorhanden, k.E.: keine Erhebungen)

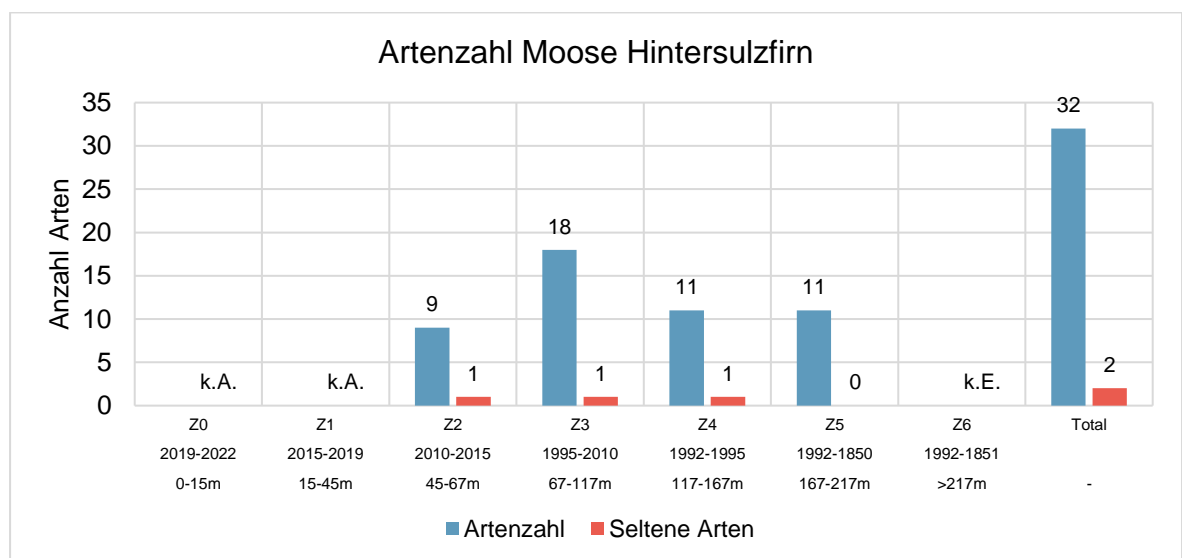


Abbildung 27: Artenzahl und seltene Arten der Moose mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit und Abstand vom Gletscherende beim Hintersulzfirn (k.A.: keine Artvorkommen; k.E.: keine Erhebungen)

4.4.1 Fazit

- Vergleichbar den Pflanzen sind in den frühen Stadien (Z0 bis Z1; bis ca. 2015) nur vereinzelt bis keine Moose vorhanden
- Artenvielfalt nimmt mit Dauer der Eisfreiheit zu; Schwerpunkt in den Zonen Z3 und Z4 (zwischen ca. 1992 und 2010); in älteren Stadien (Zone 5 u. 6) bleibt die Artenvielfalt +/- konstant, aber es wurden keine seltenen Arten mehr gefunden.
- Die Artenzusammensetzung hängt im Detail auch von den Feuchtigkeitsverhältnissen und anderen Faktoren ab.
- Bemerkenswert sind die Vorkommen von mehreren Arten der Roten Liste; z.T. Neufunde für die Region

4.5. Fauna

Eine Übersicht über die Faunaerhebungen befindet sich im Anhang.

Summiert man anhand der Käfer, Tagfalter und Morphospecies die Arten pro Zone auf, so ergibt sich ein deutlicher Trend: mit zunehmender Anzahl Jahre des Gletscherrückgangs ist eine Zunahme der Artenzahl feststellbar. Zwar wurden in der jüngsten Zone (Zone 1) nur beim Alplifirn Tiere gefunden, bereits in der Zone 2 tauchen dann aber in beiden Gebieten die ersten Arten auf. Beim Hintersulzfirn liegt das Maximum der Artenzahl in der Zone 3.

Etwas ausser der Reihe fanden sich beim Alplifirn bereits in der Zone 1 einige Morphospecies. Der Gletscher gehört im Vergleich mit den anderen vier Untersuchungsgebieten zu den etwas tiefer Gelegenen. Vielleicht haben daher die klimatischen Bedingungen einen positiven Einfluss auf die Artenzahl (was aber auch für den Bifertenfirn und den Hintersulzfirn gelten würde). Es handelt sich bei den gefundenen Arten überwiegend um sehr mobile Arten (Fliegen, Mücken, Hautflügler, Nachtfalter) die auf ein erhöhtes Blütenangebot in dieser Zone hinweisen könnten, sich aber kaum in dieser Zone entwickelt haben. Ausserdem fallen einige bodenbewohnende Lebewesen auf (Springschwänze, Steinläufer, Spinnenarten) was auf besonders geeignete Substrateigenschaften hinweisen könnte. Auf jeden Fall gilt auch beim Alplifirn, dass das Maximum der Artenvielfalt erst in einem schon länger eisfreien Gebiet erreicht wird (Zone 5).

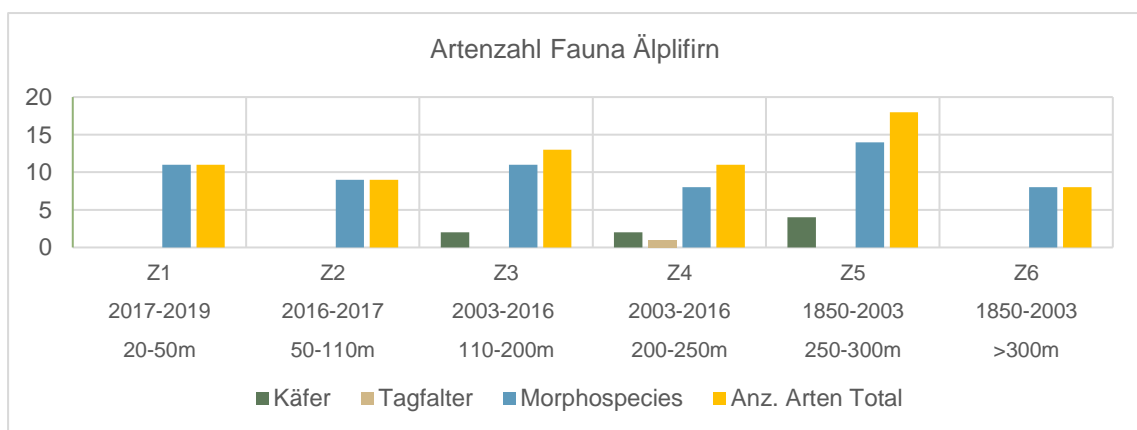


Abbildung 28: Artenzahl Fauna mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit und Abstand vom Gletscherende beim Älplifirn

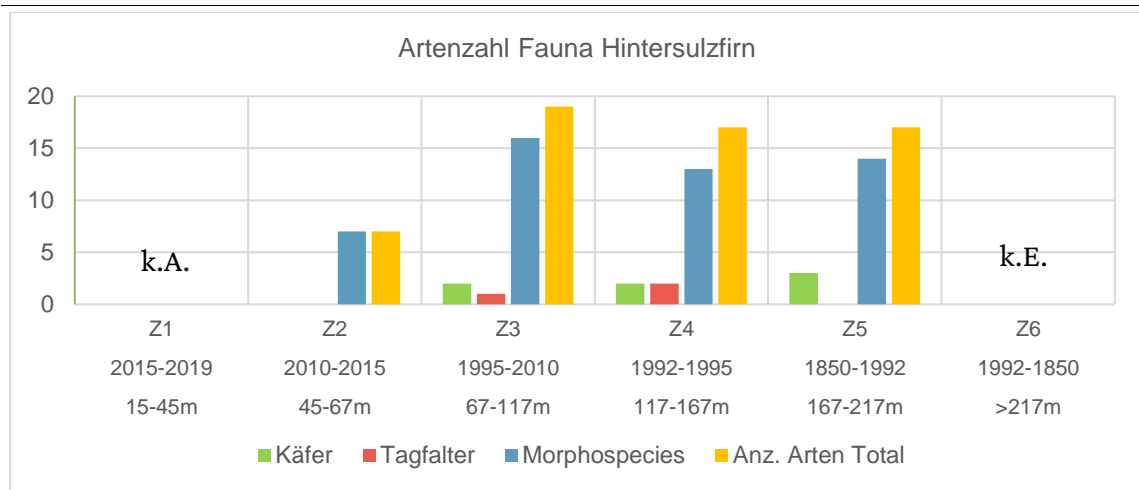


Abbildung 29: Artenzahl Fauna mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit und Abstand vom Gletscherende beim Hintersulzfirn (k.A.: keine Artvorkommen; k.E.: keine Erhebungen)

4.5.1 Fazit

- Sowohl die auf Artniveau untersuchten Tiergruppen der Laufkäfer und Tagfalter als auch die übrigen Arten zeigen eine Zunahme der Artenzahlen mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit.
- Es konnten keine Arten der Roten Listen festgestellt werden. Viele Arten sind spezialisiert auf höhere Lagen, die meisten aber häufig. Einige wenige Arten sind Endemiten der nördlichen Alpenkette.
- Während die frisch aperen Zonen (Z1-Z2, eisfrei nach 2010) nur von wenigen Tagfaltern und Zweiflüglern besucht werden, liegt in den Stadien die seit 2010 eisfrei (Z3 - Z5) sind teilweise bereits ein Maximum. Dies hängt vermutlich vor allem mit dem Blütenreichtum dieser Zone zusammen. Noch länger eisfreie Gebiete (Z6) weisen in der Tendenz eine Abnahme der Artenvielfalt auf.
- Es gibt bei der Fauna keine Hinweise auf Arten, welche nur in frühen Sukzessionsstadien vorkommen.

4.6. Pilze

Autor: Beat Frey, WSL Eidgenössisches Forschungsinstitut für Wald, Schnee und Landschaft, 8903 Birmensdorf

In Ergänzung zu den Untersuchungen von 2021 wurden in den Gletschervorfeldern des Alplifirn und des Hintersulzfirn Pilze alpiner Primärsukzessionsstandorte untersucht. Die Erhebungen und anschließenden Auswertungen wurden unter der Leitung von Beat Frey, WSL, gemacht. Die Quadra GmbH erhob nach den entsprechenden Vorgaben die Bodenproben im Feld. Diese wurde anschliessend von der WSL analysiert und ausgewertet. Nachstehend ist die Zusammenfassung wiedergegeben. Der ausführliche Bericht ist im Anhang zu finden.

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie ist die Erfassung der Pilzarten, die die neu entstandene ökologische Nische, das Gletschervorfeld, besiedeln. In den Gletschervorfelder des Alplifirn und des Hinteren Sulzfirm im Kanton Glarus wurden erstmals Pilze alpiner Primärsukzessionsstandorte in umfangreicher Weise untersucht. Mithilfe des „next generation sequencing“ (NGS), einer Methode, die das parallele Sequenzieren einer grossen Anzahl von DNA-Molekülen erlaubt, ist es gelungen, Pilze im Gletschervorfeld nachzuweisen. Ein grosser Teil der Pilzsequenzen (ca. 25%) konnte nicht bis auf Artebene identifiziert werden und waren unbekannt. Die Artenanzahl in einer Bodenprobe des Gletschervorfeldes variierte zwischen 20 und 450. Es war kein klarer Trend in der Artenanzahl und Entfernung vom Gletschereis festzustellen.

Selbst im kargen Boden direkt an der Gletscherzunge ist bereits eine hohe Diversität an Pilzarten nachzuweisen. Drastische Veränderungen in der Zusammensetzung der Pilzarten fallen mit dem Auftreten einer Vegetationsdecke und dem Aufbau von organischem Material im Boden zusammen. Nach dem Abschmelzen des Eisschildes wurden auf den kargen Böden im Gletschervorfeld spezifische gemeinschaftsartige Muster von Pilzarten festgestellt. *Ascomycota* (*Cladosporium*, *Alternaria*, *Rhinocladiella*), die aquatischen *Chytridiomycota* (*Rhizophydium*) und psychrophile *Basidiomycota*-Hefen (*Malassezia*) besiedelten bevorzugt den gletschernahen Boden. Viele dieser Arten sind Ubiquisten, die überall vorkommen, sehr widerstandsfähig gegen Kälte und UV-Strahlung sind und neuen, kargen Boden rasch besiedeln können. Die Pilzgemeinschaften im Boden, die der Gletscherzunge am nächsten sind, sind einzigartig und ähneln eher den pilzlichen Gemeinschaften des Gletschereises als denen des Bodens. Dies deutet darauf hin, dass glaziale Umgebungen wichtige Reservoirs für die Pilzvielfalt sein könnten.

Pilzgemeinschaften sehr junger Böden unterscheiden sich stark von den Pilzgemeinschaften späterer Sukzessionsstadien mit mehr oder weniger dichter Bodenvegetation. Hier finden wir Pilzarten, die für ihre Assoziationen mit Pflanzen bekannt sind, z.B. als Endophyten und Parasiten. *Ascomycota* (*Tetracladium*, *Plenodomus*) und *Mucoromycota* (*Mortierella*) kommen hier häufig vor. Das Vorkommen von symbiontischen Ekto-Mykorrhizapilzen (ECM) steht in engem Zusammenhang mit der Pflanzenbedeckung. ECM Pilze kamen in nackten Böden nicht vor. Beispiele einiger festgestellten symbiontischen ECM Pilzen waren: *Amphinema*, *Inocybe*, *Paulisebacina*, *Piloderma* und *Tomentella*. In den Gletschervorfelder fanden wir auch seltene und geschützte Pilze. Zwei gefundene Pilztaxa sind auch auf der Roten Liste der gefährdeten Grosspilze aufgeführt. Es waren dies: *Pleurotus pulmonarius* (Cremeweisser Seitling) und *Tomentella subclavigera* (Keulenzystiden-Filzgewebe). Der Einsatz von molekularen Methoden, die heute routinemässig eingesetzt werden, ermöglicht eine artgenaue Identifizierung der Pilzpartner, und trägt somit wesentlich zum

Verständnis der Funktion und der ökologischen Rolle von Pilzen in Gletschervorfelder bei.

5

Synthese 2021 und 2022

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse der beiden Untersuchungsjahre zusammengefasst.

Die zeitliche Abfolge bzw. Einordnungen sind nicht immer identisch, die Spanne der Jahre ist von der Verfügbarkeit und der Qualität der Luftbilder und den Angaben im Schweizerischen Gletschermessnetzes (GLAMOS – Glacier Monitoring in Switzerland; [6]) abhängig.

Eine grosse Schwierigkeit bei der Interpretation der Ausdehnung ist die Schuttbedeckung der Gletscher; besonders ausgeprägt ist dies beim Alplifirn. Im GLAMOS sind die Linien von 1973 leider etwas irreführend, da nach einer anderen Methode ausgewertet als die Daten von 2016. Der schuttbedeckte Teil der Gletscher wurde 1973 nicht berücksichtigt (Auskunft von Andreas Linsbauer, GLAMOS)., darum liegt die Linie bei von Schuttbedeckten Gletschern weit «hinter» dem Stand von 2016.

Die «alten» Zonen (Z5 und Z6) wurden beim Clariden- und Bächifirn nur sehr rudimentär bearbeitet. Beim Hintersulzfirn, dem tiefstgelegenen Gletscher reicht die Zone 6 ins Sömmerungsgebiet und wird beweidet. Da die Beweidung die ungestörte Sukzession nachhaltig beeinflusst, wurden keine Erhebungen gemacht.

Tabelle 5

Übersicht der vorgenommenen Zonierung sowie deren zeitliche Einordnung der fünf Gletschervorfelder

Jahre	2019- 2021/2022	2017- 2019	2010- 2015	2013- 2015	1995/ 2003- 2010	1992- 1995/ 1973- 2003	1973/ 1992- 1850
Anzahl Jahre eisfrei	0-3	3-6		7-12		12-25	20-30(50) (30)50-170
Bifertenfirn	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Claridenfirn	Z0	Z1		Z3	Z4	Z5	Z6
Bächifirn	Z0	Z1		Z3	Z4	Z5	Z6
Alplifirn	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Hintersulzfirn	Z0	Z1	Z2		Z3	Z4	Z5

Tabelle 6

Übersicht der Lage der fünf Gletschervorfelder und Angaben aus dem Schweizerischen Gletschermessnetz (GLAMOS)

Gletscher	Höhenausdehnung Gletschervorfeld (m ü.M.)	Exp.	Bearbeitungs- jahr	GLAMOS	
				Beobachtungs- periode	Längenände- rung (m)
Bifertenfirn	2000 – 2100	NE	2021	1883 – 2021	-247
Claridenfirn	2400 – 2500	E	2021	1893 – 1942	-419
Bächifirn	2100 – 2200	E	2021	-	-
Alplifirn	2000 – 2100	E	2022	-	-
Hintersulzfirn	1750 – 1815	N	2022	1912 – 2022	-153

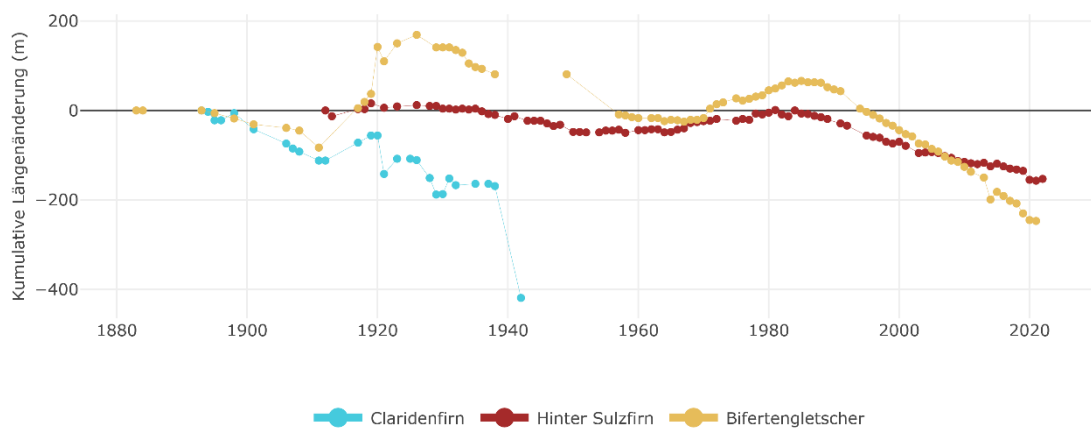


Abbildung 30: Längenänderung (kumulativ) der von zwei im Rahmen des GLAMOS dokumentierten Gletscher. Die Messreihe des Claridenfirn ist nicht nachvollziehbar (endet 1942)

5.1. Flora und Lebensräume

5.1.1 Artenvielfalt

- Erste Gefässpflanzen treten nach drei bis sechs Jahren nach dem Rückzug der Gletscher auf. Der Bewimperte Steinbrech (*Saxifraga aizoides*) ist die erste stetig auftretende Art und ist in den ersten Phasen aspektbildend.
- Generell nimmt die Artenvielfalt der Gefässpflanzen mit Zunahme der eisfreien Zeit bei allen untersuchten Gletschervorfeldern zu. Die Erhebungen lassen keinen eindeutigen Schluss zu, ab wann die Zunahme stagniert. Aber in der Tendenz können die Ergebnisse vergleichbarer Studien bestätigt werden, dass nach

rund 50 Jahren die Zunahme der Artenvielfalt stagniert (vgl. Kap. 6).

Beim Hintersulzfirn, dessen Gletschervorfeld von 1850 bis ins Weidegebiet ragt, scheint das Maximum bezüglich der Artenvielfalt nach rund 20 Jahren nach dem Gletscherrückzug erreicht zu sein.

- Vorkommen von seltenen oder geschützten Gefässpflanzen haben eher zufälligen Charakter und haben keine direkte Abhängigkeit von den Gletschervorfeldern.

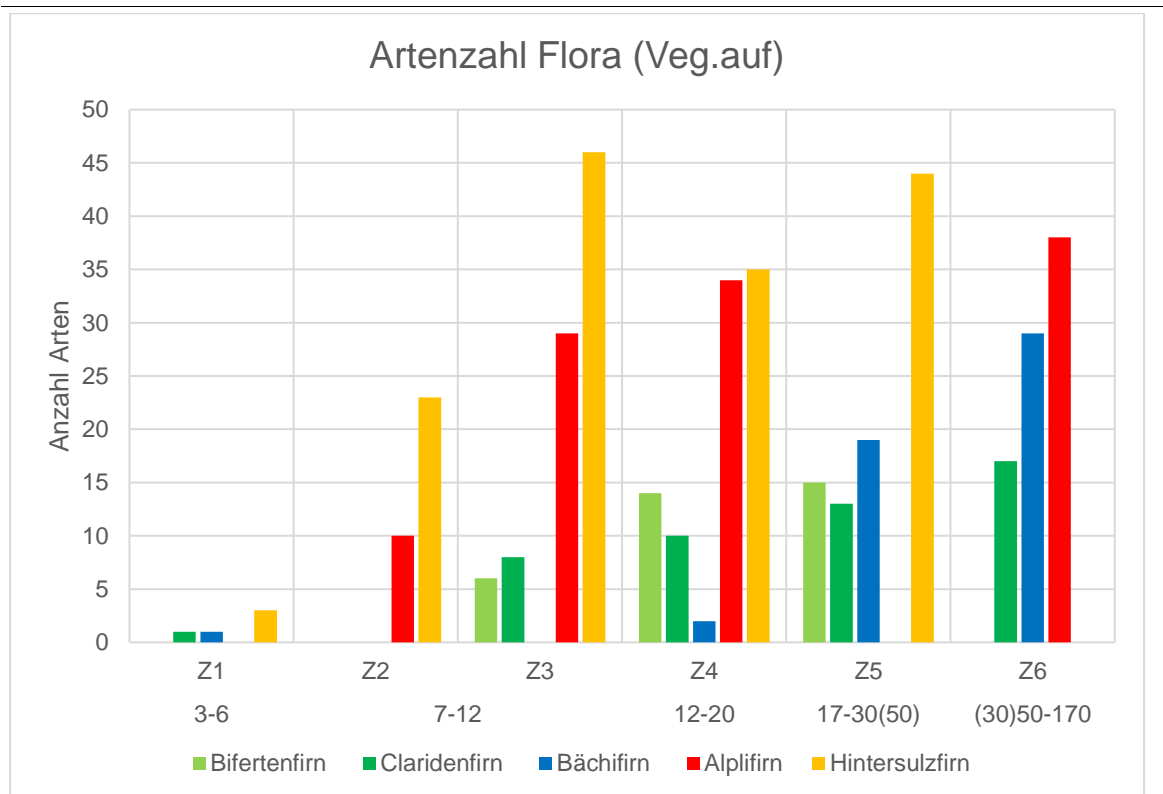


Abbildung 31: Artenzahlen der Vegetationsaufnahme (75m²) in den fünf Gletschervorfeldern in Abhängigkeit der Lage (Zone) und der eisfreien Zeit

5.1.2 Lebensraumtypen

- Bei den vorkommenden Lebensraumtypen handelt es sich in den jungen Stadien um Alluvionen mit krautiger Pioniervegetation (3.2.1.1. = Epilobion fleischeri). Spätere Stadien können mehrheitlich den Kalk-Schuttfluren (3.3.1.) unterschiedlicher Ausbildung zugeordnet werden.

Bei den beiden Gletschervorfelder um den Hausstock (Alplifirn und Hintersulzfirn) dominieren die Feinerdereichen Schuttfluren (3.3.1.4.), während an den drei anderen Standorten die Alpinen Kalkblockfluren (3.3.1.3.) den Hauptteil ausmachen – dies in beiden Fällen unabhängig von der eisfreien Zeit.

Das älteste Stadium wurde am Alplifirn in einer Entfernung von rund 300m vom Gletscherende aufgenommen. Rostseggenhalden sind subalpine bis alpine Hanggrasen, die

vorwiegend an kalkhaltigen, meist nordexponierten Steilhängen, die stets gut durchfeuchtet und natürlicherweise nicht sehr nährstoffarm sind, vorkommen.

- Alle vorkommenden Lebensräume gelten gemäss Anhang 1 des NHV als schützenswert [2].
- Mit Ausnahme des Hintersulzfirn liegen alle untersuchten Gletschervorfelder in Felsschuttlandschaften, d.h. das Umland unterscheidet sich von der Oberflächenstruktur und den Landschaftsformen nicht grundsätzlich von den untersuchten Gletschervorfeldern.

Tabelle 7

Zuordnung der Vegetationsaufnahmen (75m²) der 5 Gletschervorfelder zu den Lebensräumen der Schweiz; alle sind nach NHV Anhang 1 schützenswert;

NP=National prioritäre Lebensräume: 2 (hoch), 3 (mittel)

RL=Rote Liste der Lebensräume: VU (gefährdet), als nicht bedroht gilt NT (potentiell gefährdet)

Lebensraumtyp nach TypoCH	NP	RL	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Tot
3.2.1.1. Alluvionen mit krautiger Pioniervegetation	2	VU	4		1	2			7
3.3.1.2. Alpine Kalkblockflur	0	LC		1	7	4	6	2	20
3.3.1.3. Alpine Kalkschieferflur	0	LC	1		2				3
3.3.1.4. Feinerdenreiche Kalkschuttflur	0	LC		1	1	2	1		5
4.3.3. Rostseggenhalde	3	NT						1	1
Total			35	2	11	8	7	3	36

5.2. Moose

- In den Zonen 1 und 3, die erst relativ kurz eisfrei sind, finden sich vor allem Pionierarten aus den Gattungen *Bryum*, *Pohlia* und einmal *Funaria hygrometrica*.
- In den schon etwas länger eisfreien Zonen (Z4 – Z6) kommen dann pleurokarpe Moose dazu wie *Palustriella*-, *Cratoneuron*-, *Brachythecium*-Arten und ausserdem längerlebige akrokarpe Polstermoose (*Tortella*, *Syntrichia*), die nicht mehr als Pioniere gelten. Pionierarten können aber je nach Situation auch noch längere Zeit vorhanden sein, z.B. bei instabilem Boden.
- Die Artenzusammensetzung hängt im Detail auch von den Feuchtigkeitsverhältnissen und anderen Faktoren ab. An nassen Stellen sind dann eher die *Palustriella*- und *Cratoneuron*-Arten sowie *Bryum schleicheri* und *pseudotriquetrum* zu finden, an trockeneren die *Tortella*- und *Syntrichia*-Arten.
- Am meisten Arten wurden in den mittleren Zonen Z3, Z4 und Z5 gefunden (vgl. Abb. 37).
- Es sieht so aus, dass Moose die einzige Artengruppe sind, bei denen seltene Spezialisten in den früheren Stadien der Gletschervorfelder auftreten

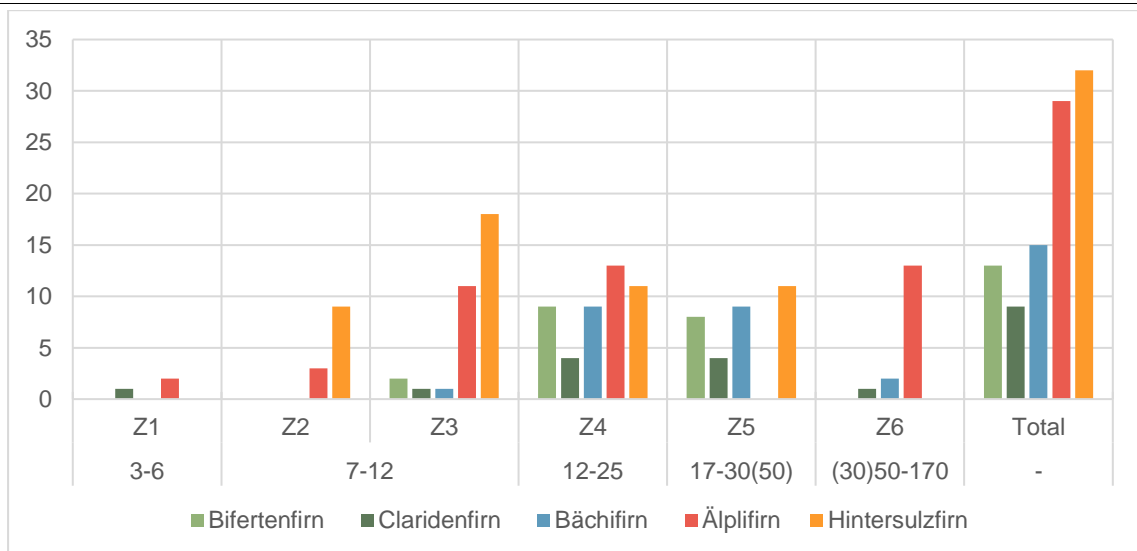


Abbildung 32: Artenzahlen der Moose in den fünf Gletschervorfeldern in Abhängigkeit der Lage (Zone) und der eisfreien Zeit

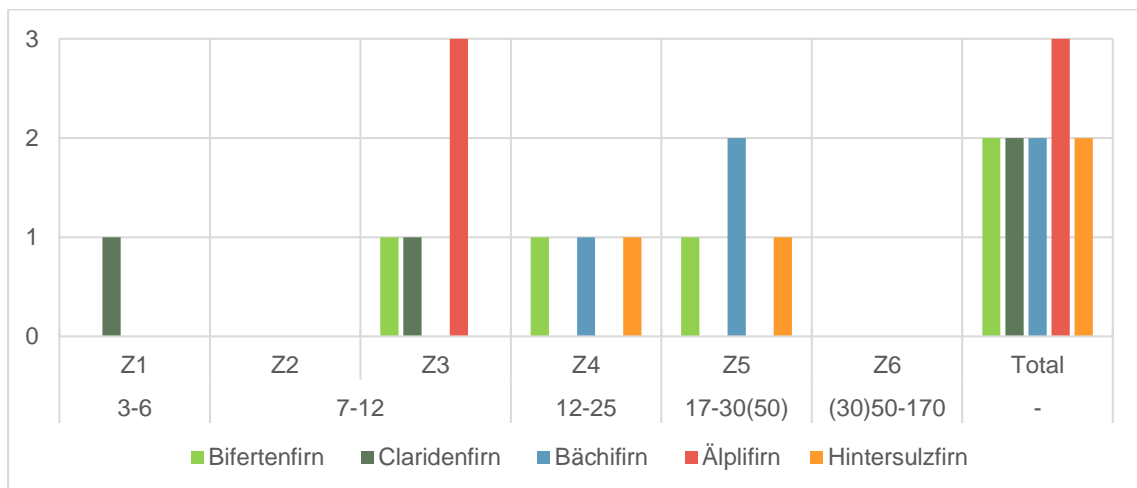


Abbildung 33: Seltene Moosarten in den fünf Gletschervorfeldern in Abhängigkeit der Lage (Zone) und der eisfreien Zeit (Arten mit Status NT wurden mitgerechnet)

5.3. Fauna

- Sowohl die auf Artniveau untersuchten Tiergruppen der Laufkäfer und Tagfalter als auch die übrigen Arten zeigen eine Zunahme der Artenzahlen mit zunehmender Dauer der Eisfreiheit (vgl. Abbildung 28, Abbildung 29 und Abbildung 31).
- Es konnte nur bei den Wildbienen ein Artkomplex festgestellt werden, bei dem ein Eintrag auf der Roten Liste möglich ist. Viele Arten sind spezialisiert auf höhere Lagen, die meisten aber häufig. Einige wenige Arten sind Endemiten der nördlichen Alpenkette und damit auch von nationaler Priorität.
- Während die frisch aperen Zonen (Z1-Z2, eisfrei seit ca. 10 Jahren) nur von wenigen Arten besucht werden, liegt in den

Stadien, die seit 10 bis 20 Jahren eisfrei (Z3 u. Z4) sind, teilweise bereits ein Maximum. Dies hängt vermutlich vor allem mit dem Blütenreichtum dieser Zone zusammen. Noch länger eisfreie Gebiete (Z5) bildeten nur beim Bächifirn und Alplifirn das Maximum.

- Es gibt bei der Fauna keine Hinweise auf Arten, welche nur in frühen Sukzessionsstadien vorkommen.
- Innerhalb der Resultate zeigen sich wenig Unterschiede oder Besonderheiten zwischen den verschiedenen Gebieten. Die Gebiete, die im Jahr 2022 untersucht wurden, waren allerdings insgesamt deutlich artenreicher. Neben der etwas geringeren Höhenlage dieser Gebiete führen die Autoren dies vor allem auf das gegenüber 2021 frühere Erfassungsdatum zurück (August statt September). Den Erfassern fiel ausserdem auf, dass dort, wo sich in kleine Senken und Ebenen Feinmaterial und Feuchtigkeit ansammeln, bei den bodenbewohnenden Kleintieren eine höhere Vielfalt feststellbar war.
- Nicht überall wurde gleich intensiv gesucht (meist in Zone 5 und 6 nur noch Stichprobenartig).

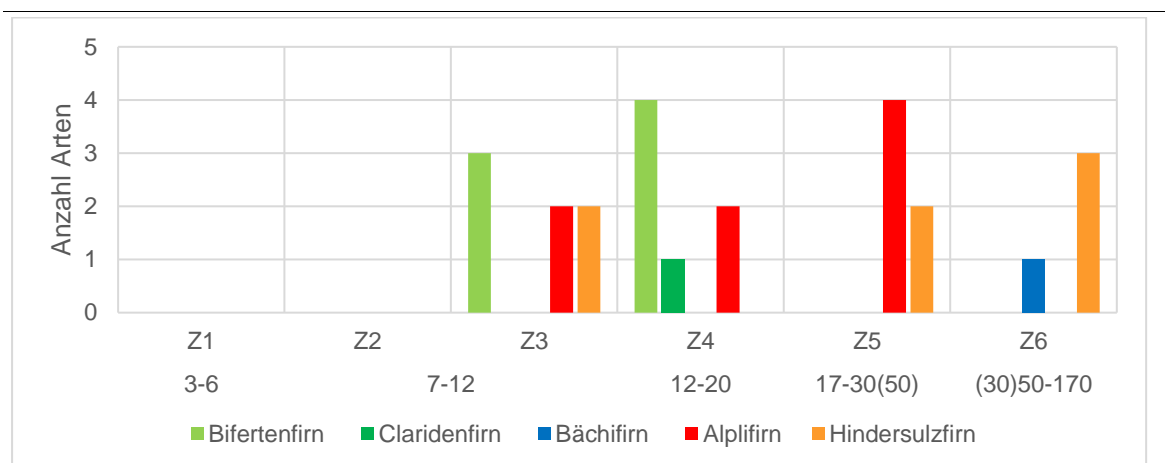


Abbildung 34: Artenzahl der Laufkäfer in den fünf Gletschervorfeldern in Abhängigkeit der Lage (Zone) und der eisfreien Zeit

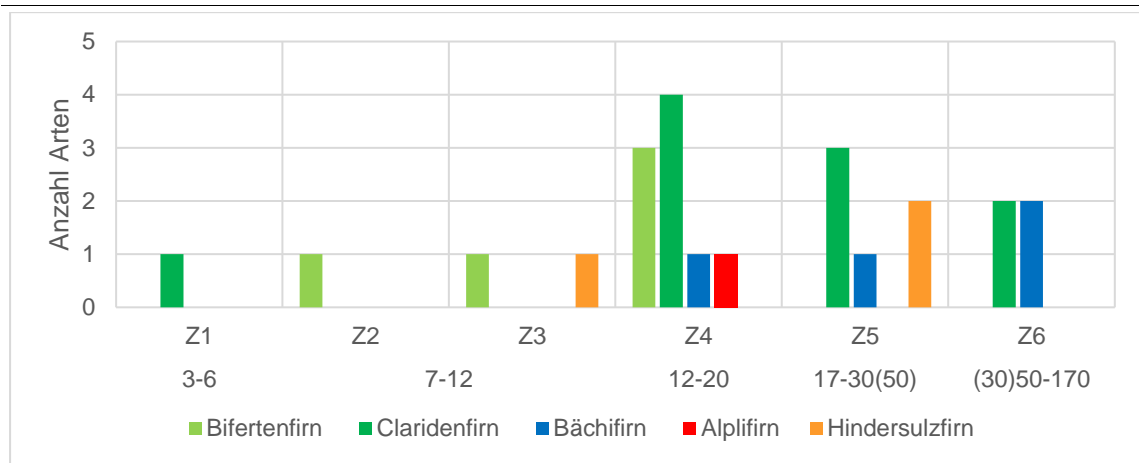


Abbildung 35: Artenzahl der Tagfalter in den fünf Gletschervorfeldern in Abhängigkeit der Lage (Zone) und der eisfreien Zeit

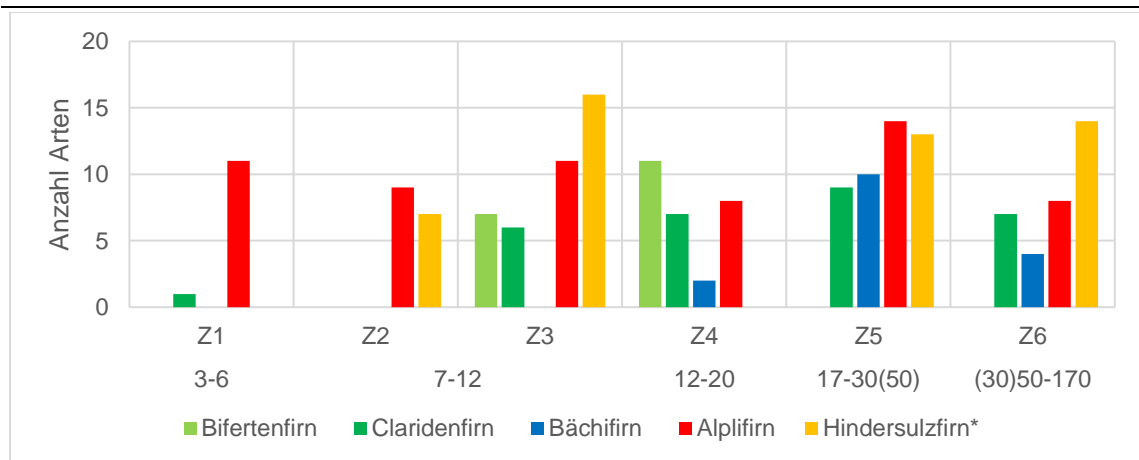


Abbildung 36: Artenzahl Fauna: Morphospecies (keine einheitliche systematische Zuordnung) ohne Laufkäfer und Tagfalter in den fünf Gletschervorfeldern in Abhängigkeit der Lage (Zone) und der eisfreien Zeit

5.3.1 Methodische Anmerkungen zur Fauna

- Eine gewisse Unschärfe ist gerade bei Fluginsekten zu berücksichtigen. Deren Aufenthaltsort richtet sich vielfach nach dem besten Blütenangebot, welches ab Zone 3 u. 4 wichtiger ist als die Eisfreiheit. Es kann daher nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass die Fundorte in jedem Fall mit dem Ort der Entwicklung übereinstimmen.
- 2021 sehr späte Erfassungszeit (September). Besser wäre (Juni)/Juli, 1-2 Wochen nach Aper werden der höchsten Stellen. 2022 bereits ein Anstieg der Artenzahlen wahrscheinlich aufgrund des früheren Erfassungstermins (August) feststellbar. Allerdings nicht bei den Tagfaltern, dort vermutlich im Juli am besten.
- Einmalige Begehung ev. zu wenig?
- Durch Experten wären bei einigen Artengruppen (Nachtfalter, Schwebfliegen, Fliegen) ev. weitere Artbestimmungen möglich. Der zusätzliche Erkenntnisgewinn dürfte aber überschaubar sein, da diese Gruppen zwar etwas individuenreicher waren, aber nach Meinung der Autoren nicht viele Arten aufweisen.

5.4. Pilze

- In den Gletschervorfelder des Alplifirn und des Hinteren Sulzifirn im Kanton Glarus wurden erstmals Pilze alpiner Primärsukzessionsstandorte in umfangreicher Weise untersucht.
- Mithilfe des „next generation sequencing“ (NGS), einer Methode, die das parallele Sequenzieren einer grossen Anzahl von DNA-Molekülen erlaubt, ist es gelungen, Pilze im Gletschervorfeld nachzuweisen. Die Artenanzahl in einer Bodenprobe des Gletschervorfeldes variierte zwischen 20 und 450. Es war kein klarer Trend in der Artenanzahl und Entfernung vom Gletschereis festzustellen.
- Selbst im kargen Boden direkt an der Gletscherzunge ist bereits eine hohe Diversität an Pilzarten nachzuweisen. Drastische Veränderungen in der Zusammensetzung der Pilzarten fallen mit dem Auftreten einer Vegetationsdecke und dem Aufbau von organischem Material im Boden zusammen.
- Nach dem Abschmelzen des Eisschildes wurden auf den kargen Böden im Gletschervorfeld spezifische gemeinschaftsartige Muster von Pilzarten festgestellt. Viele dieser Arten sind Ubiquisten, die überall vorkommen, sehr widerstandsfähig gegen Kälte und UV-Strahlung sind und neuen, kargen Boden rasch besiedeln können.
- Die Pilzgemeinschaften im Boden, die der Gletscherzunge am nächsten sind, sind einzigartig und ähneln eher den pilzlichen Gemeinschaften des Gletschereises als denen des Bodens. Dies deutet darauf hin, dass glaziale Umgebungen wichtige Reservoirs für die Pilzvielfalt sein könnten.
- Pilzgemeinschaften sehr junger Böden unterscheiden sich stark von den Pilzgemeinschaften späterer Sukzessionsstadien mit mehr oder weniger dichter Bodenvegetation. Hier finden wir Pilzarten, die für ihre Assoziationen mit Pflanzen bekannt sind, z.B. als Endophyten und Parasiten. *Ascomycota* (*Tetracladium*, *Plenodomus*) und *Mucoromycota* (*Mortierella*) kommen hier häufig vor. Das Vorkommen von symbiontischen Ekto-Mykorrhizapilzen (ECM) steht in engem Zusammenhang mit der Pflanzenbedeckung.
- In den Gletschervorfelder kommen auch seltene und geschützte Pilze vor. Zwei gefundene Pilztaxa sind auch auf der Roten Liste der gefährdeten Grosspilze aufgeführt. Es waren dies: *Pleurotus pulmonarius* (Cremeweisser Seitling) und *Tomentella subclavigera* (Keulenzystiden-Filzgewebe).
- Der Einsatz von molekularen Methoden, die heute routinemässig eingesetzt werden, ermöglicht eine artgenaue Identifizierung der Pilzpartner, und trägt somit wesentlich zum Verständnis der Funktion und der ökologischen Rolle von Pilzen in Gletschervorfelder bei.

6

Literaturvergleich

Es gibt eine Vielzahl an Studien, die vergleichbare Untersuchungen zur Primärsukzession auf Gletschervorfeldern in der Alpenregion durchgeführt haben. In den Schweizer Alpen gab es mehrere Untersuchungen am Morteratschgletscher sowie solche am Aletschgletscher, Griesgletscher, Hüfigletscher, Oberer Grindelwaldgletscher, Rhonegletscher und Roseggletscher. In Österreich wurden allein im Rotmoostal um die 10 Studien zum Thema Gletschervorfelder in den letzten 25 Jahren durchgeführt, sowie weitere Untersuchungen an anderen Gletschern der österreichischen und italienischen Alpen.

Bei der Primärsukzession auf Gletschervorfeldern durch Pflanzen zeichnet sich ein einheitliches Bild ab: In fast allen Arbeiten wurde eine Zunahme der Artenvielfalt und Bodenbedeckung in den ersten 50 Jahren Eisfreiheit festgestellt [14] bis [20]. Danach bleiben die Werte stabil und es gab wenige Änderungen in den Pflanzengemeinschaften. Die stetige Zunahme der Diversität in den ersten Jahren deckt sich mit unseren Resultaten.

Weiter wurde in den meisten Arbeiten ein offenes Pionierstadium beschrieben, dessen Pflanzen sich erst mit fortschreitender Distanz zum Gletscher und somit längerer Zeit von Eisfreiheit stärker zusammenschliessen [14]. Fischer [18] dokumentierte eine Bodenbedeckung von 0.35% in den ersten 2 Jahren Eisfreiheit und eine von 4.24% nach 7 Jahren. Nach 55 Jahren betrug sie bereits 42.8%. Becker & Dierschke [14] stellten eine Deckungsgrad von < 30% und Nagl & Erschbamer [17] von 10% in den ersten 25 eisfreien Jahren fest. Die einzelnen Werte variierten zwar je nach Standort, insgesamt zeichnete sich der Trend der zunehmenden Vegetationsbedeckung aber in all den genannten Studien ab.

Spätestens drei Jahren nach dem Eisfreiwerden stellten sich Gefäßpflanzen und Moose ein [16], [21] bis [23]. In der Tendenz bestätigen die vorliegenden Untersuchungen diese Aussage. Fischer [18] fanden nach 2 eisfreien Jahren bereits 13 verschiedene Gefäßpflanzen im Gletschervorfeld des Jamtalferners in Österreich. Die Erstbesiedler waren in der Regel Vertreter von Schuttgesellschaften [14], [17] und [20]. Bei den meisten Untersuchungen übereinstimmend war, dass die Pionierpflanzen *Saxifraga aizoides*, *Saxifraga oppositifolia*, *Cerastium uniflorum*, *Oxyria digyna* und *Linaria alpina* als erste vertreten waren [16], [17], [19], [24], [25] und [26]. *Saxifraga aizoides* (und weitere gemeinsame Arten) wurde in unseren Untersuchungen ebenfalls als Erstbesiedler gefunden.

Trotz der Übereinstimmung gewisser Pflanzenarten als Erstbesiedler unterschied sich dennoch die genaue Zusammensetzung der Pioniergesellschaft von Standort zu Standort. Gründe dafür sind, dass neben der Eisfreiheit und dem damit einhergehenden Fortschreiten der Bodenbildung weitere Faktoren eine Rolle spielen, beispielsweise das Substrat (Korngrösse, Bodenwassergehalt, Bodenbildungsprozesse), das Mikroklima (Windschutz, Dauer der Schneebedeckung usw.), die Geomorphologie des Standortes, die Verdichtung des Gesteinsschutts sowie das Vorhandensein von „safe sites“, welche die Samenkeimung gestatten [27]. Ausserdem ist die Pioniergesellschaft stark durch das Pflanzenvorkommen der benachbarten Hänge des Gletschervorfelds beeinflusst [28].

Bei der Besiedlung von Gletschervorfeldern durch Insekten ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den Pflanzen. Auch hier nahm die Artenzahl bzw. Biomasse mit der Dauer der Eisfreiheit kontinuierlich zu, erreichte nach ca. 50 Jahren ein Maximum und stabilisierte sich danach auf dem für alpine Rasen typischen Niveau [29], [30]. Auf den Gletschervorfeldern des Rotmoosgletschers in Österreich war in den ersten 4 eisfreien Jahren neben ein paar Milben und Laufkäferlarven beinahe keine Fauna vertreten [31]. Die Beobachtung deckt sich mit derjenigen von Kaufmann [29] und Schlegel & Riesen [32], welche nach den ersten paar eisfreien Jahren fast ausschliesslich räuberische Wirbellose fanden, z.B. *Pardosa nigra*, *Erigone tirolensis*, *Mitopus glacialis* und Käfer der Gattung *Nebria* (Laufkäfer). Erst nach 30 – 40 Jahren kamen Pflanzenfresser und Zersetzer dazu. Gemäss Schlegel [33] traten räuberische Insekten noch vor den ersten Pflanzen auf. Schlegel & Riesen [32] fanden insgesamt 33 Laufkäferarten in den Gletschervorfeldern des Morteratschgletschers. Dies sind deutlich mehr als die 8 Arten, die wir bei unseren Untersuchungen gefunden haben, jedoch wurden beim Morteratschgletscher einiges ältere Böden (bis 160 Jahre eisfreie Flächen) untersucht.

Die Bodenbildung und die Entwicklung der Vegetation werden von einigen Autoren als die wichtigsten Faktoren für die Fauna-Sukzession genannt [29], [30], [31] und [33]. Kleinräumig wirken sich jedoch auch die lokalen Umweltbedingungen, wie z.B. Sonneneinstrahlung, Licht, Temperatur, Schneebedeckung und Feuchtigkeit, auf das Vorkommen aus.

Insgesamt kamen die Untersuchungen zu vergleichbaren Ergebnissen wie den unsrigen. Es wurden ähnliche Arten als Erstbesiedler gefunden und es zeichneten sich ähnliche Trends bezüglich Artdiversität ab. In der vorhandenen Literatur wurde nicht speziell auf das Vorkommen von Arten der Roten Liste oder geschützten Arten eingegangen, sodass dies nicht verglichen werden kann.

7

Diskussion und Empfehlungen

7.1. Diskussion der Ergebnisse

Eine Einschätzung und damit direkte Relation zur Dauer der Eisfreiheit anhand von Luftbildern ist nicht immer ganz einfach (Schattenwurf, Schnee- und Schuttbedeckung). Im Rahmen des GLAMOS werden/wurden der Biferten-, Clariden und Hintersulzfirn genauer dokumentiert (vgl. Tabelle 6).

Die fünf untersuchten Gletschervorfelder unterscheiden sich in Bezug auf die untersuchten Parameter Gefässpflanzen, Moose und ausgewählte Tierarten(gruppen) nicht wesentlich. Alle untersuchten Gletschervorfelder liegen in von Kalkgesteinen geprägten Gebieten. Gemäss TypCH sind praktisch alle vorgefundenen Lebensräume - von den jungen bis zu den älteren bearbeiteten Zonen – den Alluvionen mit krautiger Pioniervegetation und unterschiedlichen Ausbildungen der Kalk-Schuttfluren zuzuordnen. Die genannten Lebensräume sind nach NHV alle schützenswert.

Ausgesprochene Spezialisten, die ausschliesslich in Gletschervorfeldern vorkommen, wurden keine festgestellt. Auch hinsichtlich seltener oder geschützter Arten wurden mit Ausnahme der Moose keine Vorkommen erfasst, die vorwiegend in Gletschervorfeldern vorkommen. Die gefundenen seltenen oder gefährdeten Gefässpflanzen kommen generell in Schuttgesellschaften vor.

Bei den Pilzen sieht die Situation etwas anders aus. Die Pilzgemeinschaften im Boden, die der Gletscherzunge am nächsten sind, sind einzigartig und ähneln eher den pilzlichen Gemeinschaften des Gletschereises als denen des Bodens. Dies deutet darauf hin, dass glaziale Umgebungen wichtige Reservoirs für die Pilzvielfalt sein könnten. Pilzgemeinschaften sehr junger Böden unterscheiden sich stark von den Pilzgemeinschaften späterer Sukzessionsstadien.

Die kargen Vorfelder sind bezüglich der Pilzflora auf jeden Fall besonders. Sobald dichtere Vegetation vorherrscht verschwinden viele dieser Ueberlebenskünstler wieder. Eine Einschätzung bezüglich deren Schutzwürdigkeit ist nicht abschliessend möglich, da nur wenige gefundene Pilze auf der Roten Liste stehen. Zwei Aspekte sind in diesem Zusammenhang wichtig: ca. 25% der Pilze sind nicht bekannt, können taxonomisch nicht eingeordnet werden. Unbekannt kann heissen, dass diese Pilze neue Arten sein können und / oder ökologisch interessant sind. Die Pilzflora in den jüngsten Böden sind noch wenig erforscht. Ein anderer Aspekt ist, dass mit der Gletscherschmelze /

Klimaerwärmung die mikrobielle Biodiversität in den jungen Böden zunimmt (z.B. Auskeimung von Sporen, die Tausende von Jahren im Eis eingeschlossen waren).

Die Zusammensetzung der Arten ist speziell. Sie findet sich sonst nur in sehr kargen und kalten Lebensräumen (arktische Wüsten). Es gibt Pilze, die mittels Ausscheidung von organischen Säuren Steine auflösen können und damit Mineralien/Nährstoffe aus dem Gestein lösen. Viele Pilze sind kältetolerant, viele haben Pigmente als UV-Schutz, viele können altes organisches Material aus dem Eis als Kohlenstoffquelle abbauen oder gehen Symbiosen mit Bakterien, Cyanobakterien, Algen und Moosen ein. Es gibt solche, die Moose parasitieren um an Kohlenstoffquellen zu gelangen. Zusammenfassend - wir haben in den jüngsten Böden eine unbekannte, einzigartige, faszinierende Pilzflora.

7.2. Empfehlungen

Aus naturschützerischer, ökologischer Sicht sind für eine fundierte Einschätzung von Gletschervorfeldern aufgrund der gemachten Untersuchungen folgende (biologischen) Parameter zu erheben:

Parameter	
Lebensraumtyp	Laufkäfer
Gefässpflanzen	Tagfalter
Moose	Spinnen
Pilze (DNA-Analyse)	Wildbienen

Bei der Fauna wird man sich aus praktischen Gründen auf Sichtbeobachtungen und Fänge bei den Begehungen beschränken müssen. Das Ausbringen von (Boden-)Fallen erscheint aus logistischer Sicht nicht praktikabel.

Erhebungen haben von ca. anfang/Mitte Juli bis Mitte August – je nach Entwicklung der Vegetation – zu erfolgen.

Zur Dokumentation sind Drohenaufnahmen zu empfehlen.

Wir weisen jedoch ausdrücklich darauf hin, dass für eine Einordnung neu entstehender bzw. entstandener Gletschervorfelder in einen regionalen oder gesamtschweizerischen Kontext das methodische Vorgehen, wie es im Rahmen des IGLES [14] entwickelt und etabliert wurde, angemessen und zweckmässig ist. Die Besonderheiten der neuen Gletschervorfelder liegen weniger in ihrer biologischen Vielfalt und Einzigartigkeit, sondern in der landschaftlichen Erscheinung und Einbettung.

Die Besonderheiten neuer Gletschervorfelder liegen weniger in ihrer biologischen Vielfalt, sondern in ihrer landschaftlichen Erscheinung und Einbettung.

Die gesetzlichen Bestimmungen zur Erhaltung besonderer oder schützenswerten Landschaften sind weniger ausgereift als dies bei den Naturschutzthemen (Flora, Fauna, Lebensräumen) der Fall ist. Damit eine Landschaft schützenswert ist, muss sie in einem nationalen oder regionalen Inventar aufgeführt sein. Auf nationaler Ebene sind die BLN-Objekte, Moorlandschaften und Auen. In letzterem sind die Gletschervorfelder als alpine Auen aufgeführt.

8

Literaturverzeichnis

8.1. Gesetzliche Grundlagen

Bund

- [1] Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) vom 1. Juli 1966 (SR 451)
- [2] Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) vom 16. Januar 1991 (SR 451.1)

Kanton

- [3] Kanton Glarus: Gesetz über den Natur- und Heimatschutz, GS IV G/1/1 - Vom 02.05.1971, in Kraft seit: 01.01.1972
- [4] Kanton Glarus: Verordnung über den Arten- und Biotopschutz, GS IV G/3/1 - Vom 28.04.1997, in Kraft seit: 01.07.1997

8.2. Literatur

- [5] Quadra GmbH, 2022: Untersuchung neuentstandener Gletschervorfelder im Kanton Glarus. Voruntersuchung 2021. Im Auftrag Departement Bau und Umwelt, Umweltschutz und Energie, Glarus (unveröff.)
- [6] GLAMOS, o.J.: Schweizerische Gletschermessnetz. www.glamos.ch
GLAMOS 1880-2021, The Swiss Glaciers 1880-2020/21, Glaciological Reports No 1-142, Yearbooks of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT), published since 1964 by VAW / ETH Zurich, doi:10.18752/glrep_series.
- [7] Delarze, R.; Gonseth, Y.; Eggenberg, S., Vust, M.; 2015: Lebensräume der Schweiz. Ökologie, Gefährdung und Kennarten. 3. Auflage, hep verlag ag, Bern.
- [8] BAFU 2019: Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1709: 99 S
- [9] Pantke R., 2007: Pflanzengesellschaften der Schweiz. Datensammlung von 2008. WSL (wird im Programm VEGEDAZ als Referenzlebensraum verwendet)

- [10] Bornand C., Gygax A., Juillerat P., Jutzi M., Möhl A., Rometsch S., Sager L., Santiago H., Eggenberg S.; 2016: Rote Liste Gefäßpflanzen. Gefährdete Arten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern und Info Flora, Genf. Umwelt-Vollzug Nr. 1621. 178 S.
- [11] Kiebacher, T., Meier, M., Steffen, J., Bergamini, A., Schnyder, N., Hofmann H., (in prep). Rote Liste der Moose. Bundesamt für Umwelt BAFU Bern & Swissbryophytes Zürich.
- [12] Delarze R., Eggenberg S., Steiger P., Bergamini A., Fivaz F., Gonseth Y., Guntern J., Hofer G., Sager L., Stucki P.; 2016: Rote Liste der Lebensräume der Schweiz. Aktualisierte Kurzfassung zum technischen Bericht 2013 im Auftrag des BAFU, Bern. 33 S.
- [13] www.swissbryophytes.ch
- [14] Gerber B., Gsteiger P., Leibundgut M., Righetti A., 1998: Gletschervorfelder und alpine Schwemmebenen als Auengebiete. Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 305. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. Inventar der Gletschervorfelder und alpinen Schwemmebenen der Schweiz (IGLES)
- [15] Becker, T., & Dierschke, H., 2005: Primärsukzession im Gletschervorfeld des Obersulzbachkees (Hohe Tauern, Österreich), eine Zeitreihe über fast 150 Jahre. *Tuexenia*. 111-139.
- [16] Burga, C. A., Krüsi, B., Egli, M., Wernli, M., Elsener, S., Ziefle, M., Fischer, T. & Mavris, C. (2010). Plant succession and soil development on the foreland of the Morteratsch glacier (Pontresina, Switzerland): Straight forward or chaotic? *Flora* 205. 561-576. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.10.001>.
- [17] Nagl, F., Erschbamer, B., 2010: Kapitel 6 | Pflanzliche Sukzession im Gletschervorfeld, Vegetation und Besiedlungsstrategien. In: Koch, E.-M. & Erschbamer, B. (Hrsg.). *Glaziale und periglaziale Lebensräume im Raum Oberrurgl*. 121 – 143. https://doi.org/10.26530/OAPEN_459081
- [18] Fischer, A., Fickert, T., Schwaizer, G., Patzelt, G. & Groß, G., 2019: Vegetation dynamics in Alpine glacier forelands tackled from space. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50273-2>
- [19] Danler, A., 2016: Besiedlungsmuster dreier Gletschervorfelder in den Ötztaler Alpen. Masterarbeit. Leopold-Franzen-Universität Innsbruck. Institut für Botanik
- [20] Erschbamer, B. & Burga, C. A., 2020: Pflanzen besiedeln neue Lebensräume: Primärsukzession auf Gletschervorfeldern. In: Lozán J. L., Breckle, S.W., Graßl, H. et al. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Hochgebirge im Wandel*. 252-256. <https://doi.org/10.25592/uhhfdm.9253>

- [21] Burga, C. A., 1999a: Vegetation development on the glacier forefield Morteratsch (Switzerland). *Applied Vegetation Science* 2. 17-24
- [22] Caccianiga, M., Luzzaro, A., Pierce, S. Ceriani, R. M. & Cerabolini, B., 2006 : The functional basis of a primary succession resolved by CSR classification. *Oikos* 112. 10-20.
- [23] Raffl, C., Mallaun, M., Mayer, R., & Erschbamer, B., 2006: Vegetation Succession Pattern and Diversity Changes in a Glacier Valley, Central Alps, Austria.
- [24] Lüdi, W., 1958: Beobachtungen über die Besiedlung von Gletschervorfeldern in den Schweizeralpen. *Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung* 146. 386-407.
[https://doi.org/10.1016/S0367-1615\(17\)32526-0](https://doi.org/10.1016/S0367-1615(17)32526-0).
- [25] Caccianiga, M. & Andreis, C., 2004: Pioneer herbaceous vegetation on glacier forelands in the Italian Alps. *Phytocoenologia* 34. 55 -89. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2004/0034-0055>
- [26] Heinze, A.-M., 2019: Primärsukzession nach Gletscherrückzug – Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen auf den Gletschervorfeldern von Horn- und Waxeggkees am Zillertaler Hauptkamm für Wissenschaft und Umweltbildung. Masterarbeit. Technische Universität München.
- [27] Burga, C. A. 1999b: Vegetationsdynamik in Gletschervorfeldern der Schweizer Zentralalpen am Beispiel von Morteratsch (Pontresina, Graubünden, Schweiz). 267-277.
- [28] Raffl, C. & Erschbamer, B., 2004 : Comparative vegetation analyses of two transects crossing a characteristic glacier valley in the Central Alps. *Phytocoenologia* 34. 225–240.
<http://dx.doi.org/10.1127/0340-269X/2004/0034-0225>
- [29] Kaufmann, R., 2001: Invertebrate Succession on an Alpine Glacier Foreland. *Ecology* 82. 10.2307/2680230.
[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[2261:ISOAAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[2261:ISOAAG]2.0.CO;2)
- [30] Koch, E.-M. & Kaufmann, R., 2019: Kapitel 7 | Die tierische Besiedlung von Gletschermoränen. In: Koch, E.-M. & Erschbamer, B. (Hrsg.). *Glaziale und periglaziale Lebensräume im Raum Ob- und Nördlichgurgl*. 165 – 183. https://doi.org/10.26530/OAPEN_459081
- [31] Kaufmann, R., Fuchs, M., Gosterxeier, N., 2002: The soil fauna of an Alpine glacier foreland: colonization and succession. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 34. 242–250.
<https://doi.org/10.2307/1552481>
- [32] Schlegel, J., Riesen, M., 2012: Environmental gradients and succession patterns of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in

an Alpine glacier retreat zone. *J Insect Conserv* 16. 657–675.
<https://doi.org/10.1007/s10841-011-9448-x>

- [33] Schlegel, J., 2009: Besiedlungsdynamik in Primärsukzessionsflächen: Wirbellosen-Fauna im Gletschervorfeld Morteratsch. *Unr.projekte*. 24–25. <https://doi.org/10.21256/zhaw-3757>

9

Anhang

9.1. Tabellen

Tabelle 1: Vegetationstabelle Vorstudie Gletschervorfelder Glarus 2022

Tabelle 2: Mooserhebungen Vorstudie Gletschervorfelder Glarus 2022

Tabelle 3: Faunaerhebungen Vorstudie Gletschervorfelder Glarus
2021 u. 2022

9.2. Untersuchung neuentstandener Gletschervorfelder im Kanton Glarus Bericht der WSL

9.3. Fotos und Drohnenaufnahmen des Alpli- und Hintersulzfirm (digital)