



Ökologie im Gebirgswald

Wie viel Licht braucht die (Ko-)Existenz?

Bachelorarbeit

von

Nicole Eggenberger

Bachelorstudiengang Umweltingenieurwesen 2018

Abgabedatum: 13.02.2022

Betreuung

Dr. Kirsten Edelkraut

Dr. Petia Nikolova

Dr. Peter Brang

Korrektorin

Dr. Kirsten Edelkraut

Impressum

Institut

IUNR Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen
Forschungsgruppen Vegetationsökologie/Umweltplanung
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
LSFM Dep. Life Sciences und Facility Management
Grüental / Postfach
8820 Wädenswil
Schweiz

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf

Keywords

Gebirgswald, Vegetationsaufnahmen, Waldbodenvegetation, Artenvielfalt, Direct Site Factor, Indirect Site Factor, Openness, Solariscope

Zitiervorschlag

Eggenberger, N. (2022). *Ökologie im Gebirgswald – wie viel Licht braucht die (Ko-)Existenz?*
Bachelorarbeit. Wädenswil/Birmensdorf: Zürcher Hochschule für Angewandte
Wissenschaften/Eidgenössische Forschungsanstalt WSL

Titelbild

Marcheggwald in Lauterbrunnen, Bern. Eigene Aufnahme.

Danksagung

Im Verlauf der Bachelorarbeit wurde ich von allen projektbeteiligten Personen sowie dem erweiterten Umfeld vollumfänglich unterstützt. Für eine gesamthafte Betreuung danke ich Kirsten Edelkraut von der ZHAW Wädenswil sowie Petia Nikolova und Peter Brang von der WSL Birmensdorf. Dem Feldteam mit Hannah Hochsattel, Reto Pfund, Heidi Mathys, Patrick McClatchy, Philipp Rüegg, Patricia Kälin und Thomas Schranz danke ich herzlich für die Planung und Begleitung im Feld. Für die Unterstützung und Hilfe bei den Feldaufnahmen danke ich Jan Rodel.

Zusammenfassung

Gebirgswälder sind ein komplexes Ökosystem mit einer Vielzahl von Funktionen. Nicht zuletzt bieten sie Schutz vor Naturgefahren, weshalb der Erhalt und die natürliche Verjüngung der Gebirgswälder von zentraler Bedeutung sind. Das langfristige Projekt «Gebirgswaldverjüngung» der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) soll dazu fachliche Grundlagen schaffen, um die gefährdete Naturverjüngung im Gebirgswald mit waldbaulichen Massnahmen fördern zu können. Neben weiteren Faktoren kann sich die Bodenvegetation hemmend auf die Verjüngung auswirken und damit die Schutzfunktion des Waldes gefährden. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden die Zusammenhänge zwischen Lichtparametern, Bodensäuregrad, Humusform, Mikrorelief und der Bodenvegetation untersucht, um die waldbaulichen Massnahmen in Zukunft verjüngungsfördernd zu gestalten. Dafür wurden auf zwei Versuchsflächen im Gebirgswald in Sagogn GR und Lauterbrunnen BE Lichtmessungen, Bodenproben und Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Für detaillierte Informationen über die Bodenbedeckung wurden flächige Artenlisten mit Angaben zur Deckung jeder Art sowie punktuelle Vegetationsaufnahmen mit Höhenmessungen erhoben. Die Resultate zeigten, dass auf den untersuchten Flächen vor allem die diffuse Strahlung sowie die Öffnung im Baumkronendach relevant für das Wachstum der Bodenvegetation waren. So nahm die Artanzahl, der Bedeckungsgrad wie auch die Diversität in verschiedenen Höhengschichten bei mehr diffuser Strahlung bzw. bei grösseren Kronenlücken zu. Auswirkungen durch die Bodensäure, Humusform oder Mikrorelief konnten nicht gefunden werden. Die verjüngungshemmenden Vegetationsgruppen nahmen in beiden Versuchsflächen nur einen kleinen Anteil der Gesamtfläche ein, womit keine klare Konkurrenz durch diese Gruppen besteht. Allerdings kann aus den Ergebnissen der Deckungsgrade vermutet werden, dass die Gesamtdeckung der Versuchsflächen einen Einfluss auf die Verjüngungsentwicklung ausübt.

Abstract

Mountain forests are a complex ecosystem with a multitude of functions. One of their functions is to provide protection against natural hazards, which is why the preservation and natural regeneration of mountain forests are of central importance. The long-term project "Mountain Forest Regeneration" of the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL) is intended to provide a technical basis for this, enabling the endangered natural regeneration in mountain forests to be improved by silvicultural measures. In addition to other factors, ground vegetation can have an inhibiting effect on regeneration and thus endanger the protective function of the forest. In this bachelor thesis, the relationships between light parameters, soil acidity, humus form, micro relief and ground vegetation were investigated in order to optimize silvicultural measures to promote regeneration in the future. For this purpose, light measurements, soil samples and vegetation surveys were carried out on two experimental plots in the mountain forest in Sagogn GR and Lauterbrunnen BE. For detailed information on ground cover, areal species lists with information on the cover of each species as well as punctual vegetation surveys with height measurements were collected. The results showed that on the studied plots mainly diffuse radiation as well as the canopy openness were relevant for the growth of ground vegetation. The number of species, the degree of cover as well as the diversity in different height layers increased with more diffuse radiation or with larger canopy gaps. Effects due to soil acidity, humus form or micro-relief could not be found. The regeneration-inhibiting vegetation groups occupied only a small proportion of the total area in both experimental plots, indicating no clear competition from these groups. However, it can be assumed from the coverage results that the overall coverage of the experimental plots has an effect on regeneration development.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	7
2 Untersuchungsgebiete	9
2.1 Sagogn.....	9
2.1.1 Geographische Lage, Geologie & Pedologie	9
2.1.2 Klima.....	10
2.1.3 Bestandesgeschichte	10
2.2 Lauterbrunnen	11
2.2.1 Geographische Lage, Geologie & Pedologie	11
2.2.2 Klima.....	11
2.2.3 Bestandesgeschichte	12
3 Methoden	13
3.1 Versuchsdesign	13
3.2 Feldaufnahmen	15
3.2.1 Lichtmessungen.....	16
3.2.2 Bodenproben.....	17
3.2.3 Vegetationsaufnahmen	18
3.3 Auswertungen und Laborarbeiten.....	19
3.3.1 Solariskop-Daten	20
3.3.2 Bodendaten	20
3.3.3 Vegetationsdaten	22
4 Resultate	24
4.1 Zustandsbeschreibung der Lichtverhältnisse	24
4.1.1 Sagogn	24
4.1.2 Lauterbrunnen.....	27
4.2 Zustandsbeschreibung des Boden-pH.....	31
4.2.1 Sagogn	31
4.2.2 Lauterbrunnen.....	31
4.3 Zustandsbeschreibung der Vegetation.....	32
4.3.1 Sagogn	32
4.3.2 Lauterbrunnen.....	33
4.4 Beziehung zwischen Lichtfaktoren und der Bodenvegetation	35
4.4.1 Sagogn	35
4.4.2 Lauterbrunnen.....	40
4.5 Beziehung zwischen Artanzahl und Vegetationshöhe	46
4.5.1 Sagogn	46

4.5.2 Lauterbrunnen.....	47
4.6 Beziehung zwischen Boden-pH und der Bodenvegetation.....	50
4.6.1 Sagogn	50
4.6.2 Lauterbrunnen.....	53
4.7 Beziehung zwischen der Humusform und der Bodenvegetation	56
4.8 Beziehung zwischen Mikrorelief und der Bodenvegetation	57
4.9 Zustandsbeschreibung der Vegetationskombinationen	59
4.9.1 Sagogn	59
4.9.2 Lauterbrunnen.....	62
5 Diskussion	65
5.1 Artenzusammensetzung.....	65
5.2 Auswirkungen der Lichtfaktoren auf die Vegetation	66
5.3 Beziehung zwischen Bodenvegetation und kleinstandortlichen Parametern	68
5.4 Bedeutung für die Naturverjüngung	70
6 Schlussfolgerung	71
7 Literaturverzeichnis	72
Abbildungsverzeichnis	78
Tabellenverzeichnis	81
Anhang.....	82

1 Einleitung

Als komplexes Ökosystem stellt der Wald nicht nur ein wichtiges Kultur- und Naturgut, sondern auch einen unentbehrlichen Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten dar. Damit übt der Wald gleichzeitig eine Vielzahl von – auch für den Menschen relevanten – Funktionen aus (Bebi 1999). Rund ein Drittel der Berggebiete in der Schweiz sind mit Wald bedeckt (Ulber 2002), womit der Gebirgswald zu einem wichtigen Faktor des Alpenraumes wird. Dabei dient der Gebirgswald nicht nur als Quelle von Holz, Futter für Nutztiere, sondern er verhindert auch Erosion, reguliert das Klima, beeinflusst die Hydrologie ganzer Bergregionen, speichert CO₂ und bietet Schutz vor Lawinen (Gratzer 2020). Besonders seine Wirkung als Schutz vor Naturgefahren wie Lawinen, Steinschlag, Murgänge, Hochwasser oder Rutschungen gibt dem Gebirgswald eine besondere Bedeutung. Im Hinblick auf den Klimawandel und die damit steigenden Frequenzen sowie Intensitäten der Naturgefahren wird diese Schutzfunktion als immer wichtiger eingestuft, so dass eine kontinuierliche Schutzwirkung mit gleichzeitig minimalen Risiken gefragt ist (Bebi 1999; Glanzmann, Schwitter, und Zürcher 2019). Doch der Klimawandel nimmt nicht nur Einfluss auf die Naturgefahren, sondern führt auch zu einer Verschiebung von klimatischen Umweltfaktoren. Damit können sich lokale Standortbedingungen ändern, welche wiederum einen Einfluss auf waldentwicklungsrelevante Parameter wie Verjüngung, Wachstum und Mortalität haben (Metz 2019). Auch Faktoren wie Wildverbiss, Schäden durch Waldweide und Konkurrenzvegetation können die natürliche Verjüngungsdynamik weiter stören.

Das langfristige Projekt «Gebirgswaldverjüngung» der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) soll fachliche Grundlagen schaffen, um die gefährdete Naturverjüngung im Gebirgswald mit waldbaulichen Massnahmen fördern zu können (Brang et al. 2020). Auf insgesamt zehn Versuchsflächen in den Schweizer Alpen werden dabei die Entwicklung der Bestände sowie der Verjüngung über eine Zeitspanne von 30 Jahren beobachtet. Damit sollen die Auswirkungen der Verjüngungsdichte auf die bedeutsame Schutzwirkung gegen Naturgefahren besser abschätzbar werden.

Im Hinblick auf den Verjüngungserfolg nimmt neben dem Wildverbiss auch die Konkurrenzvegetation einen Einfluss (Diaci 1995; Hamm et al. 2014; Ott et al. 1997; Schmidt und Streit 2009). So konkurriert eine ausgedehnte Bodenbedeckung mit dem Wachstum junger Bäume im Gebirgswald (Diaci 1995; Schütz 2004), was über einen längeren Zeitraum betrachtet auch Auswirkungen auf stabile Schutzwälder hat. Als besonders verjüngungshemmend gelten neben Farnen und Brombeerteppichen auch flächendeckende Grasarten (Brang et al. 2017; Kalt 2019; Reeg und Kaufmann 2008). Doch die Krautschicht kann anhand ihrer Artzusammensetzungen auch wichtige Informationen über den Zustand des Waldes liefern. So spielt die Bodenvegetation einerseits als Konkurrenz der Naturverjüngung und andererseits als Zeiger für die Standorteigenschaften eines Waldbestandes ein zentrales Thema (Mosandl 1991).

Dass die Art und Menge des verfügbaren Lichts für das Pflanzenwachstum eine bedeutende Rolle spielt, ist bereits gut erforscht und bekannt (Diaci 1995; Schmidt und Streit 2009; Wild 1979). So scheint mit einem zunehmendem Lichtangebot auch die Diversität der Krautschicht in Wäldern zu steigen (Schmidt und Streit 2009). Dieses Lichtangebot lässt sich allerdings weiter aufteilen in verschiedene Lichtparameter wie direkte und diffuse Strahlung, wobei auch die Faktoren der offenen Kronenlücken im Waldbestand eine Rolle spielen. Waldbaulich besteht folglich das Ziel, mittels gesteuerter Lichtzugabe das Wachstum von Konkurrenzvegetation zu beeinflussen. Dabei besteht noch Wissensbedarf, wie sich die Lichtzusammensetzung bzw. die Art der Strahlung im Gebirgswald auf gewisse Faktoren der Bodenvegetation auswirkt.

Als Bestandteil des Projekts der Gebirgswaldverjüngung sind die Untersuchungsgegenstände der vorliegenden Bachelorarbeit die Bodenvegetation im Gebirgswald und ebendiese verschiedenen Parameter des Lichtangebots. Im Detail konzentrieren sich die Untersuchungen auf vorkommende Pflanzenarten einschliesslich dem Bedeckungsgrad und der Vegetationshöhe, unterschiedliche Lichtparameter und Bodenfaktoren im Gebirgswald. Ebenso werden die Wechselwirkungen der Bodenvegetation mit den restlichen Kernbereichen in den Fokus genommen. Um über diese Bestandteile ein besseres Verständnis zu erlangen, wurden im Rahmen der Arbeit folgende Fragestellungen behandelt:

In welchem Zustand befindet sich die Bodenvegetation auf den Standorten im Gebirgswald aktuell?

Den weiteren Fragestellungen dieser Arbeit vorangestellt soll eine Zustandserfassung erfolgen, wobei die aktuelle Vegetation aufgenommen wird. Dabei wird primär die Bandbreite der Vegetationszusammensetzung anhand einer Gesamtartenliste beschrieben.

Wie wird die Bodenvegetation im Gebirgswald von verschiedenen Lichtparametern beeinflusst?

In Abhängigkeit verschiedener Lichtparameter in den Waldflächen soll untersucht werden, bei welchem Licht sich welche Bodenvegetation entwickelt. Dabei ist speziell auch das Verhältnis von Artenanzahlen und die Vegetationshöhe bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen zu untersuchen. So soll beispielsweise untersucht werden, ob eine grössere Menge an diffuser Strahlung die Diversität verringert und dabei mehr Dominanz einzelner Arten auftritt. Dazu gehören auch folgende Unterthemen:

- Wie variiert die Artenanzahl der Bodenvegetation mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen?
- Welchen Einfluss haben die Lichtfaktoren auf die Bedeckungsgrade?

Wie variiert die Bodenvegetation mit unterschiedlichen Boden-pH Werten?

Neben dem Einfluss der Lichtparameter kann auch der Säuregrad des Waldbodens eine Auswirkung auf die Bodenvegetation haben oder sogar der einflussreichere Treiber der Vegetationsentwicklung sein. Es wird vermutet, dass bei saurem Boden eine weniger üppige Bodenvegetation auftritt und sich Spezialisten einstellen.

Welchen Einfluss haben kleinstandortliche Parameter der Bodenoberfläche auf die Bodenvegetation?

Mikroklimatische Standortfaktoren können für die Bodenvegetation mittels unterschiedlicher Ausprägung der Bodenoberfläche veränderte Bedingungen darstellen (Chudomelová, Zelený, und Li 2017; Kinzel 1983; Moora et al. 2007). Aus diesem Grund wird hier vermutet, dass auch die Bedingungen des Mikrostandorts für die Bodenvegetation von Bedeutung sind.

2 Untersuchungsgebiete

Die zwei hier untersuchten Versuchsflächen sind Teil des Projekts «Gebirgswaldverjüngung», welches total zehn Versuchsflächen in der Schweiz in ihrer demografischen Entwicklung der Naturverjüngung langfristig untersucht (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, und Brang 2021).

Dabei wurde die Auswahl der beiden Versuchsflächen aufgrund folgender Kriterien vorgenommen:

- Der Standortstyp gemäss NaiS-LFi (Frehner und Dionea 2020) sowie die Standortsregion sollten sich unterscheiden. Damit soll ein breiteres Spektrum abgedeckt werden.
- Die Verjüngungsinventur im Rahmen der Gebirgswaldverjüngung sollte darauf bereits abgeschlossen bzw. in Bearbeitung sein. Grund dafür ist das notwendige Einrichten der Fläche, Einmessen und Situieren der Probeflächenzentren sowie Markieren der Kreisringe.

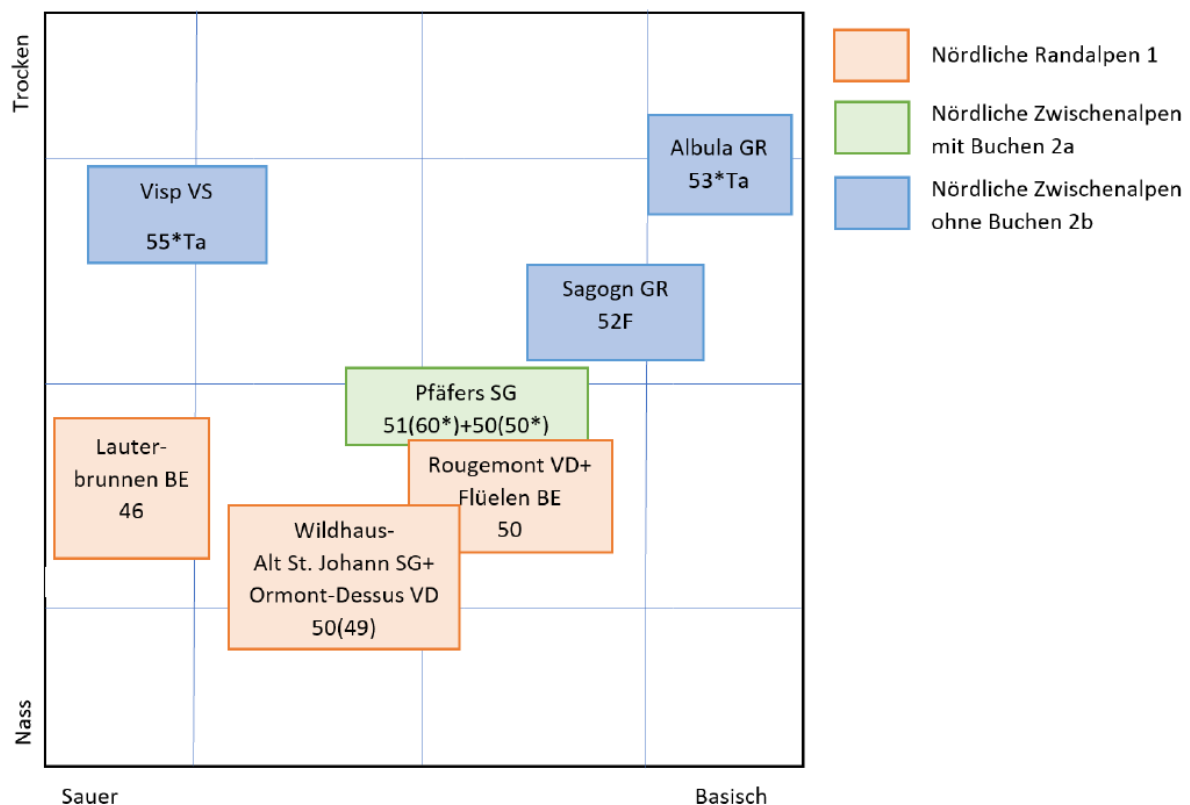


Abb. 1: Lage der Versuchsflächen des Projekts Gebirgswaldverjüngung im Ökogramm der hochmontanen Stufe. Die Standortsregion ist durch die Farben gekennzeichnet, der Standortstyp nach NaiS-LFI (Frehner and Dionea 2020) durch die Zahlen. Nach (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021)

Die Erstauswahl fiel somit auf die Flächen Lauterbrunnen BE, Sagogn GR und Wildhaus-Alt St. Johann SG. Aufgrund schlechter Wetterverhältnisse musste allerdings die Aufnahme der letzten Fläche weggelassen werden. Die Untersuchungen beschränken sich deshalb auf die Flächen Lauterbrunnen BE und Sagogn GR.

2.1 Sagogn

2.1.1 Geographische Lage, Geologie & Pedologie

Die Flächen des Gebirgswaldversuches von Sagogn (Abb. 2) befinden sich im Waldgebiet «Uaul la Schetga» zwischen Laax und Ilanz im Kanton Graubünden der Schweiz (3) und weisen eine Grösse von 1.5 ha auf. Mit 830-890 m ü. M. (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021)

liegt das Untersuchungsgebiet in der hochmontanen/untermontanen Stufe der Zwischenalpen (Frehner, Wasser, und Schwitter 2005).



Abb. 2. Waldabschnitt auf der Versuchsfläche in Sagogn GR. Eigene Aufnahme.

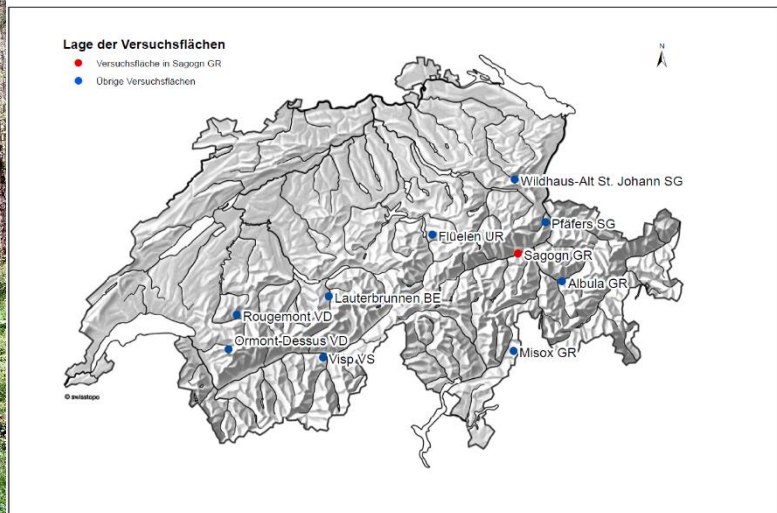


Abb. 3: Lage der Versuchsfläche Sagogn GR (rot) sowie der restlichen Standorte im Projekt Gebirgswaldverjüngung (blau). Nach (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021)

Die nordöstlich exponierte Versuchsfläche hat eine mittlere Hangneigung von 40% und liegt auf einem Kegel mit flachen Rücken und Mulden, welcher vor rund 10'000 Jahren durch den Flimser Bergsturz entstanden ist. Das Gebiet liegt vorwiegend auf Kalkbrekzien aus dem Mesozoikum, welche teilweise auch von sandiger Beschaffenheit sein können. Darauf entwickelte sich mit der Zeit ein Humuskarbonatboden (Fraticeili et al. 2021a). Dabei durchziehen jedoch auch mergelige Schieferschichten das Gebiet und sorgen für eine Durchmischung. Auf diesem mergeligen Schiefer entwickelte sich der Boden mit hohem Ton- sowie Kalkgehalt zu Rendzinen und braunerdigen Bodentypen mit anmoriger Humusauflage (Fraticeili et al. 2021a).

2.1.2 Klima

Aufgrund der verhältnismässig tiefen Lage ist Sagogn am wärmeren Teil des Klimagradienten aller in Abbildung 3 ersichtlichen Versuchsflächen. Die klimatischen Bedingungen reichen von ozeanisch bis kontinental, wobei die täglichen sowie jahreszeitlichen Temperaturschwankungen gross werden können (Frehner et al. 2005). Gekoppelt mit der Geländeform und der Exposition wird dadurch das Lokalklima stark beeinflusst und es können relief- und expositionsabhängige Mikrohabitate entstehen, was wiederum kleinräumig eine Vielfalt von Vegetationstypen begünstigen kann. Mit einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge von 959 mm (1991-2021) herrschen eher milde und trockene Bedingungen, wobei die Luftfeuchtigkeit durchaus hoch sein kann (Meteo Schweiz 2021). So fallen die Hauptniederschläge im Sommer, während der Winter und der Frühling vergleichsweise niederschlagsarm sind. Ebenfalls ist der Wind in Form von Föhn und Westwind ein wichtiger Faktor, indem er wesentlich zur Austrocknung des Bodens beiträgt (Fraticeili et al. 2021a).

2.1.3 Bestandesgeschichte

Das Waldgebiet «Uaul la Schetga» befindet sich im heutigen Forstrevier Laax/Sagogn. Dokumente des Amtes für Wald und Naturgefahren belegen, dass sich die Baumartenzusammensetzung seit Dokumentationsanfang in 1920 wenig veränderte und sich somit vorwiegend Dauergesellschaften

verschiedener Fichtenwald-Typen durchgesetzt haben (Fratlicelli et al. 2021a). Dabei kommen auch Föhren und Tannenbestände vor. Zudem nahmen die Stammzahl sowie der Vorrat ab. Bis im Jahr 1930 schien die Beweidung durch Ziegen und Schafe relevant, ab 1953 wird starker Wildverbiss im Gebiet erwähnt. Die Bewirtschaftung erfolgte hauptsächlich plenterartig. Aufgrund von Schneedruck, Käferbefall und Windwürfen mussten seit ca. 1980 grossräumige Zwangsnutzungen durchgeführt werden (Fratlicelli et al. 2021a). Der letzte Eingriff fand im Jahr 2015 statt.

2.2 Lauterbrunnen

2.2.1 Geographische Lage, Geologie & Pedologie

Unmittelbar neben der touristisch interessanten Grütschalp, welche oberhalb von Lauterbrunnen des Kantons Bern (Abb. 5) liegt, befindet sich die Versuchsfläche auf einer Höhe zwischen 1450 und 1540 m ü. M. im Marcheggwald (Abb. 4). Damit gehört das Untersuchungsgebiet zur hochmontanen Stufe der nördlichen Randalpen (Frehner et al. 2005).



Abb. 4. Versuchsfläche in Lauterbrunnen BE.

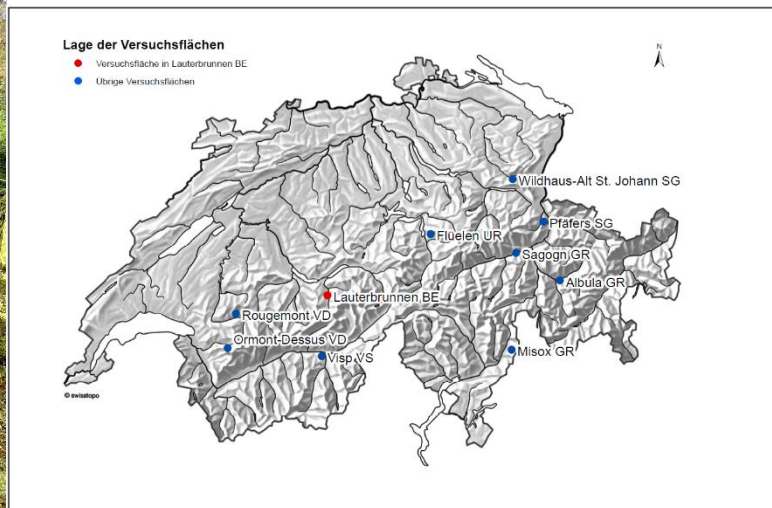


Abb. 5: Lage der Versuchsfläche Lauterbrunnen BE (rot) sowie der restlichen Standorte im Projekt Gebirgswaldverjüngung (blau). (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021)

Die Flächen mit einer gesamten Grösse von 1.5 ha sind östlich exponiert und weisen eine Hangneigung von durchschnittlich 80% auf, wobei die höher gelegene Teilfläche weniger geneigt ist. Dabei ist der Hang sehr unregelmässig steil, mit zahlreichen Mulden und Erhebungen. Aufgrund dieser kleineren Hangneigung werden lediglich die tieferen Teilflächen dem Schutzwald zugerechnet (Fratlicelli et al. 2021b). Voreiszeitliche Bergstürze sowie Blockschutt aus Moränenmaterial und Mergelschiefer formten das Gebiet dieser Versuchsfläche, wobei die Bodenbildung hauptsächlich durch saures Grundgestein wie die anstehenden Kalkgesteine und Eisensandsteine bestimmt wird (Fratlicelli et al. 2021b; Oeschger Centre 2009).

2.2.2 Klima

Aufgrund der Höhenlage sind die klimatischen Bedingungen durch das Hochgebirge geprägt und charakterisieren sich insbesondere durch lange, schneereiche Winter wie auch durch die kurze Dauer von Frühling und Herbst (Fratlicelli et al. 2021b). Dennoch können im Sommer während vereinzelten Perioden hohe Temperaturen auftreten, obschon die Durchschnittstemperaturen

relativ kühl sind und nur mässige tägliche und jahreszeitliche Temperaturschwankungen zu erwarten sind (Frehner et al. 2005). Lokal können somit – besonders an Spalierlagen – klimatisch begünstigte Kleinstandorte entstehen. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge liegt mit 1'243 mm (1991-2021) hoch (Meteo Schweiz 2021), dabei kommt es im Untersuchungsgebiet oft zu Staulagen (Frehner et al. 2005). Einflussreich ist die Häufigkeit und Intensität des Südföhns, welchem im Lauterbrunnental nahezu alle Gebirgszüge und somit auch Gebirgswälder ausgesetzt sind (Fratlicelli et al. 2021b).

2.2.3 Bestandesgeschichte

Die Versuchsfläche im Marcheggwald ist Teil eines Schutzwaldgebiets und gehört in das Forstrevier Lütschinentäler. Laut Unterlagen früherer Dokumentationen gilt die Versuchsfläche als reiner Fichtenwald (Fratlicelli et al. 2021b). Durch die Begehung bei der Flächenauswahl im Sommer 2020 wurde jedoch ersichtlich, dass es sich um einen typischen Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald handelt. Obwohl genaue Angaben fehlen, nahmen die Stammzahlen sowie die Holzvorräte stetig zu. Ein wichtiges Ereignis im Marcheggwald war der Föhnsturm von 1962 (Fratlicelli et al. 2021b), welcher im gesamten Lauterbrunnental grosse Waldflächen zerstörte (PLANAT 2021). Der Marcheggwald scheint bis 1926 saumschlagartig verjüngt worden sein, danach wurde durchgehend plenterartig bewirtschaftet. Die Bewirtschaftung richtete sich im Wesentlichen nach den Wirkungen von Naturereignissen wie Föhn, Lawinen und Steinschlägen. Der letzte bekannte Eingriff fand 1991 statt und wurde mit einer Seillinie durchgeführt (Fratlicelli et al. 2021b).

3 Methoden

Im Vorfeld der Aufnahmen fanden mehrere Besprechungen statt, in denen Daten des Projekts vom Vorjahr untersucht wurden. Dabei wurden ebenfalls der Umfang und die Herangehensweise der Feldaufnahmen, die Anzahl und Auswahl der Versuchsflächen, die Art und das Ausmass der zu erhebenden Parameter festgelegt. Zusätzlich konnten neben organisatorischen Themen wie dem Zeitraum der Aufnahmen und der Begleitung im Feld auch die Funktionsweise der Messgeräte (hauptsächlich die Solariscope-Bedienung) geklärt werden.

3.1 Versuchsdesign

Da diese Arbeit Teil des Projekts «Gebirgswaldverjüngung» ist, welches 2020 von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) gestartet wurde, orientiert sich der Versuchsdesign ebenfalls an diesem Projekt. Nach der Besichtigung und er Flächenauswahl folgt somit für jede Versuchsfläche zuerst die Einrichtung der Fläche. Dazu gehört das Festlegen der Flächengrenzen und Berechnen der Koordinaten mittels ArcGIS, wonach die Grenzpunkte der drei Teilflächen dauerhaft markiert werden. Anschliessend werden alle Bäume ab einem BHD $\geq 40\text{mm}$ mit einem Stempel nummeriert und somit die Standinventur situiert. Darauffolgend werden die ertragskundlichen Aufnahmen durchgeführt, wobei Merkmale zu den Bäumen wie Baumart, Baumstatus, BHD etc. erfasst werden. Sind diese Aufnahmen abgeschlossen, kann mit der Verjüngungsinventur begonnen werden. Die dafür benötigte weitere Einrichtung der Versuchsfläche ist grundlegend für die Aufnahmen, welche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden.

Für jede Versuchsfläche sind 54 Probeflächen¹ verteilt auf drei Teilflächen vorgesehen. Diese Teilflächen unterscheiden sich darin, dass die geplanten waldbaulichen Behandlungen in verschiedener Stärke durchgeführt werden. Auf einer Teilfläche soll NaiS-konform stark eingegriffen werden, wobei kleine bis mittlere Lücken entstehen. Eine weitere Teilfläche wird so behandelt, dass mittels einer Gebirgsplenterung rund 20% des Ausgangsbestandes entnommen wird (= schwacher Eingriff). Die dritte Teilfläche dient als Kontrolle und somit werden dort keine waldbaulichen Eingriffe vorgenommen. Da die Nummerierung der Teilflächen in Bezug auf die Eingriffsstärke über beide Versuchsflächen hinweg nicht übereinstimmt, wird folgend statt den Teilflächen-Nummern die Bezeichnung des Behandlungsgrads verwendet. Die Verteilung der Probeflächen orientiert sich an einem – soweit möglich – regelmässigen Gitternetz über die gesamte Versuchsfläche hinweg (6 & 7).

¹ Im ursprünglichen Versuchsdesign des Projekts waren ca. 75 Probeflächen pro Versuchsfläche vorgesehen. Diese Anzahl verringerte sich allerdings kurz nach Beginn der Feldaufnahmen und somit ist die Gesamtanzahl der Probepunkte bei beiden Versuchsflächen zwar identisch.

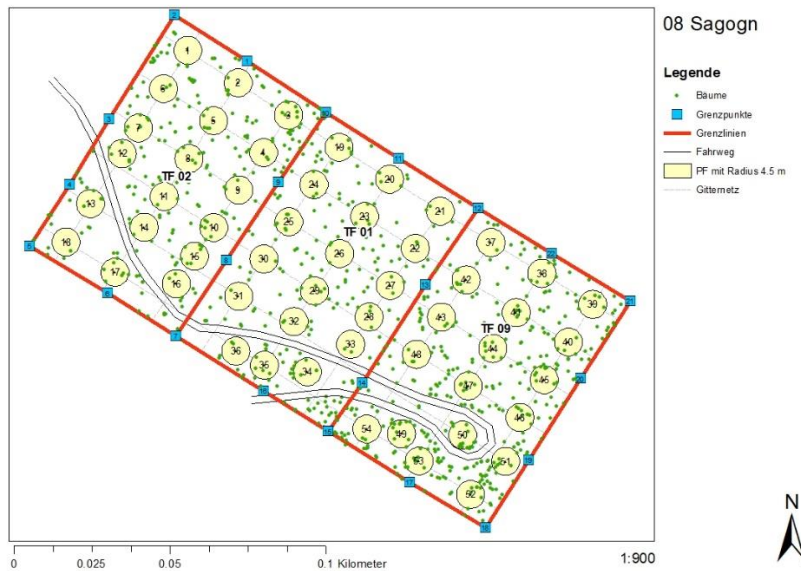


Abb. 6. Verteilung der Probeflächen auf den drei Teilflächen (TF 02 = stark, TF 01 = schwach, TF 09 = Kontrolle) in Sagogn GR (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021).



Abb. 7. Verteilung der Probeflächen auf den drei Teilflächen (TF 002 = schwach, TF 001 = stark, TF 009 = Kontrolle) in Lauterbrunnen BE (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021).

Eine Probefläche besteht aus drei konzentrischen Kreisringen in der Grösse von 10 m², 20 m² und 50 m² (Abb. 8). Jegliche Aufnahmen dieser Arbeit wurden in den 20 m²-Kreisen bzw. -Quadranten durchgeführt. Mithilfe eines Azimuthrings, einem Messband, einem Stativ, einer Doppelwasserwaage sowie einem Kompass werden so die Probeflächen eingerichtet. Dabei werden in den vier Himmelsrichtungen Norden (0 gon), Osten (100 gon), Süden (200 gon) und Westen (300 gon) Bambusstäbe platziert, welche den Ort bzw. den äusseren Radius von 2.59 m aller weiteren Aufnahmen markieren. Bei der Einrichtung wie auch bei den Aufnahmen selbst ist zu beachten, möglichst wenig Trittschäden innerhalb dieser Kreise zu verursachen. Dieser Vorgang ist für jede der

54 Probeflächen zu wiederholen, wonach anschliessend die Feldaufnahmen durchgeführt werden können.

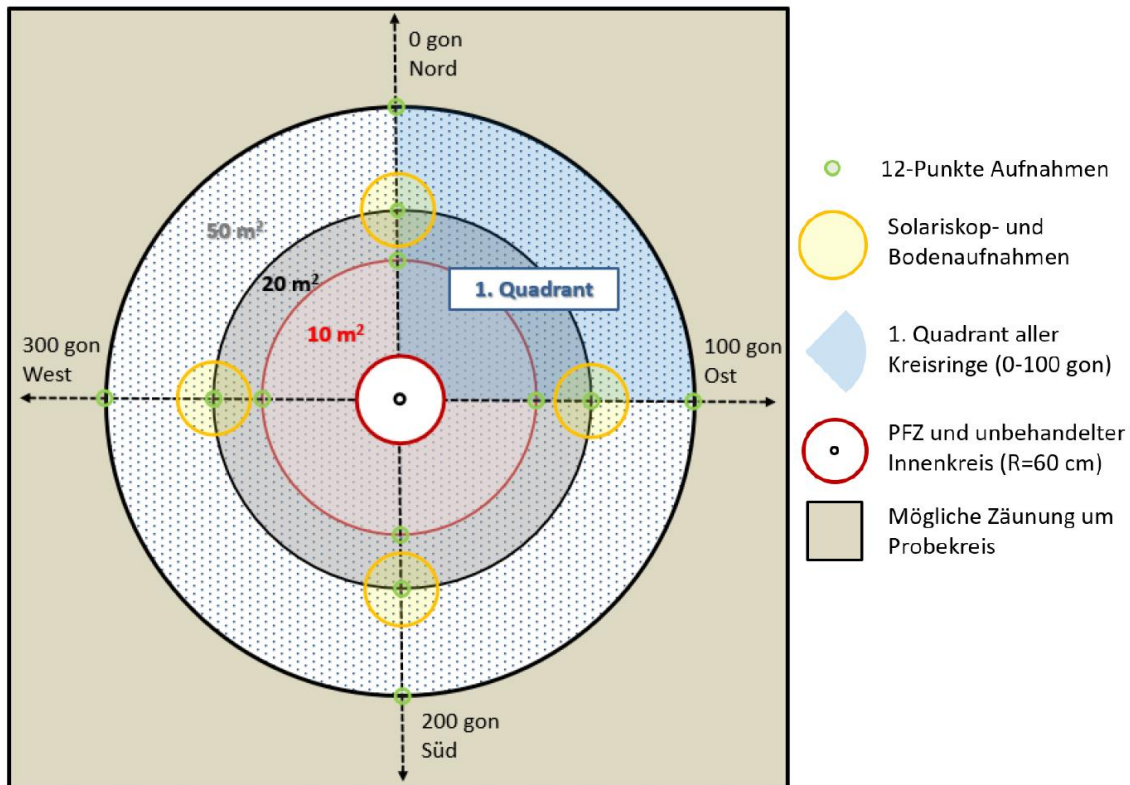


Abb. 8. Aufnahmeschema und Aufbau der Probeflächen der Verjüngungsinventur im Projekt «Gebirgswaldverjüngung» (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021).

3.2 Feldaufnahmen

Diese Arbeit ist Bestandteil vom Projekt «Gebirgswaldverjüngung», das sich unter anderem mit der Verjüngungsinventur und Erstaufnahmen von Kleinstandorten an den Probeflächen beschäftigt. Zu dieser Inventur der Kleinstandorte gehörten die Merkmale Mikrorelief, Präsenz Verjüngung, dominierende Vegetation in Gruppen, Präsenz Moose, Substrattyp, Dicke der organischen Auflage sowie die Humusform (Zaugg, Lässig, Nikolova, Kupferschmid, Nitzsche, et al. 2021). Die Daten des Mikroreliefs und der Humusform, welche vom Feldteam notiert wurden, wurden für die Auswertungen ebenfalls verwendet.

Zur Bestimmung des Mikroreliefs wird dabei in einer beidseitigen Distanz von 0.5 m – ausgehend der 12 zuvor markierten Punkte (Abb. 8) – parallel zum Hang auf derselben Höhenlinie gemessen. Mit dem zuvor bestimmten Code (Tabelle 1) wird anschliessend bestimmt, ob es sich um eine Senke, Erhebung oder um einen flachen Kleinstandort handelt.

Tabelle 1. Codes und Kategorien, welche bei der Aufnahme des Mikroreliefs benutzt werden.

Code	Bedeutung
1	Senke: Mittelpunkt (Baum) liegt mindestens 10 cm tiefer als der Durchschnitt (< -10 cm)
2	Flach: Mittelpunkt (Baum) liegt auf derselben Höhe (Unterschied zwischen -10 cm und 10 cm)
3	Erhebung: Mittelpunkt (Baum) liegt mehr als 10 cm höher als der Rest (> 10 cm)

An den vier Punkten des 20 m²-Kreisrings (Abb. 8) wird zudem die Humusform bestimmt. Dabei wird zwischen Mull, Moder und Rohhumus unterschieden.

Für die Feldaufnahmen wurden folgende Materialien verwendet:

- Bambusstäbe
- Messband bzw. Rollmeter
- Hohlmeissel
- Verschlussbare Plastiktüten
- Bestimmungsliteratur
- Solariskop
- Einbein-Stativ
- Schreibmaterial
- Formulare für die Vegetationsaufnahmen
-

Im Verlauf der Aufnahmen in Lauterbrunnen wurden einige Störungsfaktoren bemerkt. So fehlten teilweise Bambusstäbe, welche die Probepunkte der Flächen markierten. Davon waren diejenigen Probeflächen betroffen, welche an den die Versuchsfläche durchquerenden Wanderweg in Teilfläche «stark» grenzten. Auf derselben Teilfläche wurden während den Aufnahmen am 29.08.2021 Kühe angetroffen. Diese schienen von der angrenzenden Alpweide in das Waldstück gelangt zu sein, da keine Absperrung vorhanden war. Ausser einigen fehlenden Bambusstäben konnten keine Auswirkungen festgestellt werden, auch waren keine Trittschäden in den Probeflächen auszumachen.

3.2.1 Lichtmessungen

Die Lichtmessungen fanden zwischen 10.06.2021 und 06.07.2021 in Lauterbrunnen und zwischen 26.08.2021 und 20.09.2021 in Sagogn statt. Dafür wurden mit einem Solariskop (Typ «SOL 300») jeweils an den vier 20 m²-Punkten pro Probekreis auf einer Höhe von 180 cm Aufnahmen genommen, was gesamthaft für jede Versuchsfläche 216 Aufnahmen ergab. Vor jeder Aufnahmereihe auf einer Versuchsfläche mussten zuerst die entsprechenden geographischen Koordinaten und die Deklination des Untersuchungsgebiets ermittelt und im Gerät eingegeben werden. Ebenfalls sollte der Kompass für jede neue Region kalibriert werden, sofern ein Ortswechsel der letzten Kalibrierung von über 100 km stattgefunden hat (Ing.-Büro Behling 2018).

Für die Lichtmessungen wurde somit das Solariskop mithilfe eines Einbein-Stativs auf die korrekte Höhe gebracht. Sobald mit der integrierten Wasserwaagenlibelle auf 1 ° genau nivelliert wurde, kann die Messauslösung betätigt werden. Mit dem Fisheye-Objektiv nimmt das Solariskop für jeden Messpunkt ein Foto in 360° Ausrichtung auf, wobei die Öffnung des Bildwinkels aufgrund grosser Hangneigungen im Gebirgswald auf 60° eingestellt wurde. Dies entspricht einem Zenitwinkel von 30°. Für jeden Messpunkt, bzw. jedes Foto, werden sieben Bilder mit unterschiedlichen Schwellenwerten (Helligkeitsstufen) bezüglich der Abgrenzung zwischen freiem Himmel und Bedeckung gespeichert. Dabei werden dunkle Bereiche im Foto automatisch als Baumkronen, Äste oder Stämme; hellere als freier Himmel mittels Segmentierung erkannt (Ing.-Büro Behling 2018). Die Sortierung der sieben Bilder mit unterschiedlichen Schwellenwerten werden vom Solariskop nach abnehmender Treffer-Wahrscheinlichkeit sortiert, wobei der Schwellenwert Nr. 1 mit der grössten Wahrscheinlichkeit zutrifft. Allerdings konnte bei vorbereitenden Arbeiten festgestellt werden, dass diese automatische Auswahl der Schwellenwerte nicht immer der Realität entspricht. Aus diesem Grund muss die Auswahl der Bilder mit der zutreffendsten Abgrenzung nochmals manuell überprüft werden.

Neben der rohen Bildaufnahme misst das Solariskop für jeden Schwellenwert diverse Lichtparameter wie DSF (Direct Site Factor), ISF (Indirect Site Factor), TSF (Total Site Factor), Gap-Openness und LAI (Leaf Area Index). Für diese Arbeit wurden nur die Werte von DSF, ISF, Openness und LAI ausgewertet. Der DSF wie auch der ISF sind dabei prozentuale Mengenverhältnisse des Sonnenlichts an einem Messort im Vergleich zu einem komplett beschatteten Ort über einen längeren Zeitraum hinweg. Definiert sind ISF und DSF als der Anteil der diffusen bzw. der direkten Strahlung, welche unter dem Baumkronendach als ein Bruchteil der oberhalb des Kronendachs empfangener Strahlung noch vorhanden sind (Ing.-Büro Behling 2018; Moora et al. 2007). Für diese Berechnung benutzt das Solariskop einen Messzeitraum, wofür die Sonnenbahnen intern zugeordnet werden. Die Gewichtung jedes einzelnen Bildpunktes hängt folglich von seinem projizierten Zenitwinkel und von seinem projizierten Raumwinkel-Anteil ab.

Die Openness beschreibt den Anteil unbedeckter Lücken in einem kreisförmigen Raumwinkel-Abschnitt um den Zenit, wobei die Öffnung des Bildwinkels – hier 60° – den zu betrachtenden Abschnitt vorgibt. Bei der Openness werden die Himmelsbereiche vom Zenitwinkel (= die Hälfte des Bildwinkels) abhängig gewichtet (Ing.-Büro Behling 2018).

Der LAI ist als Verhältnis von Blattfläche zu einer darunterliegenden Bodenfläche dimensionslos. Dabei ist die Blattfläche definiert als die Fläche aller zusammengezählter Blätter und gilt als einseitige Blattoberfläche. Ein LAI von 1 bedeutet, dass die Bodenfläche und die darüberliegenden Blätter die gleiche Fläche haben. Die Werte des LAI können dabei auch über oder unter 1 liegen. Aufgrund überlappender Blattflächen muss der LAI vom Solariskop mittels Modellannahmen berechnet werden und kann nicht direkt aus dem Bild entnommen werden.

3.2.2 Bodenproben

Zur Bestimmung des pH-Wertes wurden im Zeitfenster zwischen 10.06.2021-01.09.2021 (Lauterbrunnen BE) und 07.09.2021-23.09.2021 (Sagogn GR) in den in Abb. 8 aufgeführten 20m^2 -Kreisringen Proben entnommen. Dabei wurde mithilfe eines Hohlmeissels (Abb. 9) pro Probefläche jeweils an den Nord- und Ostpunkten je zwei Entnahmen in unterschiedlichen Tiefen durchgeführt. Unterhalb der organischen Auflage wurde hierfür sowohl in der Bodentiefe von 0-10 cm als auch von -11-20 cm Material gesammelt. Folglich waren für jede Versuchsfläche 216 Bodenproben vorhanden, wobei jeweils 108 Proben pro Messtiefe gesammelt wurden. Für jede Probe mussten mehrere Einstiche durchgeführt werden, um genügend Material für die pH-Analyse im Labor zu erhalten. Auch lagen einige Probepunkte auf steinigem Untergrund oder es wurde in der Tiefe eine Baumwurzel getroffen. Bei diesen Fällen wurden weitere Einstiche rund um den Probepunkt getätigt, um genügend Bodenmaterial zu gewinnen.



Abb. 9. Probenahme mit dem Hohlmeissel, hier am Beispiel in Sagogn. Die organische Auflage wurde nicht in die Probe aufgenommen. Eigene Aufnahme.

3.2.3 Vegetationsaufnahmen

Die Vegetationsaufnahmen fanden im Zeitfenster zwischen 26.08.2021 und 23.09.2021 statt. Dabei wurden zwei verschiedene systematische Ansätze für unterschiedliche Datenerfassungen angewendet.

Zur Ermittlung der lokalen Vegetation jeder Versuchsfläche wurde je eine Gesamtartenliste erstellt. Diese fand auf allen Probeflächen mit ungerader Nummerierung statt, was eine Anzahl von 27 aufgenommenen Plots pro Versuchsfläche ergab. Dabei wurde jeweils der Nord-Quadrant des 20m²-Kreisrings betrachtet (Abb. 8), was eine Totalfläche von 135 m² ergibt. Die Anforderungen an die Minimalfläche für Vegetationsaufnahmen der Krautschicht in Waldgesellschaften sind somit erfüllt (Dierssen 1990; Frankenberg 1982; Knauer 1981). Während der Aufnahme eines Probekreises wurde dieser systematisch vom äusseren Rand abgesucht und immer weiter zum Innenkreisring (Abb. 8) bearbeitet, bis alle Arten notiert waren. Berücksichtigt wurden dabei alle krautigen Arten und Moose, wobei die Moose weder auf Art-, Gattungs- noch auf Familienniveau bestimmt wurden. Verholzende Sträucher wurden nicht berücksichtigt. Festgehalten wurden die Arten auf einer Kreuztabelle mit den ergänzenden Kopfdaten der Versuchsfläche, der Probeflächennummer und dem Datum der Aufnahme. Zusätzlich wurden gleichzeitig in dieser Kreuztabelle die Angaben zu den artspezifischen Deckungsgraden pro Probefläche notiert. Dafür wurden fünf Abundanzkategorien festgelegt, welche eine spezifische Amplitude von Deckungswerten enthält (Tabelle 2). Diese Abundanz wurde für jede Art notiert. Für eine Probefläche konnte dabei der totale Deckungswert über dem Wert 100 liegen, da Überlappungen und Vorkommen der Vegetation in unterschiedlichen Höhenstraten möglich sind.

Tabelle 2. Verwendete Artmächtigkeits-Gruppen mit den entsprechenden Deckungsmittelwerten (nach Gehlker 1977; Tüxen und Ellenberg 1937).

Deckungsmittelwert (%)	Amplitude (%)	Artmächtigkeit	Mittlerer Deckungsgrad
1	-	1	2.5
2	1-3		
4	3-5		
10	5-15	2	15
20	15-25		
30	25-35	3	37.5
40	35-45		
50	45-55		
60	55-65	4	62.5
70	65-75		
80	75-85		
90	85-95	5	87.5
97.5	95-100		

Zusätzlich wurden punktuelle Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Diese fanden an jedem der vier 20 m²-Punkte (Abb. 8) statt, was eine Gesamtanzahl von 216 Punktvegetationsaufnahmen für jede Versuchsfläche ergab. Diese Punktaufnahmen fanden in einem 5 cm Radius um den markierenden Bambusstab jedes Punktes statt. Dabei wurde jedes Individuum auf Artniveau bestimmt und mit einem Rollmeter bzw. einem Massband die Höhe gemessen. Die Angabe der Höhe erfolgte auf den Feldnotizen in Zentimeter, gerundet auf die Vorkommastelle. Ein Pflanzenindividuum wurde für diese Vegetationsaufnahme nur berücksichtigt, wenn der Ursprung der Pflanze innerhalb des 5 cm-

Radius lag. Ausläuferbildende Arten wurden so behandelt, dass sie ebenfalls innerhalb dieses Bereiches gewurzelt sein mussten. Für die Höhenangabe wurde jeweils der höchste Teil einer Pflanze gemessen.

Die Bestimmung der Pflanzenarten erfolgte mithilfe einer Kombination von Bestimmungsliteratur sowie mit der Software *FloralIncognita* (Technische Universität Ilmenau 2020). Die Ansprache der Flora erfolgte dabei sowohl im generativen (Eggenberg und Möhl 2013; Rapp und Bartsch 2016) wie auch im vegetativen Zustand (Binz und Heitz 1990; Lauber, Wagner, und Gygax 2018; Rapp und Bartsch 2016).

3.3 Auswertungen und Laborarbeiten

Die graphischen und statistischen Auswertungen der Rohdaten wurden hauptsächlich mit RStudio und Microsoft Excel durchgeführt. Dabei wurden die Rohdaten der beiden Versuchsflächen immer separat bearbeitet und auch nicht miteinander verglichen, da Lauterbrunnen und Sagogn geologisch, klimatisch und waldstandortlich zu unterschiedlich sind. Ebenfalls wäre eine verallgemeinernde Aussage aufgrund von nur zwei Versuchsstandorten zu ungenau. Für die Datenanalyse mit der Software R wurden folgende Pakete verwendet:

- Ggplot2
- Tidyverse
- Cowplot
- Readxl
- Dplyr
- Data.table
- Ggpubr
- gridExtra
- EnvStats
- Writexl
- Tidyr
- Plyr
- Lattice
- Plotfunctions
- MatrixStats

Zu Beginn mussten alle im Feld gesammelten Daten – mit Ausnahme der Solariskop-Daten – vor weiterführenden Auswertungen digitalisiert werden. Somit wurden jeweils standortspezifische Excel-Tabellen für die pH-Werte in zwei Tiefen, die Gesamtartenlisten, die Deckungsgrade sowie für die Punktvegetationsdaten mit den Höhenangaben erstellt. Ebenfalls mussten die Daten auf Fehler kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert werden. In einem weiteren Schritt wurden die Tabellen ergänzt, teilweise miteinander verknüpft und transponiert, um das richtige Format für die Datenauswertung zu gewährleisten. Für die Erstellung von Graphiken wurden jeweils alle Daten verwendet, welche für diese Probeflächen vorhanden und vollständig waren.

3.3.1 Solariskop-Daten

Anschliessend an die Solariskop-Aufnahmen im Feld mussten die Fotos der verschiedenen Schwellenwerte ausgewertet werden. Für Sagogn wurden somit 1'512 und für Lauterbrunnen 2'016 Schwellenwerte manuell überprüft und selektiert. Anschliessend wurden die resultierenden Excel-Tabellen mit Informationen zu der entsprechenden Teilfläche ergänzt.

3.3.2 Bodendaten

Die Ermittlung des Boden-pH-Wertes folgte dem Verfahren der Schweizerischen Referenzmethoden der Forschungsanstalten (Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAP 2008) und wurde zwischen 08.10.2021 und 08.11.2021 im Labor durchgeführt. Da es sich um sehr viele Proben handelte, wurden die Laborarbeiten aufgrund gleichmässiger Budgetierung sowohl im Labor der WSL wie auch im Labor der ZHAW durchgeführt. Dafür wurde je eine Versuchsfläche pro Laborstandort behandelt, wobei Lauterbrunnen an der WSL und Sagogn an der ZHAW analysiert wurde. Um die pH-Messung des Bodens durchführen zu können, mussten die Proben zuerst vorbereitet werden. So wurden die Bodenproben in Aluschalen gefüllt, beschriftet und während 48 Stunden bei 60°C im Trockenschrank getrocknet. Anschliessend wurden mit einem Mörser zerkleinert, wobei Steine oder Pflanzenmaterial entfernt werden mussten. Das Material wurde dann durch ein Sieb mit der Maschenweite 2mm gesiebt. Da teilweise sehr wenig Feinmaterial übrigblieb, wurde statt 12g des Materials mit 6g die Hälfte genau abgewogen und in ein 50mL-Tube mit Deckel gegeben. Pro Tube wurden folglich statt 30 mL auch nur 15mL 0.01 molare CaCl_2 -Lösung hinzugegeben. Die Proben wurden dann verschlossen, geschüttelt und 24 Stunden stehen gelassen, damit sich oben die Bodenlösung bilden und die Partikel setzen konnten. Am darauffolgenden Tag wurde mithilfe eines pH-Meters der pH-Wert im Überstand in der Lösung gemessen und auf zwei Nachkommastellen genau notiert.

Zur Validierung der Vergleichbarkeit beider Labormessungen wurden jeweils zehn Proben der einen Versuchsfläche ebenfalls im anderen Labor gemessen. Somit waren 20 Proben mit zweifacher Bestimmung vorhanden, womit ein Abgleich der Werte durchgeführt werden konnte. Diese Werte wurden anschliessend in einer Graphik einander gegenübergestellt (Abb. 10) und deren Regressionslinie mit einer theoretischen 1:1 Übereinstimmung der Werte verglichen. Daraus wurde ersichtlich, dass sich die Werte aus den beiden verschiedenen Labormessungen mit einem Abweichungsfaktor von 0.145 (± 0.03) unterscheiden. Da diese Unterschiede nur minimal sind und sie für weitere ökologische Betrachtungen keine Abweichungen hervorrufen, werden die Werte so belassen.

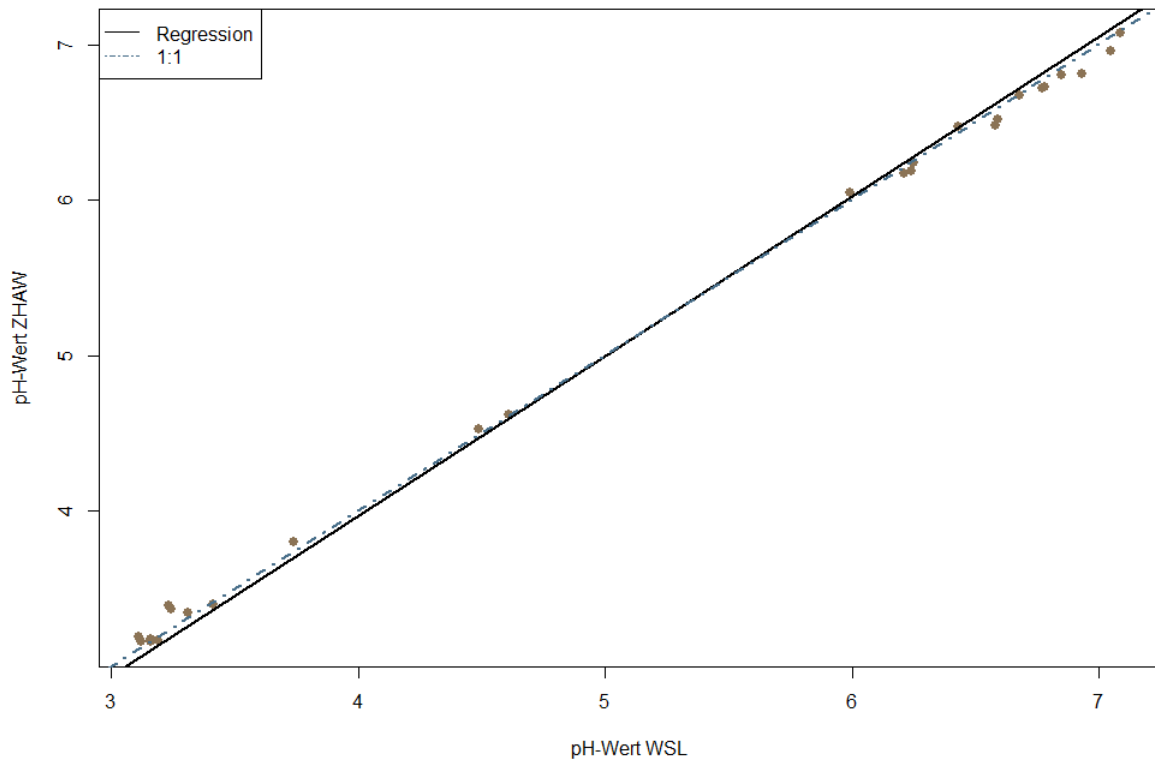


Abb. 10. Gegenüberstellung der Doppelbestimmung der pH-Werte (als Punkte), wobei die gestrichelte Linie eine theoretische 1:1 Regression darstellt.

Für die Klassifikation der pH-Werte des Bodens wurden die Stufen der Säuregrade verwendet (Tabelle 3). Da Pflanzen nicht auf minimale Schwankungen des pH, sondern eher auf einen gewissen pH-Bereich reagieren, wurde die Darstellung in folgenden Säuregraden verwendet. Dadurch sind Unterschiede zwischen den Messtiefen oder zwischen Artvorkommen auf bestimmten Säuregraden eindeutiger zu verstehen.

Tabelle 3. Einteilung der pH-Werte im Boden in Säuregrade. Nach (Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, BGS 2010; Kulli et al. 2014).

Säuregrad	Bezeichnung	pH CaCl ₂
E0	Alkalisch	> 6,7
E1	Neutral	6.2 – 6.7
E2	Schwach sauer	5.1 – 6.1
E3	Sauer	4.3 – 5.0
E4	Stark sauer	3.3 – 4.2
E5	Sehr stark sauer	< 3.3

3.3.3 Vegetationsdaten

Zusätzlich zur Digitalisierung und Tabellarisierung wurden die Vegetationsdaten noch weiter klassiert. Die Höhenangaben der punktuellen Vegetation wurden von den reinen Zentimeterwerten in Höhenklassen – oder auch Straten – eingeteilt (Tabelle 4). Diese sollten der besseren Veranschaulichung, Auswertung und Verständlichkeit dienen und orientierten sich an den Grössenklassen der Baumverjüngung. Damit sollten für eventuelle zukünftige Analysen zur Konkurrenz mit der Naturverjüngung vergleichbare Höhenklassen verfügbar sein.

Tabelle 4. Einteilung der Bodenvegetation in Höhenklassen und die entsprechenden Zentimeterangaben sowie Verjüngungsklassen im Waldbau.

Höhenstufe	Angaben in cm	Verjüngungsklasse
1	1-5	Schösslinge
2	6-10	
3	11-20	Anwuchs
4	21-40	
5	>40	Aufwuchs

Kategorisierung der Bodenvegetation

Um die Bodenvegetation im Zusammenhang mit anderen Parametern besser charakterisieren zu können, wurde die zusätzliche Variable der Vegetationskategorie in den Tabellen erstellt. Dafür wurden alle erfassten Arten mit wenig Änderungen und Ergänzungen in die Kategorien nach Kalt (2019) und Brang et al. (2017) nach ihrer Wuchsform und Familienzugehörigkeit eingeteilt (Tabelle 5). Die Gruppe «Kraut gross» wurde ergänzt, um speziell grosse Wuchsformen in der Krautvegetation einzeln betrachtet zu können. In dieser Gruppe wurden Arten zusammengefasst, welche ausschliesslich in den Höhenstufen vier und fünf vorkamen und somit also immer eine gemessene Höhe von mindestens 21 cm hatten. Zudem wurde zur Kategorie der Himbeere ebenfalls die Steinbeere hinzugefügt. Eine weitere zusätzliche Gruppe wurde mit den Binsengewächsen (Juncaceae) erstellt, welche für Lauterbrunnen besonders wichtig war.

Für die Einteilung hemmender und fördernder Einflüsse der verschiedenen Vegetationskategorien auf die Naturverjüngung wurden ebenfalls die Kategorien nach Brang et al. (2017) und Kalt (2019) verwendet. Hemmende Bodenvegetation waren folglich Hochstauden, Himbeerartige, Farne und Poaceae.

Tabelle 5. Einteilung aller gefundenen Arten in Sagogn GR sowie in Lauterbrunnen BE in Kategorien. Kategorien nach (Brang et al. 2017; Kalt 2019).

Krautvegetation	<i>Aquilegia vulgaris</i> <i>Campanula rotundifolia</i> <i>Clinopodium vulgare</i> <i>Convallaria majalis</i> <i>Cynoglossum officinale</i> <i>Fragaria vesca</i> <i>Galium odoratum</i> <i>Galium rotundifolium</i> <i>Hepatica nobilis</i> <i>Hieracium murorum agg.</i> <i>Homogyne alpina</i> <i>Knautia dipsacifolia</i> <i>Lactuca muralis</i> <i>Lathyrus vernus</i> <i>Linnea borealis</i> <i>Maianthemum bifolium</i> <i>Melampyrum sylvaticum</i> <i>Orthilia secunda</i> <i>Oxalis acetosella</i> <i>Paris quadrifolia</i> <i>Phyteuma spicatum</i> <i>Platanthera bifolia</i> <i>Polygonatum verticillatum</i> <i>Potentilla erecta</i> <i>Prunella vulgaris</i> <i>Ranunculus lanuginosus</i> <i>Ranunculus platanifolius</i> <i>Ranunculus tuberosus</i> <i>Tussilago farfara</i> <i>Veronica chamaedrys</i> <i>Veronica urticifolia</i> <i>Viola hirta</i> <i>Viola reichenbachiana</i>
Krautvegetation gross	<i>Epipactis atrorubens</i> <i>Epipactis helleborine</i> <i>Petasites albus</i> <i>Prenanthes purpurea</i>
Farne	<i>Athyrium filix-femina</i> <i>Blechnum spicant</i> <i>Dryopteris carthusiana</i> <i>Dryopteris filix-mas</i> <i>Dryopteris marginalis</i> <i>Gymnocarpium robertianum</i> <i>Oreopteris limbosperma</i>
Zwergsträucher	<i>Helianthemum nummularium subsp. Glabrum</i> <i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Vaccinium vitis-idaea</i>
Moose	<i>Moose</i>
Hochstauden	<i>Cicerbita alpina</i> <i>Digitalis grandiflora</i> <i>Galeobdolon luteum</i> <i>Pimpinella major</i> <i>Senecio ovatus</i> <i>Solanum dulcamara</i> <i>Solidago virgaurea</i>
Himbeere & Steinbeere	<i>Rubus idaeus</i> <i>Rubus saxatilis</i>
Sauergräser (Cyperaceae)	<i>Carex alba</i> <i>Carex flacca</i>
Süssgräser (Poaceae)	<i>Avenella flexuosa</i> <i>Bromus ramosus</i>
Binsengewächse (Juncaceae)	<i>Luzula sylvatica</i>

4 Resultate

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Lichtmessungen, Bodenproben und Vegetationsaufnahmen dargestellt. Insgesamt wurden auf zwei Versuchsflächen 108 Probeflächen untersucht, wobei 432 Bodenproben, 54 Gesamtartenlisten, 432 punktuelle Vegetationsaufnahmen und 432 Lichtmessungen durchgeführt wurden. Für die Lichtfaktoren mussten dabei 3'528 Bilder ausgewertet werden. Nach der Darstellung der Zustandsbeschreibung von Licht, Boden und Vegetation folgen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Parametern Licht, Boden-pH, Humusform und Mikrorelief mit der Bodenvegetation.

4.1 Zustandsbeschreibung der Lichtverhältnisse

4.1.1 Sagogn

Der durchschnittliche DSF für die Versuchsfläche Sagogn beträgt 0.11 mit einer Standardabweichung von 0.05. Der Median ist mit 0.11 identisch zum arithmetischen Mittel. Dabei erstrecken sich die Werte von 0 bis 0.23. Der ISF besitzt in Sagogn einen Mittelwert sowie einen Median von 0.13. Die Streuung liegt bei einer Standardabweichung von 0.04 und der Wertebereich liegt zwischen 0.07 und 0.29. Die durchschnittliche Openness beträgt für Sagogn 0.29 mit einer Standardabweichung von 0.16, wobei der Median einen Wert von 0.28 annimmt. Die Werte liegen zwischen dem Minimum von 0.01 und dem Maximum von 0.98.

Die tiefsten Werte des Faktors DSF liegen in der Teilfläche «Kontrolle», wobei diese Fläche bezüglich des DSF auch die grösste Streuung vorzuweisen hat (Tabelle 6). Die höchsten DSF-Werte besitzt die Teilfläche «stark». Auf der Teilfläche «schwach» sind die durchschnittlich grössten ISF-Werte, wobei der maximale Wert auf der Teilfläche «stark» liegt. Das arithmetische Mittel von ISF liegt allerdings auf der Teilfläche «stark» am tiefsten. Die höchsten Openness-Werte hat die Teilfläche «schwach», die tiefsten die Teilfläche «stark».

Tabelle 6. Mittelwerte, Standardabweichungen, Median sowie Minimum und Maximum von DSF (=Direct Site Factor), ISF (=Indirect Site Factor), Openness und LAI (=Leaf Area Index) der drei Teilflächen in Sagogn GR. Dabei

		DSF	ISF	Openness	LAI
Mittelwert	«Stark»	0.133	0.125	0.266	2.81
	«Schwach»	0.108	0.143	0.317	2.635
	«Kontrolle	0.084	0.132	0.284	2.815
Standardabweichung	«Stark»	0.041	0.031	0.139	0.296
	«Schwach»	0.041	0.042	0.168	0.297
	«Kontrolle	0.049	0.030	0.16	0.275
Median	«Stark»	0.135	0.120	0.220	2.8
	«Schwach»	0.09	0.14	0.305	2.6
	«Kontrolle	0.08	0.13	0.27	2.8
Minimum	«Stark»	0.03	0.08	0.01	2.1
	«Schwach»	0.01	0.07	0.02	2.1
	«Kontrolle	0.0	0.03	0.02	0.275
Maximum	«Stark»	0.23	0.29	0.98	3.5
	«Schwach»	0.19	0.24	0.71	3.3
	«Kontrolle	0.21	0.19	0.69	3.4

Aus Abbildung 11 geht hervor, dass sich die Lichtparameter ISF und Openness in Sagogn auf den drei Teilflächen nicht signifikant unterscheiden. Teilfläche «stark» weist jedoch hinsichtlich dem DSF signifikante Unterschiede gegenüber der Teilfläche «Kontrolle» auf (siehe auch im Anhang).

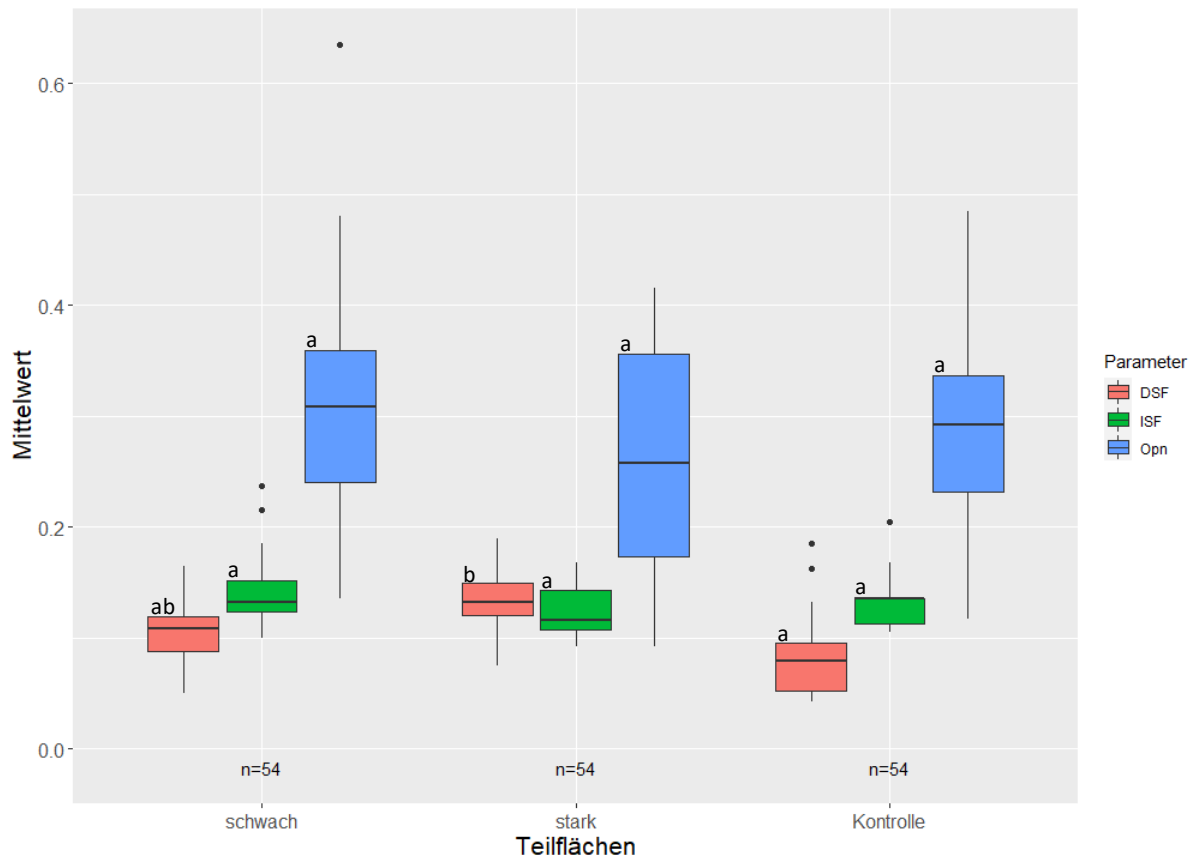


Abb. 11. Mediane (horizontale Linien) sowie Streuung zwischen oberem und unterem Quartil (obere und untere Grenze des Boxplots) von DSF (Direct Site Factor = direkte Strahlung), ISF (Indirect Site Factor = indirekte Strahlung) und Openness auf den drei Teilflächen in Sagogn GR. Ausreisser sind als Punkte dargestellt. Signifikante Unterschiede bestehen für den DSF zwischen Teilfläche «stark» und «Kontrolle».

Der durchschnittliche Leaf Area Index für die Versuchsfläche Sagogn beträgt 2.8 mit einer Standardabweichung von 0.3. Der Median liegt mit 2.7 knapp unter den arithmetischen Mittel, wobei sich der Wertebereich von 2.1 bis 3.5 erstreckt. Der LAI ist auf den Teilflächen «stark» und «Kontrolle» höher als auf der Teilfläche «schwach» (Tabelle 6).

Bei der Betrachtung von Abbildung 12 geht hervor, dass sich die Teilfläche «schwach» bezüglich des LAI signifikant von den beiden anderen Teilflächen unterscheidet (siehe auch im Anhang). Allerdings sind die Werte des LAI in Sagogn im Allgemeinen ausserordentlich tief. Die Modellannahmen geben die Realität des LAI besonders in Gebirgswäldern mit hohem Nadelbaumanteil nur sehr unzureichend wieder (Ing.-Büro Behling 2018). Aufgrund dieser Abweichungen zwischen der tatsächlichen Blattfläche und den gemessenen Werten in Nadelwäldern ist der LAI für physiologische Schlussfolgerungen nicht brauchbar, weshalb der LAI für Zusammenhänge mit der Bodenvegetation nicht ausgewertet wird.

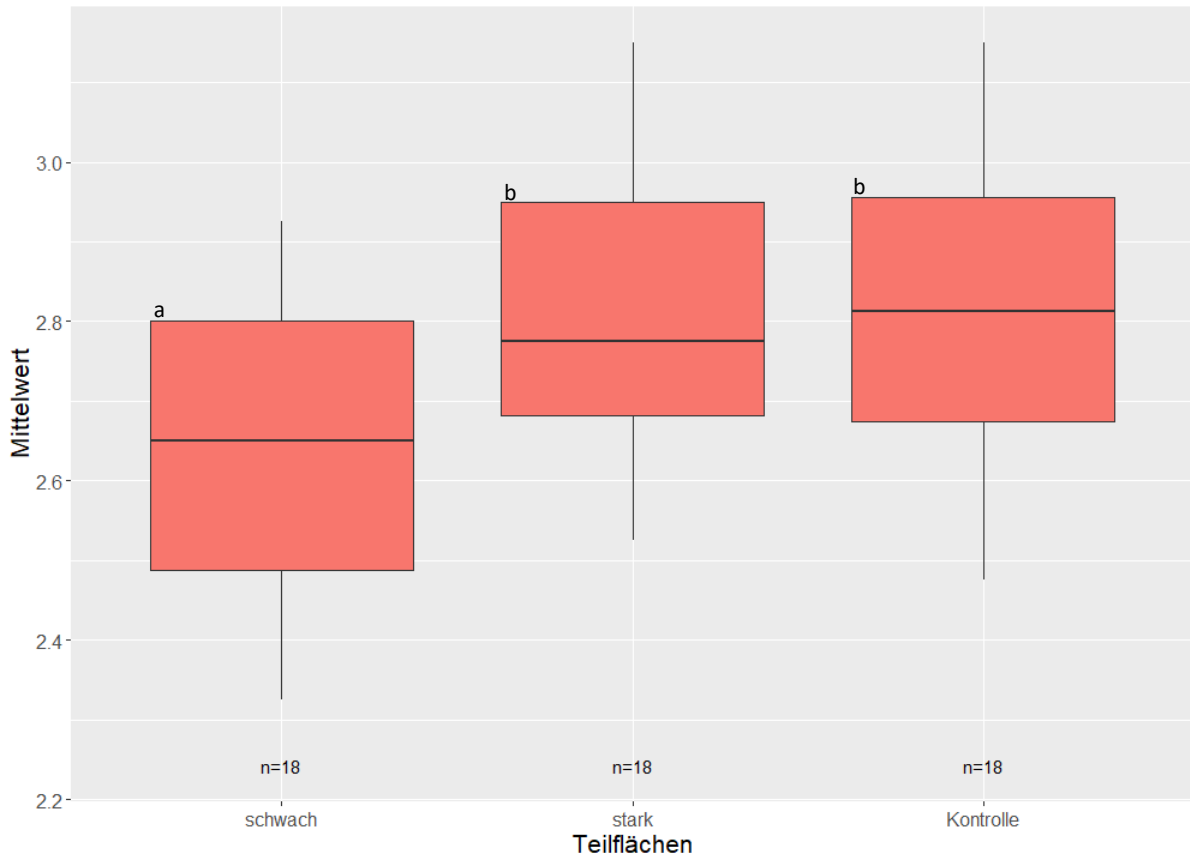


Abb. 12. Mediane (horizontale Linien) sowie Streuung zwischen oberem und unterem Quartil (obere und untere Grenze des Boxplots) des LAI (Leaf Area Index = Blattflächenindex) auf den drei Teilflächen in Sagogn GR. Signifikante Unterschiede kommen zwischen den Teilflächen «schwach» und «stark» sowie zwischen «schwach» und «Kontrolle» vor.

Mit einem R-Wert von -0.5 sowie einem p-Wert unterhalb von 0.05 besteht in Sagogn eine negative Korrelation zwischen dem Leaf Area Index und der Openness (Abb. 13).

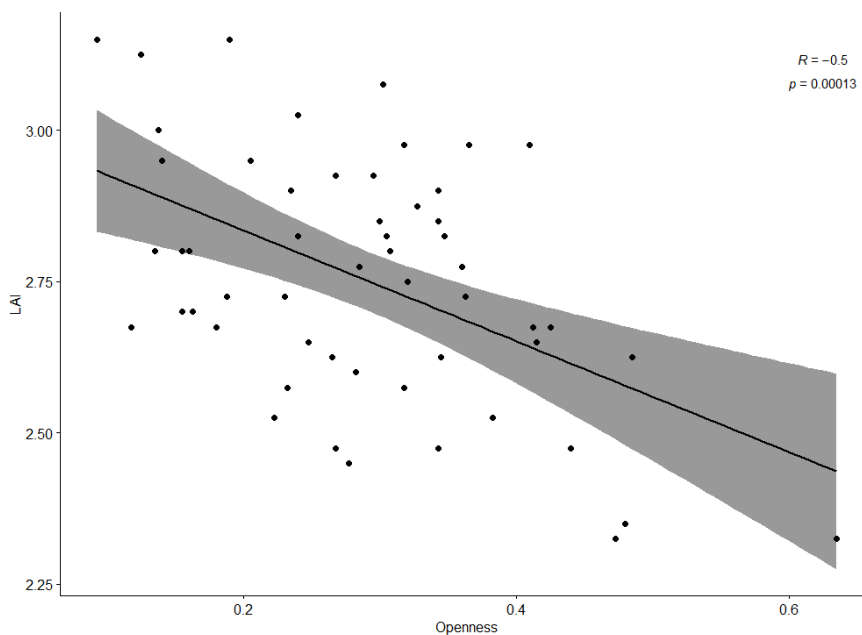


Abb. 13. Korrelationstest zwischen den Werten von LAI (Leaf Area Index = Blattflächenindex) und Openness in Sagogn GR.

Mit grösserem Mittelwert des Indirect Site Factors nimmt in Sagogn ebenfalls dessen Streuung zu (Abb. 14). Beim Direct Site Factor in Sagogn hingegen wird die Streuung mit ansteigendem Mittelwert etwas kleiner.

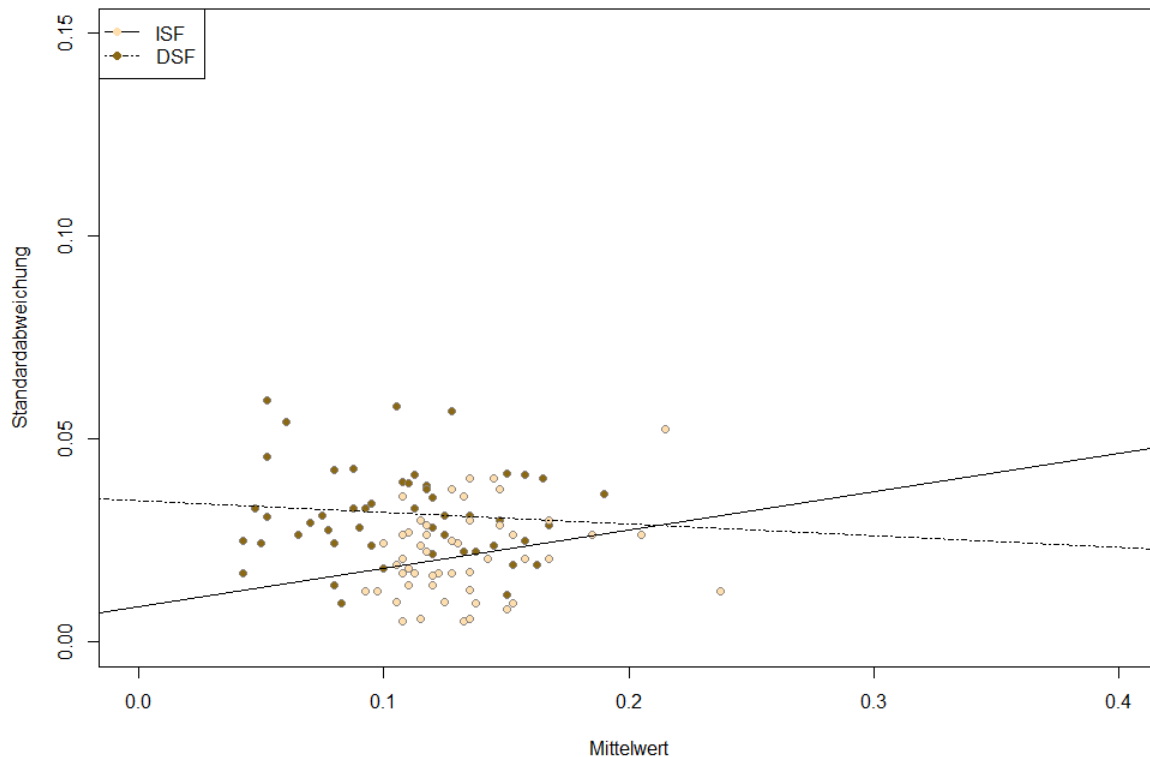


Abb. 14. Abhängigkeit zwischen dem Mittelwert und der Standardabweichung der zwei Lichtfaktoren ISF (Indirect Site Factor = indirekte Strahlung) und DSF (Direct Site Factor = direkte Strahlung) in Sagogn GR.

4.1.2 Lauterbrunnen

Der durchschnittliche Wert des DSF für die Versuchsfläche in Lauterbrunnen beträgt 0.14 und besitzt eine Streuung von 0.07. Mit 0.13 ist der Median knapp unterhalb des arithmetischen Mittels. Dabei erstrecken sich die Werte zwischen 0.03 und 0.36. Der ISF besitzt in Lauterbrunnen einen Mittelwert von 0.12 und einen Median von 0.11. Die Streuung liegt bei einer Standardabweichung von 0.04, wobei der Wertebereich zwischen 0.04 und 0.32 liegt. Im Durchschnitt beträgt die Openness in Lauterbrunnen 0.27 mit einer Streuung von 0.17, wobei der Median einen Wert von 0.23 annimmt. Der Wertebereich für die Openness liegt in Lauterbrunnen zwischen 0.02 und 0.98.

Die tiefsten durchschnittlichen DSF-Werte liegen in Lauterbrunnen innerhalb der Teilfläche «stark» (Tabelle 7), während die Teilfläche «schwach» die höchsten Werte (arithmetisches Mittel sowie Maximum) und die grösste Streuung besitzt. Ebenfalls sind auf der Teilfläche «schwach» die höchsten ISF-Werte vorzufinden. Auch bezüglich der Openness befinden sich die höchsten Werte innerhalb der Teilfläche «schwach».

Tabelle 7. Mittelwerte, Standardabweichungen, Median sowie Minimum und Maximum von DSF (=Direct Site Factor), ISF (=Indirect Site Factor), Openness und LAI (=Leaf Area Index) der drei Teilflächen in Lauterbrunnen BE.

		DSF	ISF	Openness	LAI
Mittelwert	«Stark»	0.116	0.106	0.260	2.959
	«Schwach»	0.167	0.144	0.330	2.368
	«Kontrolle»	0.125	0.109	0.207	2.535
Standardabweichung	«Stark»	0.051	0.023	0.124	0.335
	«Schwach»	0.082	0.058	0.224	0.467
	«Kontrolle»	0.048	0.033	0.126	0.349
Median	«Stark»	0.11	0.1	0.245	2.9
	«Schwach»	0.160	0.135	0.265	2.3
	«Kontrolle»	0.13	0.11	0.27	2.5
Minimum	«Stark»	0.03	0.06	0.02	2.2
	«Schwach»	0.03	0.05	0.02	1.3
	«Kontrolle»	0.03	0.04	0.02	1.7
Maximum	«Stark»	0.23	0.17	0.71	3.8
	«Schwach»	0.36	0.32	0.98	3.8
	«Kontrolle»	0.31	0.2	0.52	3.3

Bei der Betrachtung von Abbildung 15 geht hervor, dass sich alle drei Lichtparameter auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen auf eine Weise signifikant voneinander unterscheiden (siehe auch im Anhang). So gibt es sowohl bezüglich des DSF als auch des ISF zwischen der Teilfläche «schwach» und den beiden anderen Teilflächen signifikante Unterschiede. Beim Faktor der Openness unterscheiden sich die Teilflächen «schwach» und «Kontrolle» signifikant voneinander.

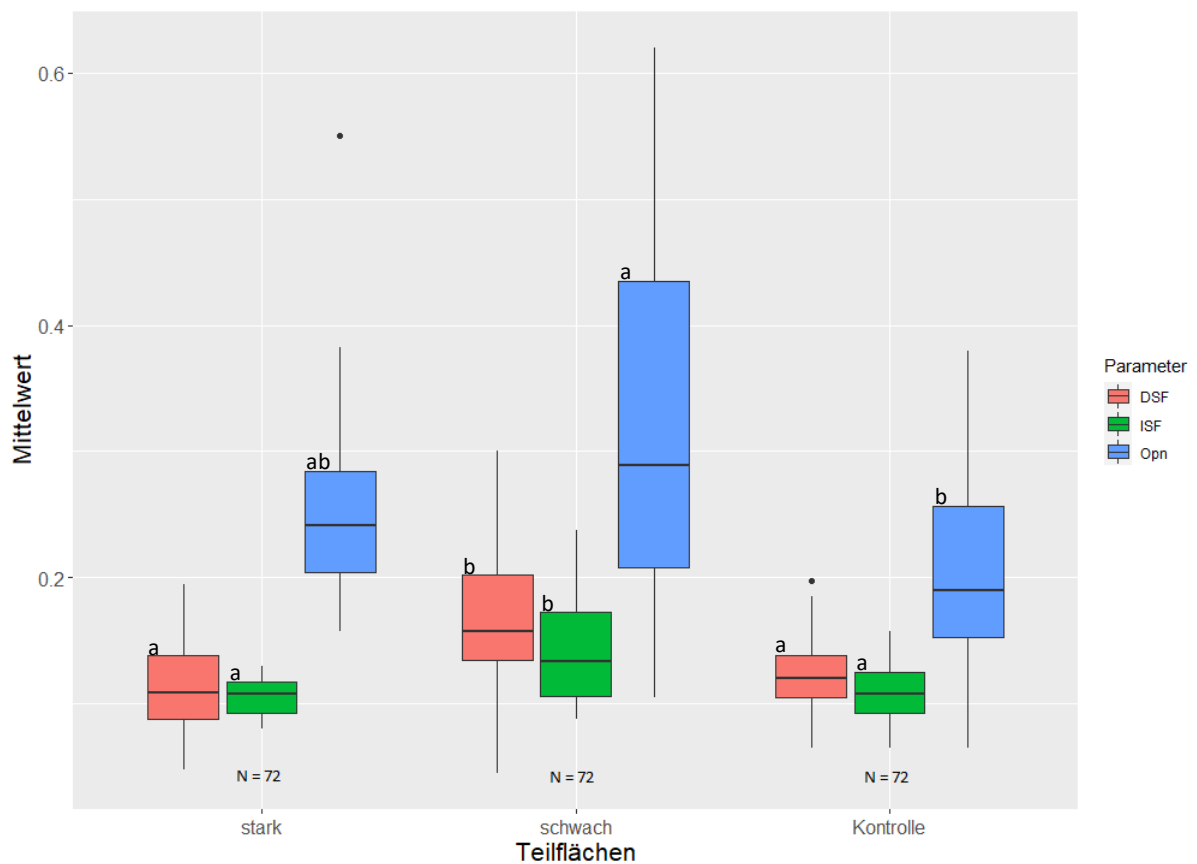


Abb. 15. Mediane (horizontale Linien) sowie Streuung zwischen oberem und unterem Quartil (obere und untere Grenze des Boxplots) von DSF (Direct Site Factor = direkte Strahlung), ISF (Indirect Site Factor = indirekte Strahlung) und Openness auf den drei Teilflächen in Lauterbrunnen BE. Ausreisser sind als Punkte dargestellt. Zwischen der Teilfläche «schwach» und «Kontrolle» gibt es bezüglich der Openness signifikante Unterschiede. Auch unterscheidet sich die Teilfläche «schwach» von den beiden Teilflächen «stark» und «Kontrolle» für den ISF und DSF.

Der durchschnittliche Leaf Area Index für die Versuchsfläche Lauterbrunnen beträgt 2.6, wobei die Streuung bei einem Wert von 0.5 liegt. Der Median ist mit 2.6 identisch zum arithmetischen Mittel, wobei sich der Wertebereich zwischen 1.3 bis 3.8 befindet. Der LAI ist auf der Teilfläche «stark» höher als auf den restlichen beiden Teilflächen (Tabelle 7). Ebenfalls besitzt die Teilfläche «stark» die kleinste Streuung.

In Abbildung 16 wird ersichtlich, dass sich die Teilfläche «stark» bezüglich des LAI signifikant von den beiden anderen Teilflächen unterscheidet (siehe auch im Anhang). Allerdings sind die Werte des LAI – wie auch in Sagogn – in Lauterbrunnen auffallend tief. Auch hier wird die Realität des LAI durch die Modellannahmen nur sehr unzureichend wiedergegeben. Deshalb wird aufgrund dieser Abweichungen zwischen der tatsächlichen Blattfläche und den gemessenen Werten ebenso in Lauterbrunnen der LAI nicht weiter interpretiert, da damit physiologische Schlussfolgerungen nicht möglich sind.

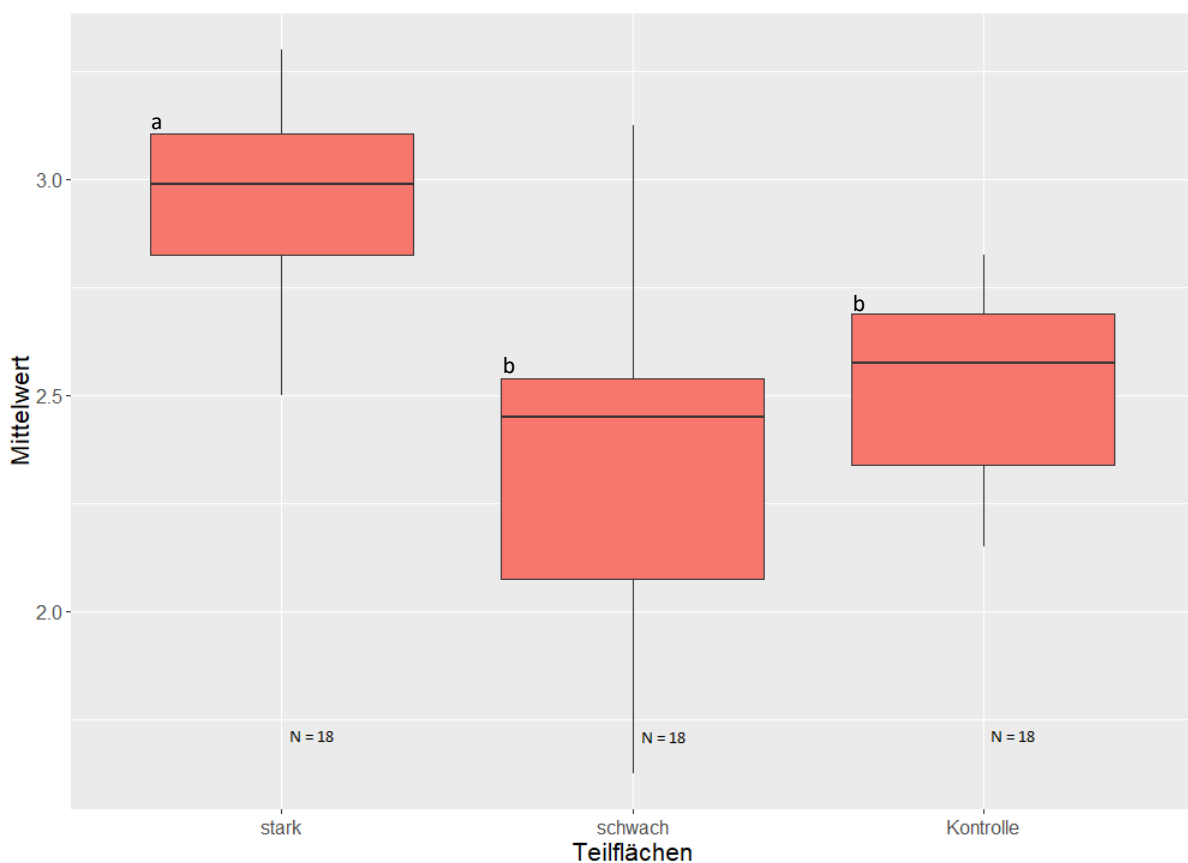
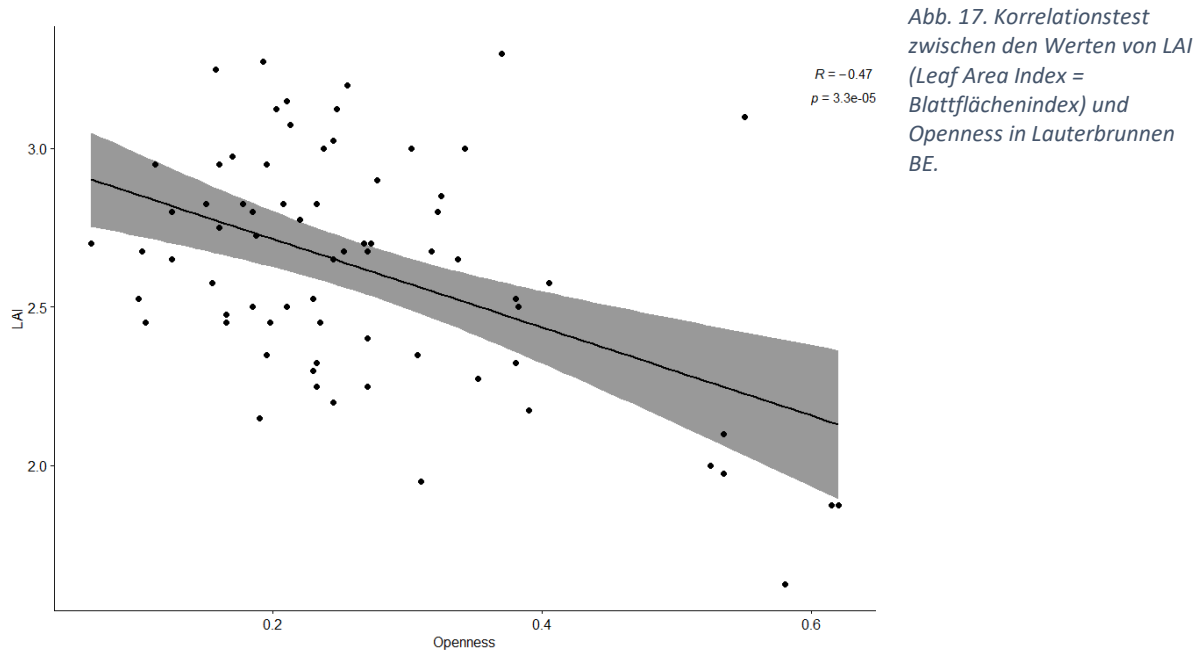


Abb. 16. Mediane (horizontale Linien) sowie Streuung zwischen oberem und unterem Quartil (obere und untere Grenze des Boxplots) des LAI (Leaf Area Index = Blattflächenindex) auf den drei Teilflächen in Lauterbrunnen BE. Signifikante Unterschiede kommen zwischen den Teilflächen «schwach» und «stark» sowie zwischen «stark» und «Kontrolle» vor.

Mit einem R-Wert von -0.47 sowie einem p-Wert unterhalb von 0.05 besteht in Lauterbrunnen eine negative Korrelation zwischen dem Leaf Area Index und der Openness (Abb. 17).



Mit grösserem Mittelwert des Indirect Site Factors wie auch des Direct Site Factors steigt in Sagogn ebenfalls deren Streuung (Abb. 18).

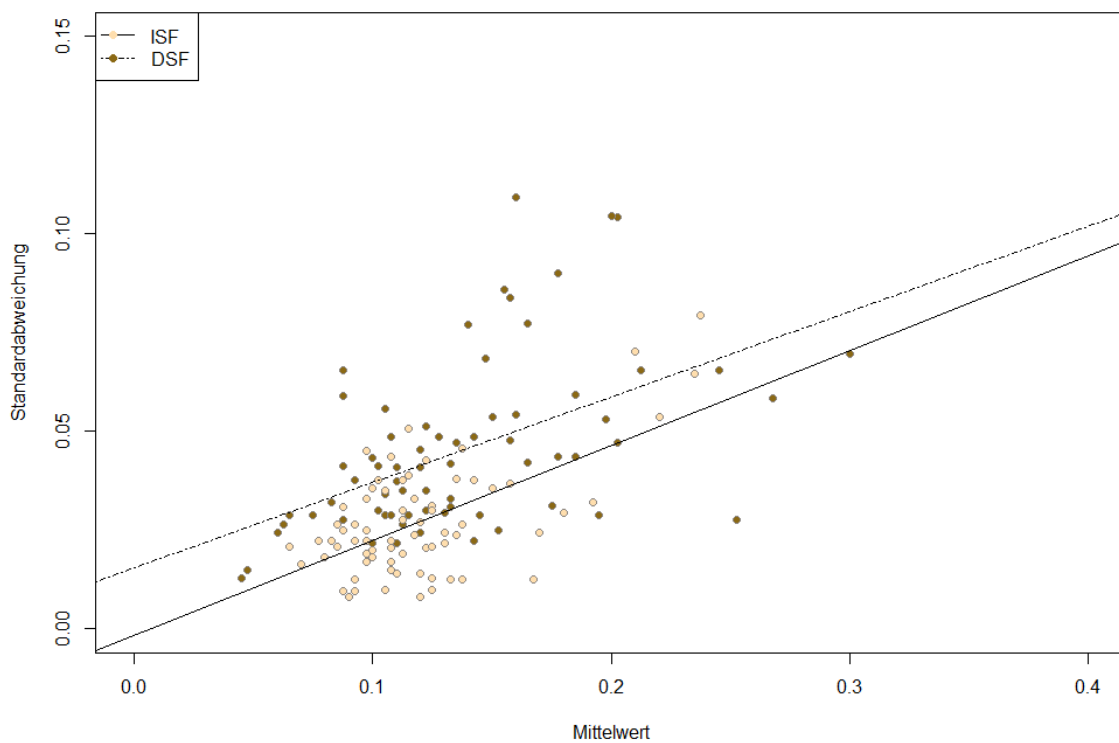


Abb. 18. Abhängigkeit zwischen dem Mittelwert und der Standardabweichung der zwei Lichtfaktoren ISF (Indirect Site Factor = indirekte Strahlung) und DSF (Direct Site Factor = direkte Strahlung) in Lauterbrunnen BE.

4.2 Zustandsbeschreibung des Boden-pH

4.2.1 Sagogn

Bei der Betrachtung der Verteilung der Säuregrade in den zwei verschiedenen Messtiefen fällt auf, dass in Sagogn die Bandbreite der Säuregrade, welche sich von E0 (=alkalisch) bis E3 (=sauer) erstreckt, die Versuchsfläche bezüglich ihres Boden-pHs ausgesprochen heterogen ist (Abb. 19). Die beprobten Böden werden bei grösserer Bodentiefe alkalischer oder bleiben gleich, werden aber mit der Ausnahme von der Probefläche 32 nicht saurer. Dennoch ist jeder der in Sagogn vier auftretenden Säuregrade mindestens einmal pro Bodentiefe vorhanden. Dabei sind die Säuregrade nicht alle gleich oft vertreten. Insgesamt kamen in Sagogn die Säuregrade E0 37-mal, E1 44-mal, E2 23-mal und E3 4-mal vor, wobei der Säuregrad E3 nur auf der Teilfläche «schwach» vorhanden war. Auch innerhalb der drei Teilflächen wird keine Homogenität erreicht. So weisen alle Teilflächen sowohl zwischen als auch innerhalb der Probeflächen teilweise grosse Unterschiede der Säuregrade auf. Teilweise weist auf einzelnen Probeflächen (PF 2, 6, 9, 14, 16, 19, 21, 22, 25, 29, 34, 37, 38, 39, 41, 46, 48 und 49) die Bodentiefe 0-10 cm denselben Säuregrad auf wie die Bodentiefe 11-20 cm. Andere Probeflächen hingegen verfügen über Unterschiede zwischen den beiden Messtiefen von bis zu zwei Säuregraden, wie z.B. von E2 zu E0 (PF 7, 23, 52).

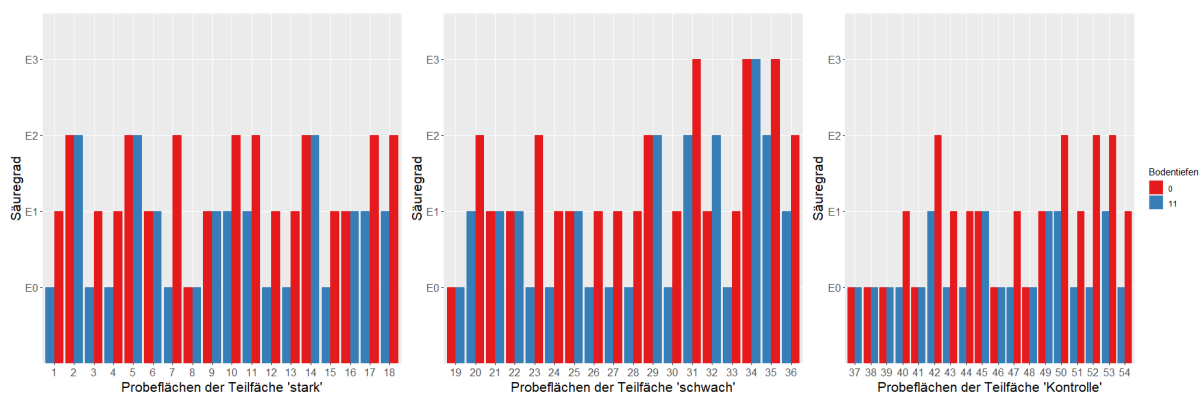


Abb. 19. Verteilung der Säuregrade (E0=alkalisch, E1=neutral, E2= schwach sauer, E3=sauer) in verschiedenen Bodentiefen (in cm) auf den drei Teilflächen «schwach», «stark» und «Kontrolle in Sagogn GR.

4.2.2 Lauterbrunnen

Für Lauterbrunnen fällt bei der Betrachtung der beobachteten Säuregrade (Abb. 20) auf, dass sich ein allgemein sehr saures Bodenverhältnis abbildet. Mit einer Anzahl von 74 wurde ein Grossteil der Proben dem Säuregrad E4 (= stark sauer) zugewiesen, wobei die vorkommenden Säuregrade von E3 (=sauer) bis E5 (=sehr stark sauer) reichen. Dabei ist der Säuregrad E3 nur einmal vorhanden. Innerhalb der Probeflächen scheint sich eine homogene Verteilung eingestellt zu haben. So sind mit der Ausnahme von PF 4, 25, 26, 30, 31, 34, 36 und 42 die beiden Messtiefen jeder Probefläche einheitlich sauer gruppiert. Somit weisen eine Mehrheit der Probeflächen mit zunehmender Bodentiefe im Allgemeinen keine höheren pH-Werte auf.

Die drei Teilflächen unterscheiden sich bezüglich ihrer Säuregrade minimal. Die Teilflächen «stark» und «Kontrolle» enthalten eine grössere Anzahl Probeflächen mit sehr stark sauren Verhältnissen (=E5) als die Teilfläche «schwach». Ausserdem weist Teilfläche «Kontrolle» die grössten Unterschiede innerhalb der Probeflächen auf.

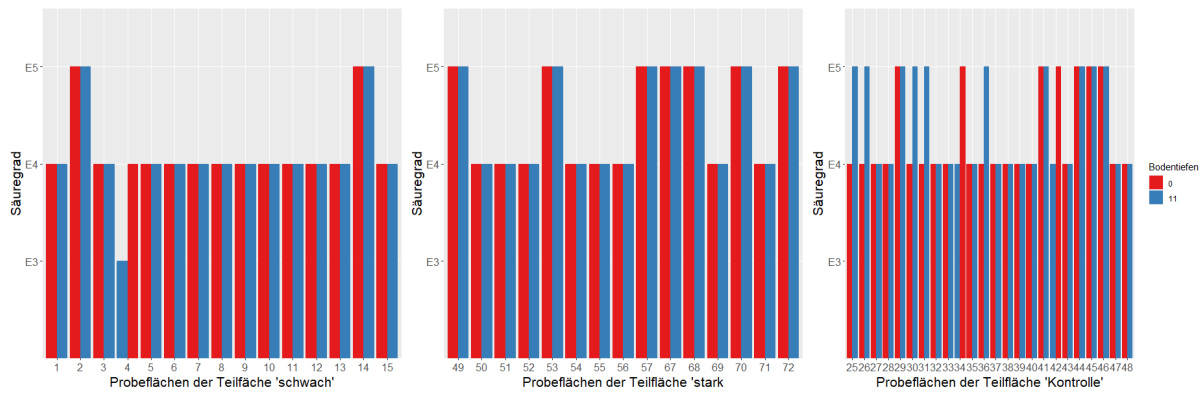


Abb. 20. Verteilung der Säuregrade (E3=sauer, E4=stark sauer, E5=sehr stark sauer) in verschiedenen Bodentiefen (in cm) auf den drei Teilflächen «schwach», «stark» und «Kontrolle in Lauterbrunnen BE.

4.3 Zustandsbeschreibung der Vegetation

4.3.1 Sagnon

Insgesamt wurden auf den Probeflächen der Versuchsfläche in Sagnon 40 Arten gefunden (Abb. 51 sowie Tabelle 13 im Anhang). Dabei haben die Teilflächen «schwach» und «stark» jeweils 27 Arten, während auf der Teilfläche «Kontrolle» ein Total von 34 Arten gefunden wurde (Tabelle 13). Von den gesamthaft 40 Arten erfüllten 13 das Kriterium einer häufigen Art, womit sie auf mindestens 50% aller Probeflächen Präsenz zeigen mussten. Zu diesen häufigsten Arten gehörten in Sagnon *Carex alba*, *Carex flacca*, *Fragaria vesca*, *Galium rotundifolium*, *Hepatica nobilis*, *Hieracium murorum* agg., *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum sylvaticum*, *Moose*, *Oxalis acetosella*, *Bromus ramosus*, *Rubus saxatilis* sowie *Viola reichenbachiana* (Abb. 21). Dabei kommen alle 13 häufigsten Arten zu mindestens 44% auf jeder einzelnen Teilfläche vor. *Carex alba*, *Moose* und *Oxalis acetosella* konnten auf allen Probeflächen der entsprechenden Teilflächen festgestellt werden (Tabelle 13). Die grössten Unterschiede zwischen den Teilflächen bestehen bei der Präsenz von *Fragaria vesca*, *Galium rotundifolium*, *Bromus ramosus* und *Rubus saxatilis*, wobei die drei zuerst genannten auf der Teilfläche «schwach» jeweils die kleinste Präsenz zeigen. Auf der Teilfläche «stark» sind meistens hohe Präsenzanteile der häufigsten Arten vertreten, mit Ausnahme von *Rubus saxatilis*. Auch die Teilfläche «Kontrolle» enthält mindestens auf 77% ihrer Probeflächen alle häufigsten Arten. Diese Tendenz kann auf der Teilfläche «schwach» nicht so stark festgestellt werden. Hier bewegt sich das Vorkommen der häufigsten Arten auf 44 bis 100% der Probeflächen und ist somit etwas heterogener verteilt.

Die Teilfläche «Kontrolle» enthält mit *Dryopteris filix-mas*, *Gymnocarpium robertianum*, *Pimpinella major*, *Senecio ovatus* und *Solanum dulcamara* den grössten Anteil – und alle in Sagnon vorhandenen Arten – der Vegetationsgruppen Farne und Hochstauden (Abb. 51). Einzig auf der Teilfläche «schwach» sind die Arten *Helianthemum nummularium* subsp. *Glabrum*, *Orthilia secunda* und *Vaccinium vitis-idaea* präsent, wobei diese auf einem Drittel bis zur Hälfte aller Probeflächen dieser Teilfläche vorkommen.

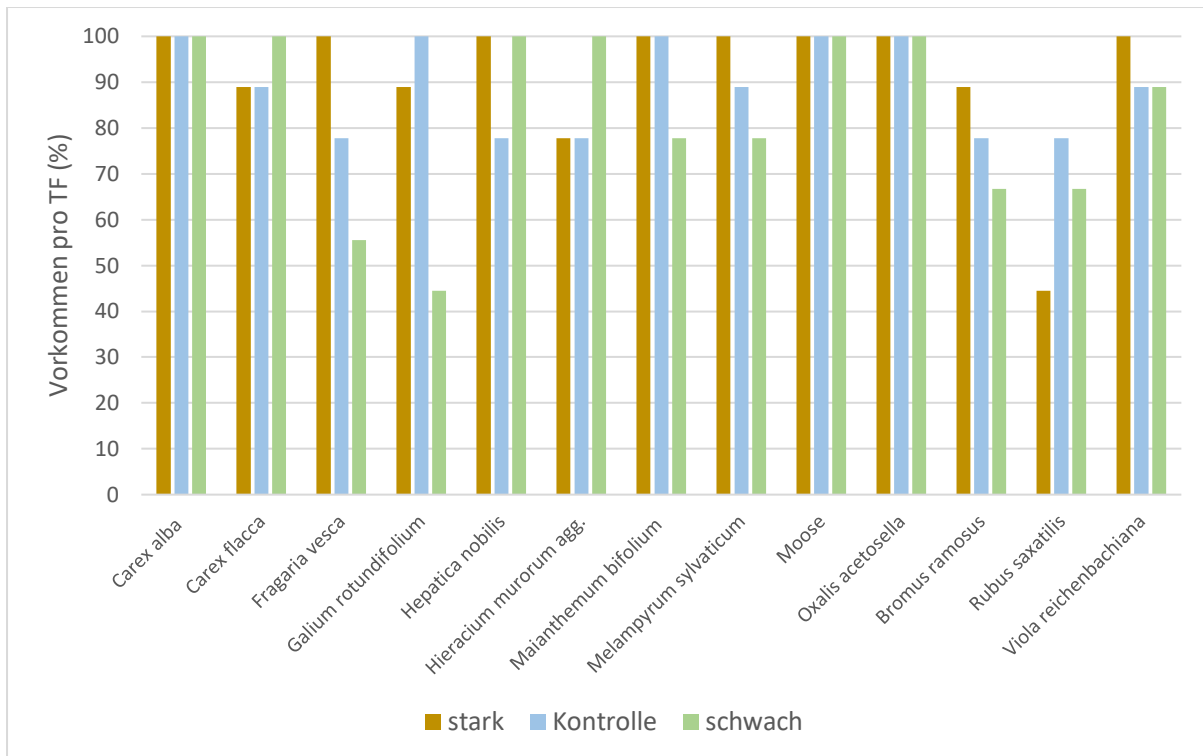


Abb. 21. Relative Verteilung der 13 häufigsten Arten (Präsenz auf mindestens 50% aller Probeflächen) auf den drei verschiedenen Teilflächen in Sagogn GR.

Pflanzensoziologisch gliedert sich die Versuchsfläche in Sagogn zwischen den Lebensräumen *Abieti-Piceion* und *Abieti-Fagenion* (Delarze et al. 2015) ein, wobei auch Arten des *Cephalanthero-Fagenion* und *Vaccinio-Piceion* vorkamen. Die drei einzelnen Teilflächen unterscheiden sich dabei nach ihrer Einteilung der Vegetationsklassierung. So sind die Teilflächen «Kontrolle» und «stark» jeweils eindeutig dem *Abieti-Piceion* zuzuteilen, während die Teilfläche «schwach» zu gleichen Anzahlen Pflanzen des *Abieti-Fagenion*, *Cephalanthero-Fagenion* und *Abieti-Piceion* enthält.

4.3.2 Lauterbrunnen

Auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen konnten auf den Probeflächen im Umfang dieser Arbeit gesamthaft 38 Arten gefunden werden (Abb. 52 sowie Tabelle 14 im Anhang). Auf der Teilfläche «stark» wurden dabei 25 Arten festgestellt. Auf der Teilfläche «Kontrolle» waren 23 Arten vertreten und die Teilfläche «schwach» war mit 24 Arten vertreten. Von den insgesamt 38 Arten erreichten nur sieben Arten den Schwellenwert von 50% Präsenz auf allen Probeflächen. Zu den häufigsten Arten zählten in Lauterbrunnen somit die Arten *Hieracium murorum agg.*, *Luzula sylvatica*, *Melampyrum sylvaticum*, Moose, *Oxalis acetosella*, *Prenanthes purpurea* und *Vaccinium myrtillus* (Abb. 22). Dabei herrscht teilweise eine heterogene Verteilung der Arten auf den drei Teilflächen vor. Lediglich Moose konnten auf allen Probeflächen der Teilflächen festgestellt werden (elle 13). Teilfläche «stark» verfügte zudem hohe Vorkommen von *Hieracium murorum agg.* und *Oxalis acetosella*, welche beide auf 100% der untersuchten Probeflächen vorhanden waren. Auch *Luzula sylvatica* und *Prenanthes purpurea* waren auf der Teilfläche «stark» mit mindestens 85% oft vertreten. Von den häufigsten Arten war auf dieser Teilfläche nur noch *Vaccinium myrtillus* mit einer kleinen Prozentzahl von 28% vertreten. Bei der Betrachtung von Abb. 52 wird ersichtlich, dass im Vergleich zu den anderen beiden Teilflächen die Teilfläche «stark» ausserdem höhere Präsenzen von Farnen wie *Athyrium filix-femina*, *Blechnum spicant*, *Dryopteris filix-mas*, von krautigen Arten wie

Homogyne alpina, *Maianthemum bifolium*, *Petasites albus*, *Phyteuma spicatum* und *Veronica urticifolia* besitzt. Abwesend auf der Teilfläche «stark» war *Melampyrum sylvaticum*, welche auf den beiden weiteren Teilflächen allerdings mit jeweils mehr als 70% der Probeflächen vorhanden war. Auf der Teilfläche «Kontrolle» war zudem jede häufige Art von Lauterbrunnen mit mindestens 75% vertreten (Abb. 22). Andere, nicht häufige Arten kamen mit der Ausnahme von *Galium rotundifolium*, welche auf einem Viertel aller Probeflächen dieser Teilfläche gefunden wurden, auf der Teilfläche «Kontrolle» im Gegensatz zur Teilfläche «stark» nur selten (auf unter 16% der Probeflächen) vor. Die Teilfläche «schwach» zeigte grosse Präsenzen von Moosen und *Vaccinium myrtillus*, welche beide auf allen Probeflächen notiert wurden. Auch *Luzula sylvatica* und *Melampyrum sylvaticum* waren mit mindestens 75% oft vertreten. Wie auch die Teilfläche «Kontrolle» zeigte die Teilfläche «schwach» Präsenzen von allen häufigen Arten auf, wobei *Oxalis acetosella* allerdings im Vergleich mit den beiden anderen Teilflächen nur selten auftrat.

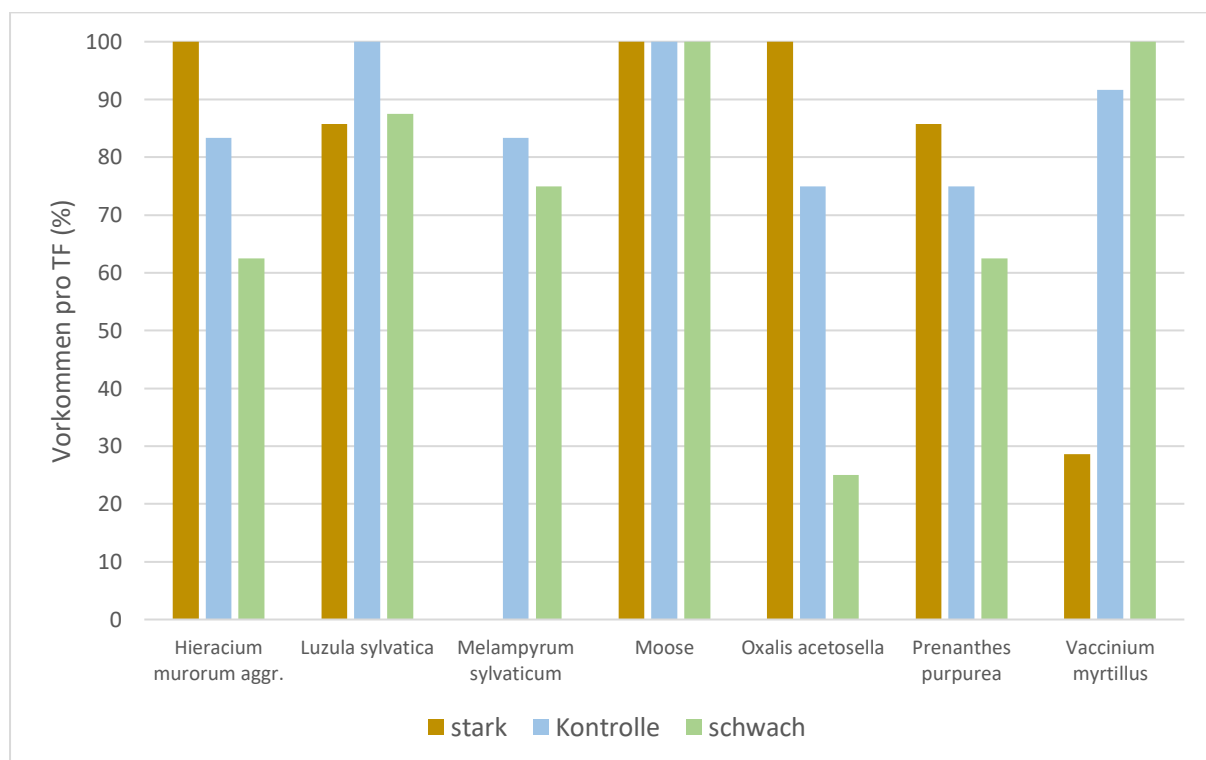


Abb. 22. Relative Verteilung der 7 häufigsten Arten (Präsenz auf mindestens 50% aller Probeflächen) auf den drei verschiedenen Teilflächen in Lauterbrunnen BE.

Die Versuchsfläche in Lauterbrunnen hatte pflanzengesellschaftlich einen Charakter des *Abieti-Piceion*, wobei auch viele Arten des *Abieti-Fagenion* und des *Vaccinio-Piceion* vorkamen (Delarze et al. 2015). Dabei wurden auf allen drei Teilflächen die grösste Anzahl Arten des *Abieti-Piceion* gefunden, womit Lauterbrunnen auf der gesamten Versuchsfläche einen einheitlichen Lebensraumtyp beschreibt.

4.4 Beziehung zwischen Lichtfaktoren und der Bodenvegetation

4.4.1 Sagogn

Auf der Versuchsfläche in Sagogn konnten pro Probepunkt der punktuellen Vegetationsaufnahme zwischen null und sieben Arten festgestellt werden. Dabei wurde auf einer Mehrheit der Probepunkte zwei bis sechs Arten festgestellt, während nur vereinzelt bzw. sehr selten keine, respektive sieben Arten gefunden wurden. Um die Auswirkungen der einzelnen Lichtfaktoren auf das Wachstum bzw. auf die Diversität der Bodenvegetation zu untersuchen, wurden die totalen Artanzahlen für jeden Probepunkt in Abhängigkeit zu den drei Parametern DSF, ISF und Openness aus den Solariskop-Messungen gesetzt.

Bei der Betrachtung des DSF in Abb. 23 fällt kein Trend bezüglich der Artanzahl bei spezifischen Werten der direkten Strahlung auf. Höhere DSF-Werte führen nicht zwingend zu einer grösseren Artanzahl auf einem Punkt, sondern können sowohl zwei wie auch fünf und sechs Arten auf einem Punkt begünstigen. Auch ergibt die Varianzanalyse mit ANOVA keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Artanzahlen bezüglich der DSF-Mittelwerte.

Etwas eindeutiger erscheint bei der Betrachtung von Abb. 23 allerdings die Abhängigkeit der Artanzahl vom ISF. So nehmen die Artanzahlen pro Probepunkt mit Ausnahme der Artanzahl sechs bei grösseren Mittelwerten der diffusen Strahlung zu. Während die grösste Anzahl Arten auf den Punkten mit den grössten ISF-Werten vorkommt, resultiert bei den tiefsten Werten nur eine Art pro Punkt. Im Vergleich zum DSF sind die Streuungen der Artanzahlen beim ISF kleiner. Allerdings sind diese Zusammenhänge zwischen dem Lichtfaktor und der Artanzahl auch für den ISF nicht ausreichend, um einen signifikanten Unterschied aufzeigen zu können.

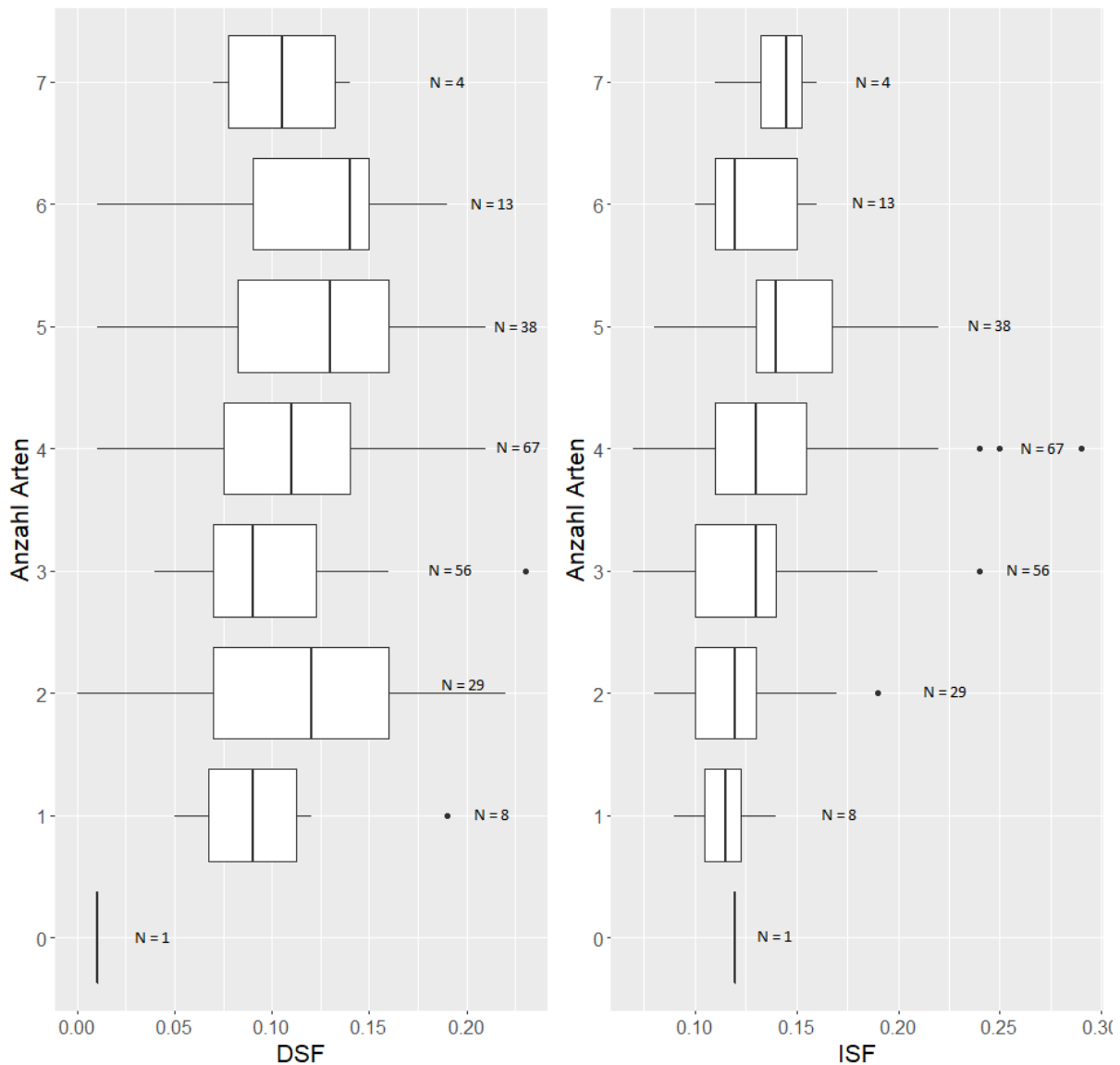


Abb. 23. Die Anzahl Arten pro Probepunkt (total N=216) im Verhältnis zu DSF (direkter Strahlung) und ISF (indirekter Strahlung) auf der Versuchsfläche in Sagogn GR.

Auch der Parameter der Openness zeigt keine eindeutigen Zusammenhänge auf (Abb. 24), bildet aber ein ähnliches Bild wie beim ISF ab. So sind die höheren Artanzahlen pro Probepunkt auch hier – mit Ausnahme der Artanzahl fünf – bei grösseren Öffnungen (also grösseren Openness-Werten) zu finden. Ebenso führen kleine Öffnungen zu wenig Arten pro Punkt, wie in Abb. 24 bei Artanzahl eins und zwei zu sehen ist. Trotz der augenscheinlich deutlichen Unterschiede zwischen den Artanzahlen eins und zwei gegenüber den höheren Artanzahl-Gruppen konnten auch für die Openness keine signifikante Varianz vorgewiesen werden.

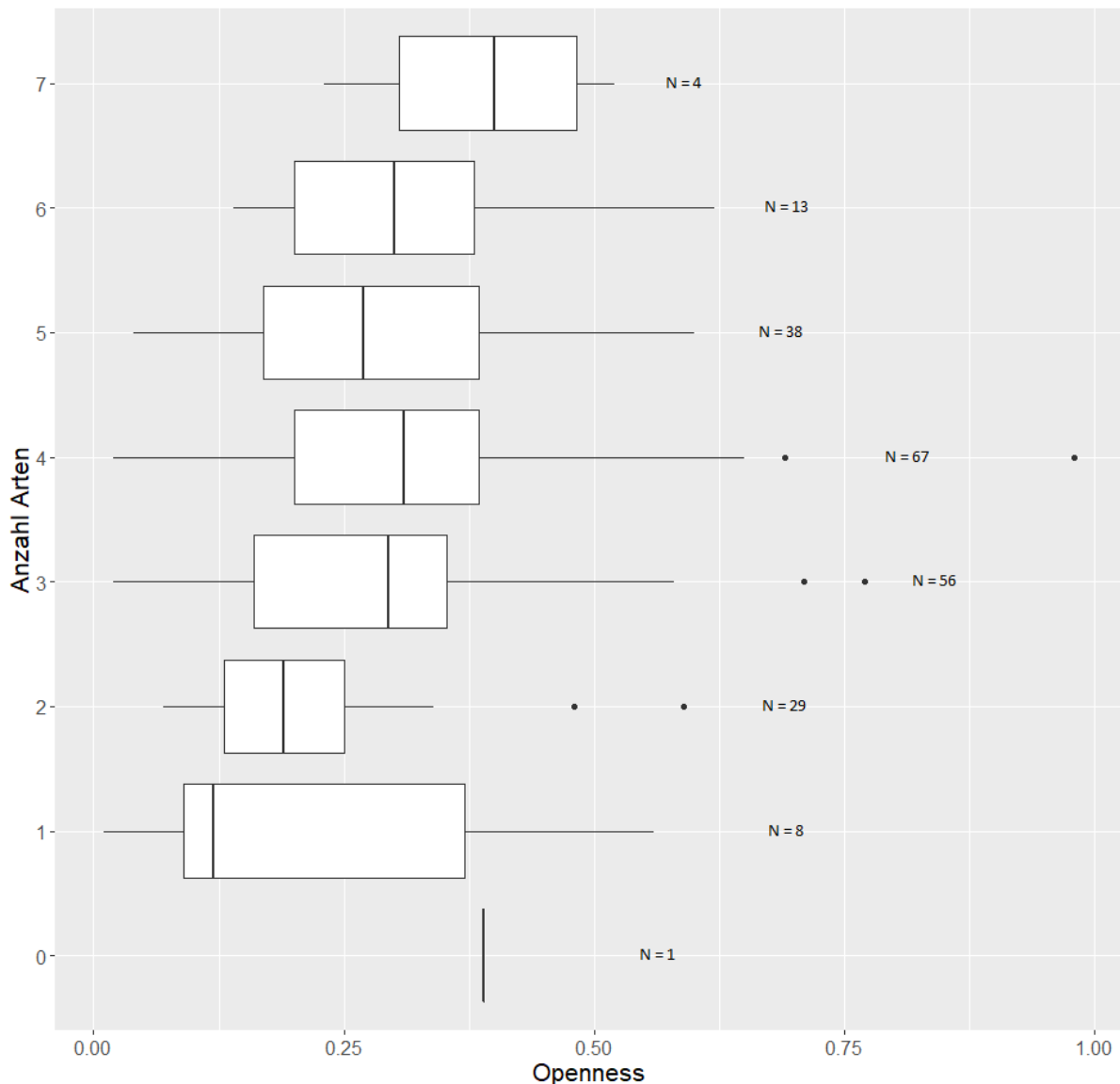


Abb. 24. Die Anzahl Arten pro Probepunkt (total N=216) im Verhältnis zur Openness auf der Versuchsfläche in Sagogn GR.

Um die Zusammensetzung der Arten bei unterschiedlicher Artanzahl pro Probepunkt aufzuzeigen, wurden Kreisdiagramme für die verschiedenen Situationen der Artanzahlen erstellt. Dabei wurden in Sagogn niedrige Artanzahlen pro Probepunkt wie Artanzahl eins und zwei, mittlere Artanzahlen von drei bis fünf sowie hohe Artanzahlen von sechs und sieben gruppiert. In den einzelnen Sektoren der Kreisdiagramme wurden aus Platzgründen und der Übersichtlichkeit Arten mit einem Vorkommen unter 5% nicht mehr mit einer Prozentzahl beschriftet.

Auf Probepunkten mit Artanzahl eins und zwei dominieren hauptsächlich die Moose mit 55% (Abb. 26). Daraufzufolge kommen *Oxalis acetosella* mit 17% und *Carex alba* mit 12% vor. Betrachtet man alle Arten dieser Gruppierung, so fällt auf, dass neben Moosen, *Carex alba* und *Carex flacca* hauptsächlich kleine, krautige Geophyten und mehrjährige Hemikryptophyten vorhanden sind. In Kombination mit den Zusammenhängen zwischen der Artanzahl und dem ISF bzw. der Openness geht folglich hervor, dass bei eher dunklen bzw. geschlossenen Verhältnissen auf der Versuchsfläche in Sagogn sehr viele Moose, *Oxalis acetosella* und *Carex alba* auftreten.

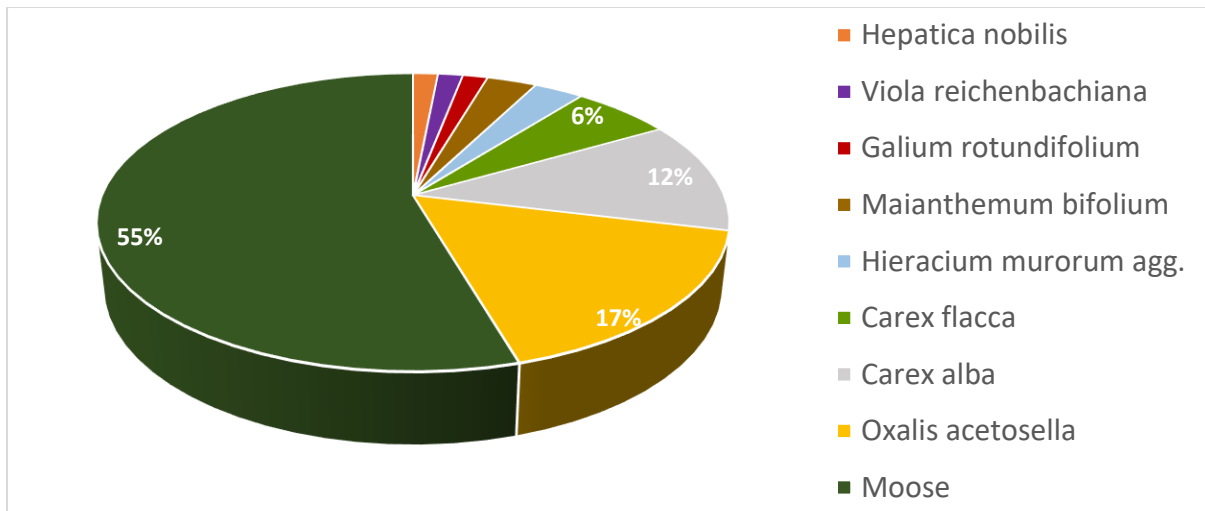


Abb. 25. Arten, welche auf Probepunkten mit der Artanzahl 1 & 2 in Sagogn GR vorkommen.

Bei der Darstellung der mittleren Artanzahlen von drei bis fünf (Abb. 26) fällt auf, dass im Vergleich zu den Probepunkten mit Artanzahlen eins und zwei eine grössere Diversität von Arten vorhanden ist. Auf diesen Probepunkten dominieren ähnlich wie bei Artanzahl eins und zwei (Abb. 26) die drei Arten Moose (26%), *Oxalis acetosella* (21%) und *Carex alba* (19%). Mit einem grösseren Sprung nach unten folgen *Carex flacca* mit 7% und *Maianthemum bifolium* mit 6%. Hier treten neu auch Arten auf, welche – mit Ausnahme der Moose und *Carex alba* – nicht der Gruppe der Krautvegetation angehören. So sind an Probepunkten mit drei bis fünf Arten mit *Bromus ramosus*, *Rubus saxatilis*, *Orthilia secunda* und *Vaccinium myrtillus* auch Arten aus anderen Vegetationskategorien vorhanden (in der Reihenfolge: *Poaceae*, Himbeerartige und Zwergsträucher).

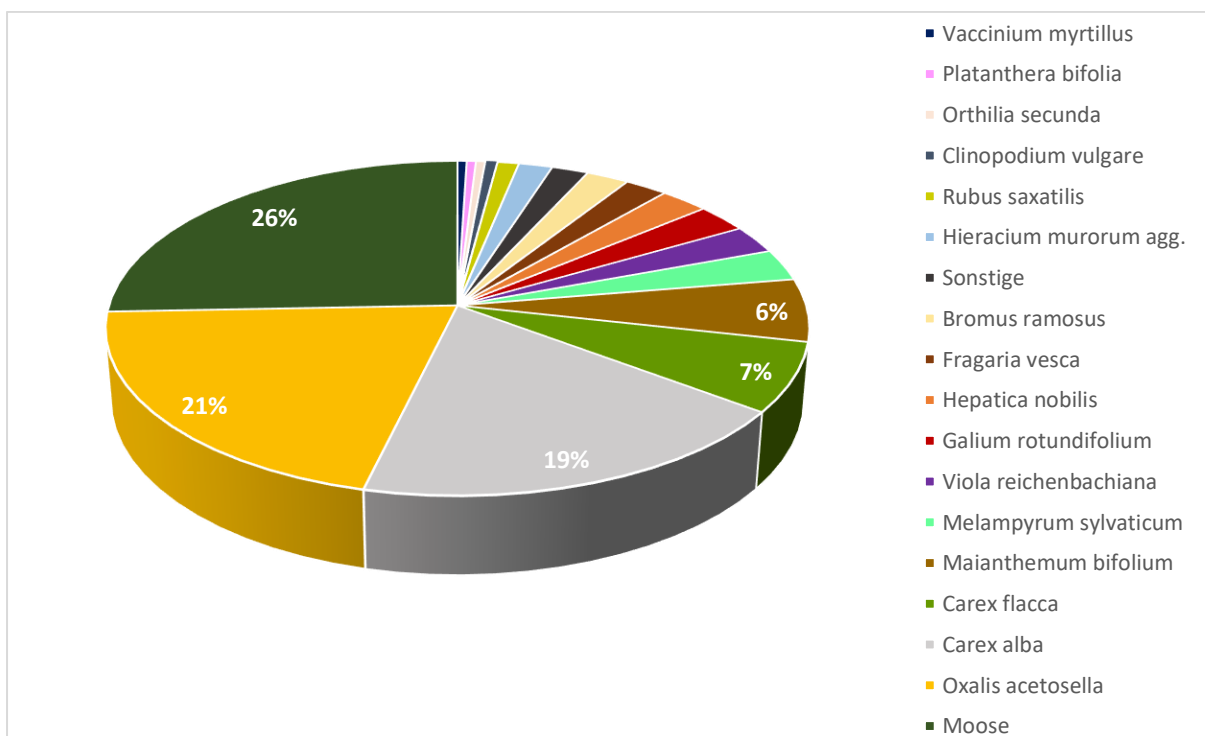


Abb. 26. Arten, welche auf Probepunkten mit der Artanzahl 3-5 mit einer Häufigkeit von mindestens 3 Individuen in Sagogn GR vorkommen. Alle weiteren, nur selten (<3 Individuen) vorkommenden Arten wurden in die Kategorie «Sonstige» zusammengefasst. Darunter fallen *Aquilegia v.*, *Tussilago f.*, *Knautia d.*, *Helianthemum n. subsp. G.*, *Pimpinella m.*, *Veronica c.*, *Ranunculus t.*, *Lathyrus v.* und *Paris q.*

Auf Probepunkten mit den Artanzahlen sechs oder sieben (Abb. 27) sieht die Verteilung der Arten etwas homogener aus als bei den tieferen Artanzahlen. Zwar sind auch hier die häufigsten Arten Moose mit 18%, *Oxalis acetosella* mit 17% und *Carex alba* mit 14%, doch der Sprung bis zur nächsthäufigsten Art auf diesen Probepunkten ist nicht so gross wie bei den Artanzahlen eins bis fünf. So treten hier vergleichsmässig oft Individuen von *Bromus ramosus* mit 8% auf. *Carex flacca* hat einen ähnlichen Anteil wie bei Probepunkten mit tieferen Artanzahlen. Allerdings sind neben den häufigsten Arten wie bei Artanzahl eins und zwei (Abb. 25) – im Gegensatz zu Artanzahl drei bis fünf (Abb. 27) – hauptsächlich krautige Arten vorhanden. Bei grösser Öffnung bzw. mehr indirekter Strahlung ist die Verteilung der Arten auf den Probepunkten tendenziell weniger heterogen als bei tieferen ISF- und Openness-Werten.

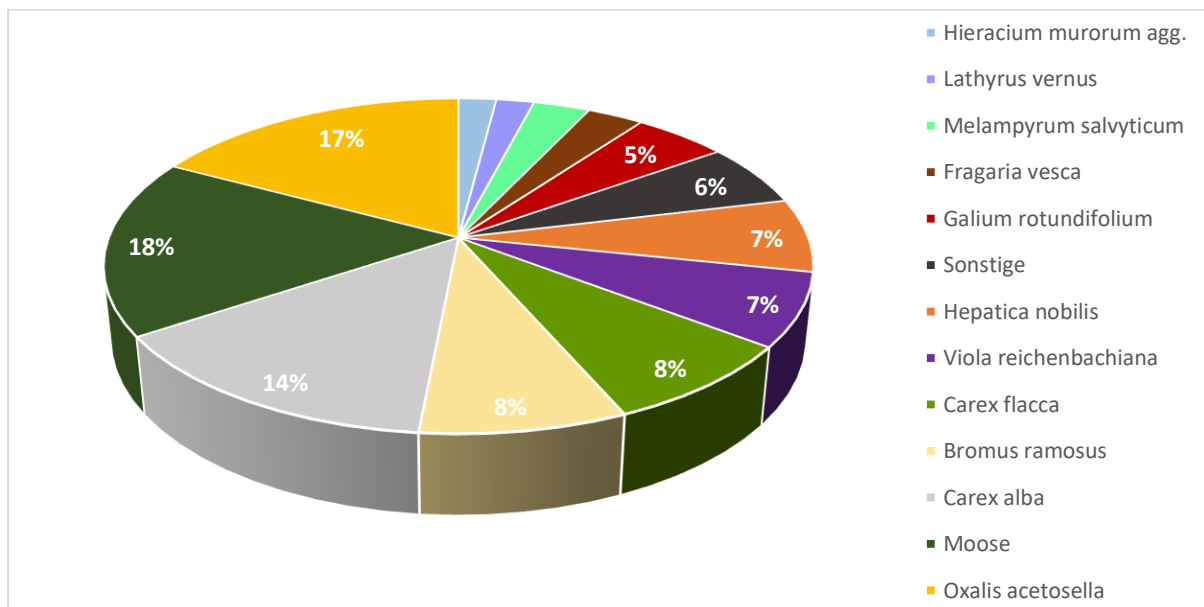


Abb. 27. Arten, welche auf Probepunkten mit der Artanzahl 6 & 7 mit einer Häufigkeit von mindestens 2 Individuen in Sagogn GR vorkommen. Alle weiteren, nur selten (<3 Individuen) vorkommenden Arten wurden in die Kategorie «Sonstige» zusammengefasst. Darunter fallen *Paris q.*, *Lactuca m.*, *Tussilago f.*, *Knautia d.*, *Veronica c.* und *Vaccinium m.*

Zusätzlich wurde der totale Bedeckungsgrad der Probepunkte in Abhängigkeit der drei verschiedenen Lichtparametern DSF, ISF und Openness gesetzt, um den Einfluss des Lichts auf das Vegetationswachstum am Waldboden zu untersuchen (Abb. 28). Dabei fällt auch auf, dass der Bedeckungsgrad auf den meisten Probepunkten über 100% steigt. Dies ist zu einem gewissen Grad auf den dichten Moosteppich zurückzuführen. Allerdings wurden die Bedeckungsgrade der Punkte wohl aufgrund der methodischen Herangehensweise überschätzt, da für die einzelnen Probepunkte die Bedeckungsgrade des Quadranten der Gesamtartenliste verwendet wurde. Es ist davon auszugehen, dass die Realität an einzelnen Probepunkten einen weniger hohen Bedeckungsgrad abbildet als in Abbildung 28 oder die Deckungsgrade vor allem auf verschiedene Schichten verteilt und somit einzelne Stellen des Bodens noch offen sind.

Dennoch ist in Abbildung 28 ein genereller Trend zu erkennen, dass der Bedeckungsgrad in Sagogn mit zunehmendem Lichtangebot steigt. Somit ist besonders zwischen dem ISF sowie der Openness und dem Bedeckungsgrad ein positiver Zusammenhang erkennbar. Mit einem R-Wert von 0.43 und einem p-Wert von 0.0012 konnte für die diffuse Strahlung eine signifikante positive Korrelation zum Deckungsgrad festgestellt werden. Auch die Openness korreliert mit einem R-Wert von 0.41 und

einem p-Wert von 0.0022 signifikant positiv zum Bedeckungsgrad der Probepunkte. Beim DSF konnte keine signifikante Korrelation gefunden werden.

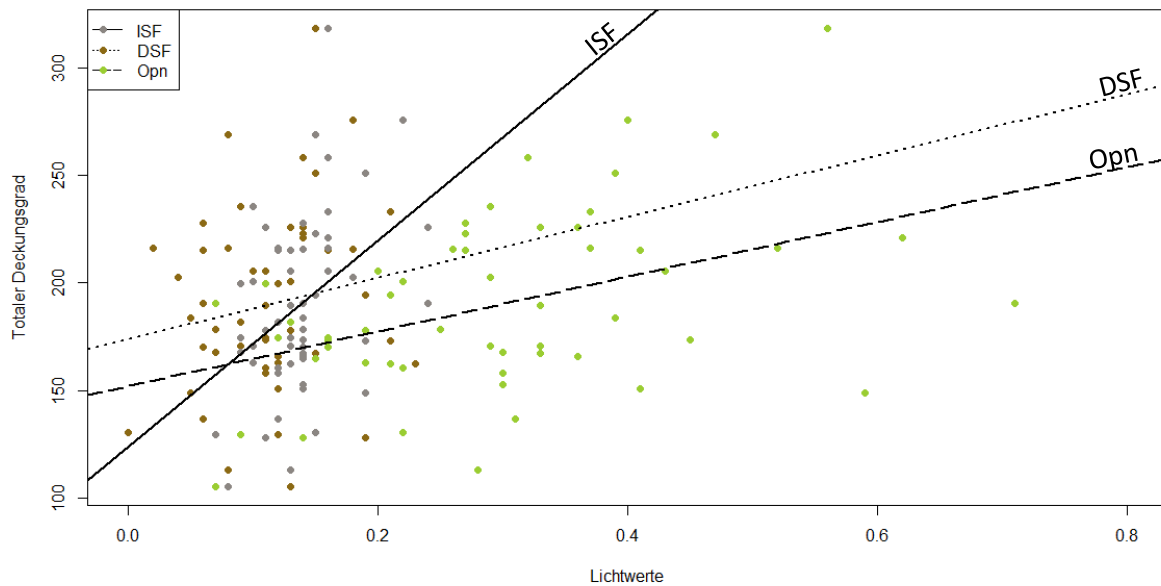


Abb. 28. Streudiagramm mit den aufsummierten Deckungsgraden von einzelnen Probepunkten (jeweils mit der Ausrichtung Nord und Ost, welche zum Quadranten der Gesamtartenliste gehörten) in Abhängigkeit der drei Lichtparameter DSF (=direkte Strahlung), ISF (=indirekte Strahlung) und Openness in Sagogn GR, wobei $n=54$ für jeden Lichtparameter. Die R-Werte lauten für DSF = 0.17, für ISF = 0.41 und für Openness = 0.43.

4.4.2 Lauterbrunnen

Auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen wurden während den punktuellen Vegetationsaufnahmen auf den einzelnen Probepunkten zwischen null und sechs Arten notiert. Die Mehrheit der Probepunkte hatte dabei zwischen einer und vier Arten. Nur selten wurden entweder keine oder fünf bis sechs Arten angetroffen. Auch für diese Versuchsfläche wurden die totalen Artanzahlen der einzelnen Probepunkte in Abhängigkeit zum Direct Site Factor, Indirect Site Factor und zur Openness aus den Lichtmessungen gesetzt. Damit sollten die Auswirkungen dieser drei Lichtparameter auf die Bodenvegetation untersucht werden.

Bei der Betrachtung des DSF (Abb. 29 links) fällt kein genereller Trend hinsichtlich einzelnen Artanzahlen bei spezifischen Werten der direkten Strahlung auf. So sind tiefe Werte der direkten Strahlung bei sehr hoher (= sechs) Artanzahl wie auch bei Abwesenheit von Pflanzen auf gewissen Probepunkten vorhanden. Dabei muss beachtet werden, dass solche Fälle mit total $n=4$ nur sehr selten auftreten. Auch bei häufigeren Artanzahlen scheint nicht zwingend ein höherer DSF-Mittelwert zu mehr Arten pro Plot zu führen. Mit einer Varianzanalyse konnte wie vermutet festgestellt werden, dass es zwischen den Artanzahlen keine signifikanten Unterschiede gibt. Ein etwas eindeutigeres Bild als der DSF zeichnet bei der Betrachtung von Abb. 29 der ISF im Zusammenhang mit der Artanzahl pro Probepunkt ab. Werden die oberen und unteren Grenzen der Artanzahl mit je lediglich zwei Observationen aus der Beobachtung ausgeschlossen, so scheinen die Artanzahlen bis und mit zur Artanzahl vier mit höherer diffuser Strahlung zu steigen. Eine Ausnahme bildet dabei die Artanzahl fünf, welche wieder bei etwas tieferer diffuser Strahlung (allerdings auch

nur mit zehn Observationen) vorkommt. Trotz dieser Beobachtung sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Artanzahlen und dem ISF nicht signifikant. Wie auch in Sagogn sind die Streuungen des ISF in Lauterbrunnen im Vergleich zum DSF kleiner.

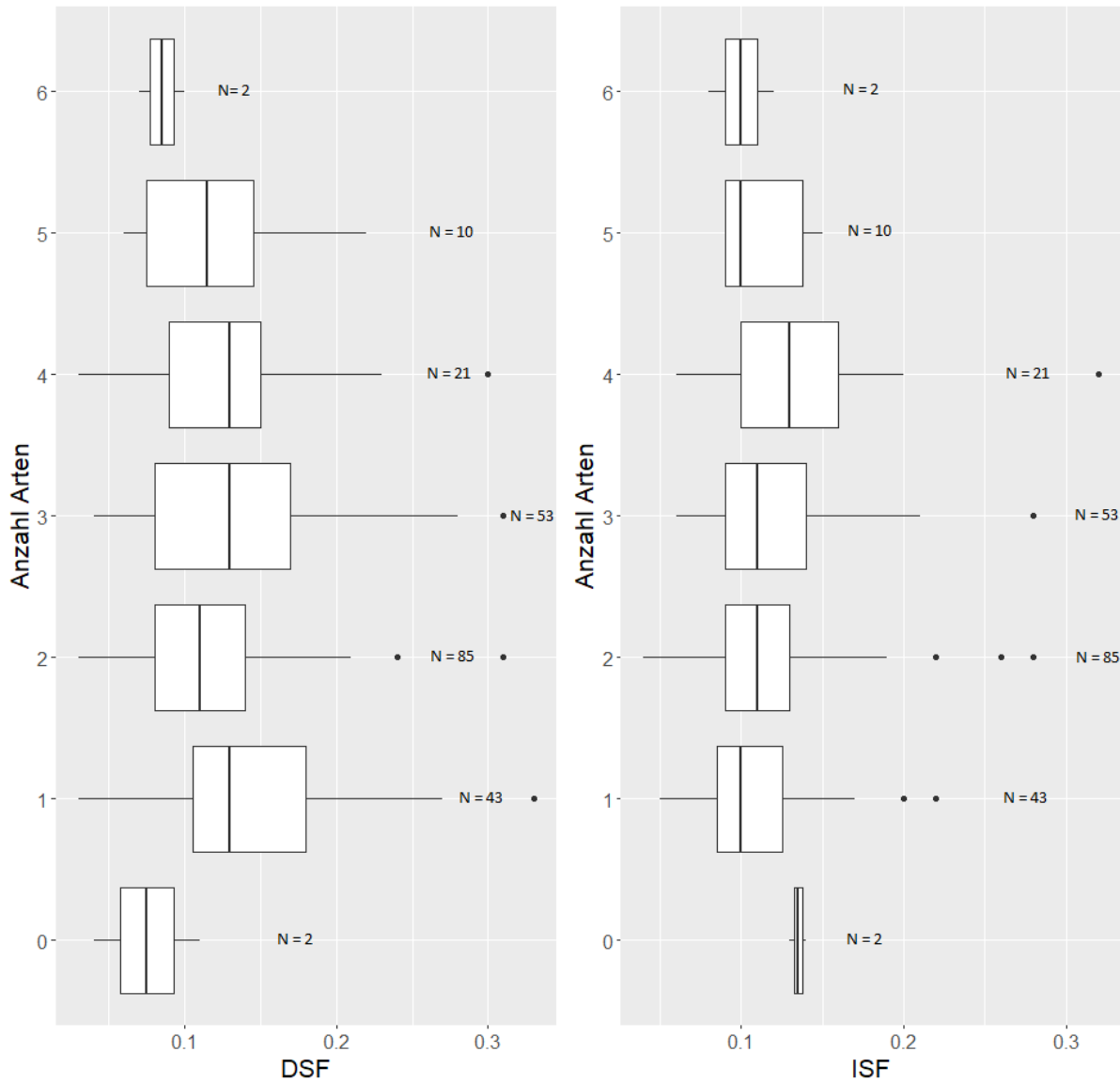


Abb. 29. Die Anzahl Arten pro Probepunkt (total N=216) im Verhältnis zu DSF (direkter Strahlung) und ISF (indirekter Strahlung) auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen BE.

Werden wieder nur die häufigsten Artanzahlen betrachtet bzw. Artanzahl null und sechs aufgrund mangelndem Datenumfang weggelassen, so bildet sich für den Parameter der Openness im Zusammenhang mit der Artanzahl (Abb. 30) ein ähnliches Bild wie beim ISF ab. So sind auch hier – mit der Ausnahme der Artanzahl fünf – mehr Arten pro Probepunkt bei grösseren Öffnungen zu finden. Kleinere Öffnungen führen eher zu wenigen Arten pro Punkt, wie anhand der Artanzahl eins mit dem tiefsten Openness-Mittelwert zu sehen ist. Der grösste und deutlichste Unterschied herrscht zwischen den Artanzahl eins und vier, wobei dieser Unterschied mittels einer einfaktoriellem Varianzanalyse sowie einem Tukey post-hoc Test mit einem p-Wert von 0.029 als signifikant identifiziert werden konnte.

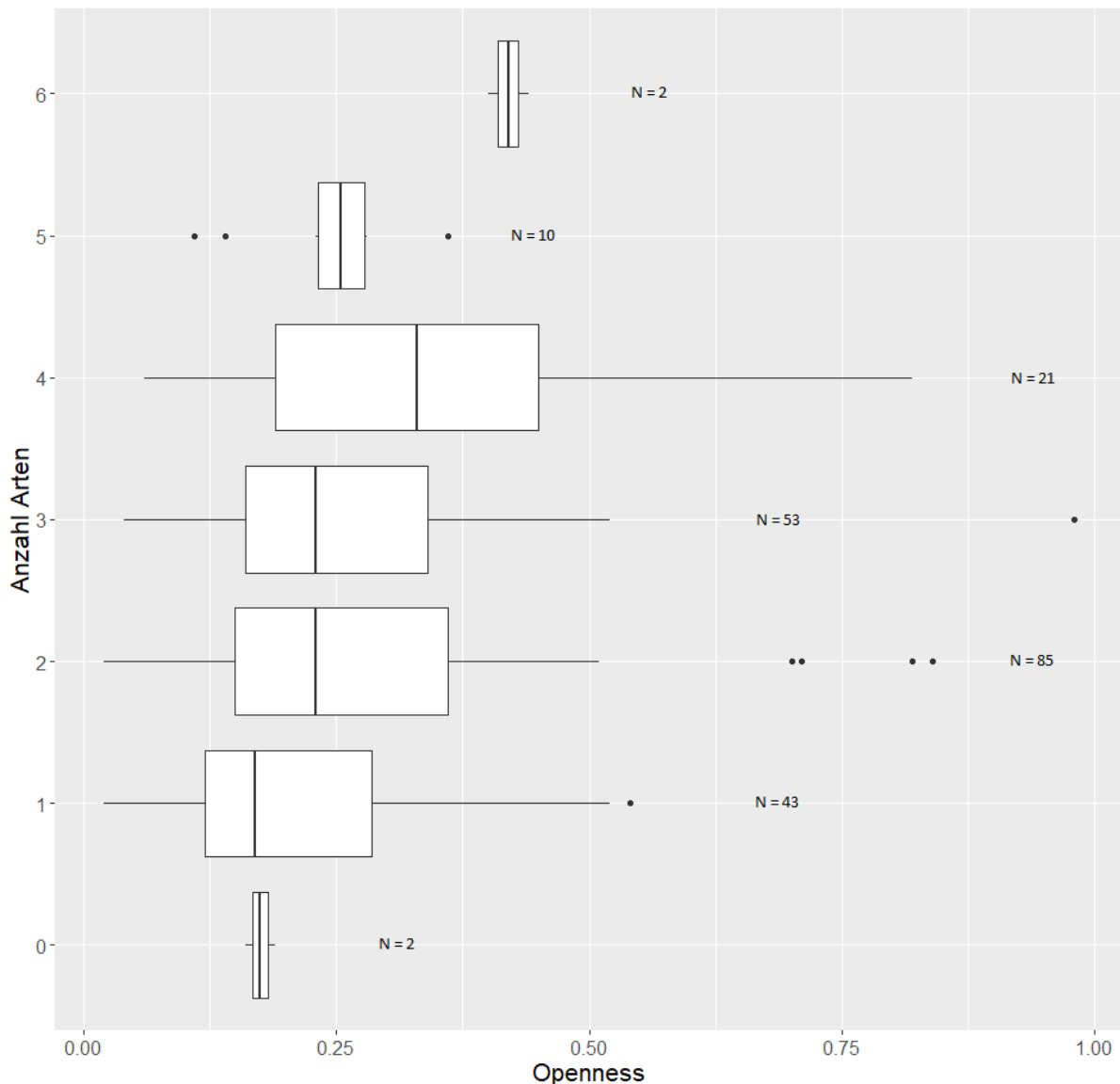


Abb. 30. Die Anzahl Arten pro Probepunkt (total N=216) im Verhältnis zur Openness auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen BE.

Um die Artenzusammensetzung bei Probepunkten mit unterschiedlicher Artanzahl illustrieren zu können, wurden Kreisdiagramme für die verschiedenen gruppierten Szenarien der Artanzahlen erstellt. Dabei wurden in Lauterbrunnen die Artanzahl eins, mittlere Artanzahlen von zwei bis vier sowie hohe Artanzahlen von fünf und sechs gruppiert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Leserlichkeit wurden in den einzelnen Sektoren Arten mit einem Vorkommen unter 5% nicht mehr mit einer Prozentzahl beschriftet.

Auf den Probepunkten mit nur einer Art waren hauptsächlich Moose vorhanden (Abb. 31), die auf 81% der entsprechenden Probepunkten vorkamen. Mit jeweils nur 4% der Probeflächen traten *Oxalis acetosella*, *Luzula sylvatica*, *Vaccinium myrtillus* und *Hieracium murorum agg.* auf. Auf einer einzelnen Probefläche war *Vaccinium vitis-idaea* als alleinstehende Art vorhanden. In Kombination mit den Zusammenhängen zwischen der Artanzahl und dem ISF (Abb. 29) bzw. der Openness (Abb. 30) fällt auf, dass bei dunklen Verhältnissen und geschlossenen bzw. fehlenden Lücken auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen die Moose dominieren.

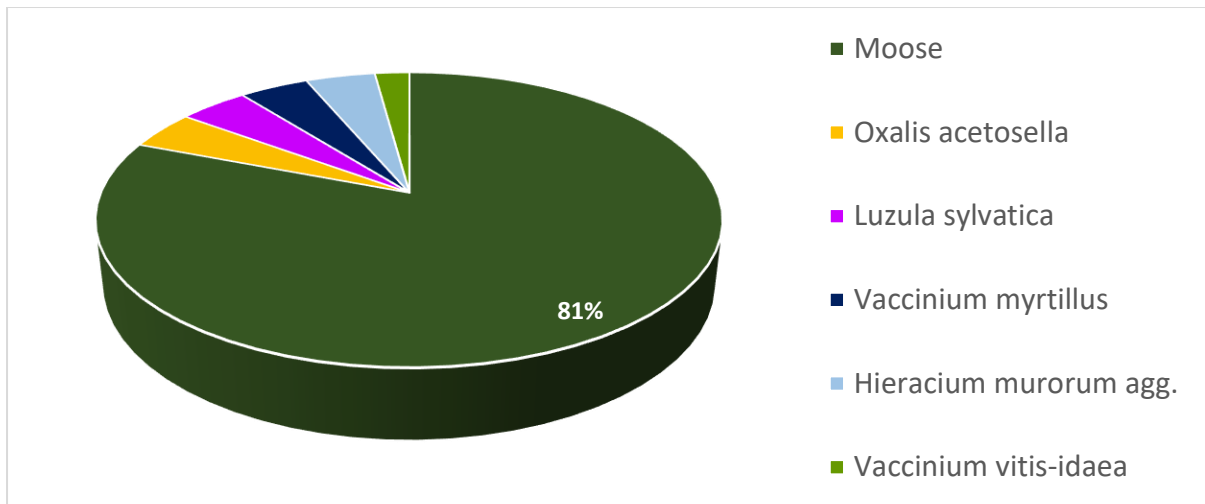


Abb. 31. Arten, welche auf Probepunkten mit der Artanzahl 1 in Lauterbrunnen BE vorkommen.

Bei der Darstellung der mittleren Artanzahlen von zwei bis vier Arten pro Probepunkt (Abb. 32) fällt auf, dass eine viel grössere Auswahl an Arten vorkommt. Auf diesen Probepunkten kommen die Moose mit 36% immer noch am häufigsten vor, doch auch *Vaccinium myrtillus* (16%) und *Oxalis acetosella* (15%) treten vergleichsweise oft auf. Mit einem kleinen Abstand folgen die Arten *Luzula sylvatica* (6%), *Melampyrum sylvaticum* (5%) und *Hieracium murorum agg.* (5%). Hier treten mit *Avenella flexuosa*, *Blechnum spicant*, *Petasites albus* und *Epipactis helleborine* neben der Krautvegetation auch Vertreter der Farne, *Poaceae* und grossen Krautarten auf.

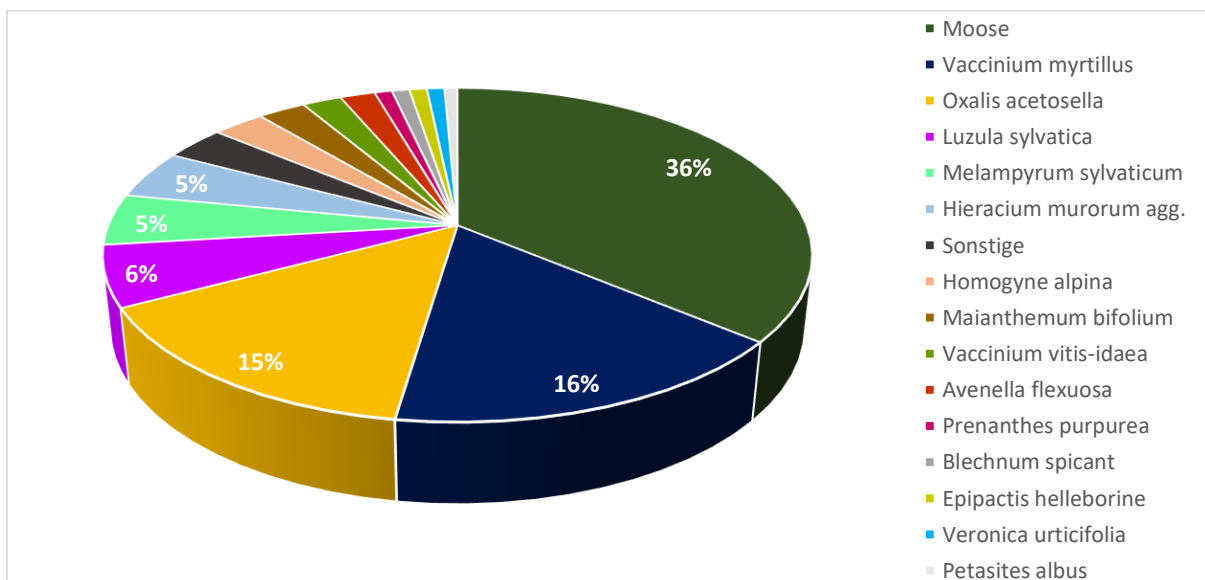


Abb. 32. Arten, welche auf Probepunkten mit der Artanzahl 2-4 mit einer Häufigkeit von mindestens 3 Individuen in Lauterbrunnen BE vorkommen. Alle weiteren, nur selten (<3 Individuen) vorkommenden Arten wurden in die Kategorie «Sonstige» zusammengefasst. Darunter fallen *Linnea b.*, *Campanula r.*, *Galeobdolon l.*, *Knautia d.*, *Polygonatum v.*, *Cicerbita a.*, *Dryopteris f.*, *Fragaria v.* und *Oreopteris l.*

Auf Probepunkten mit der Artanzahl fünf oder sechs (Abb. 33) sind die Moose mit 18% immer noch die häufigste Art, doch die allgemeine Verteilung zwischen den Arten wird etwas homogener als bei Probepunkten mit tieferen Artanzahlen. Darauf folgend sind *Oxalis acetosella* (14%) mit einem ähnlichen Anteil wie bei Artanzahl 2-4, *Hieracium murorum agg.* (12%), *Vaccinium myrtillus* (11%), *Maianthemum bifolium* (8%) und *Luzula sylvatica* (8%). Auf wenigen Probepunkten mit der Artanzahl

fünf oder sechs treten auch weitere Arten aus den Vegetationskategorien der Zwergsträucher, Arten der Hochstauden, der Farne sowie der *Poaceae* auf. Bei grösseren Öffnungen bzw. bei mehr diffuser Strahlung ist die Verteilung der Arten auf den Probepunkten tendenziell weniger heterogen als bei tieferen ISF- und Openness-Werten. Somit ist ebenfalls die Diversität ausgeglichener als bei den Probepunkten mit tieferen ISF-/Openness-Werten bzw. weniger Artanzahlen.

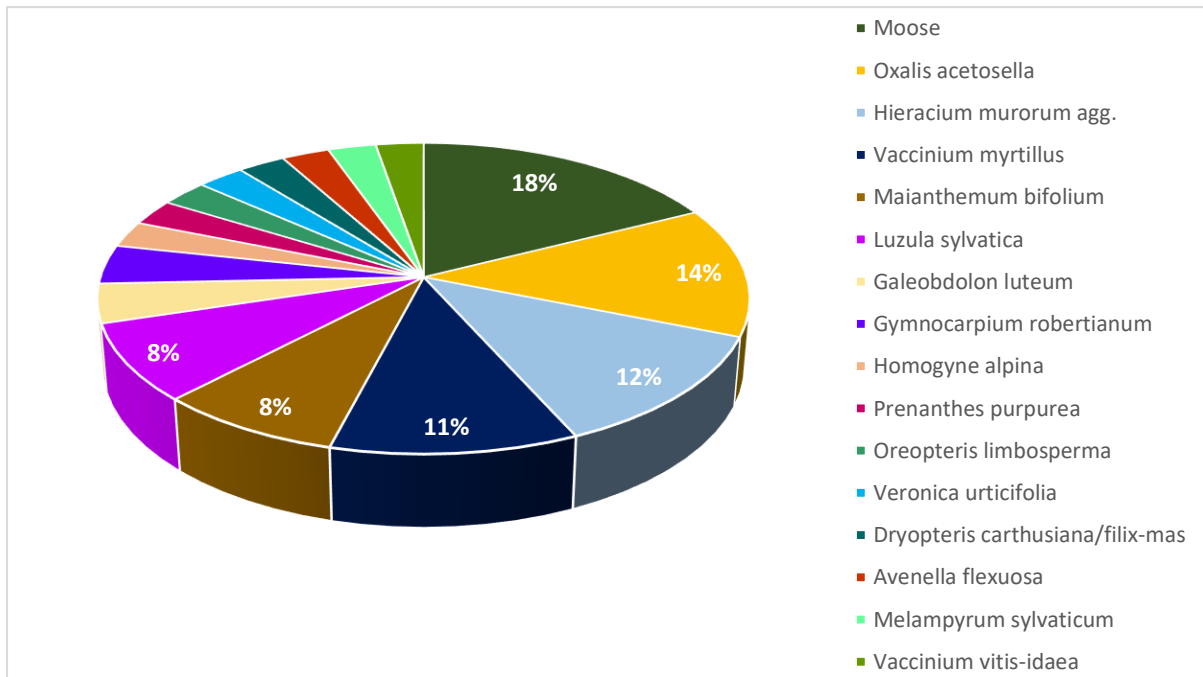


Abb. 33. Arten, welche auf Probepunkten mit der Artanzahl 5 & 6 in Lauterbrunnen BE vorkommen.

Die Bedeckungsgrade der Probepunkte in Abhängigkeit von den Lichtfaktoren DSF, ISF und Openness wurden für Lauterbrunnen in Abbildung 34 dargestellt. Dabei liegen die totalen Bedeckungsgrade der Probepunkte zwischen 0 und 190%. Hohe Bedeckungsgrade sind teilweise auf den fast kontinuierlich dichten Moosteppich zurückzuführen. Ein Trend zwischen steigenden Lichtparametern und höheren Deckungsgraden ist auch in Lauterbrunnen zu erkennen, wenn auch nicht besonders stark. So ergaben die R-Werte für DSF (0.18), ISF (0.22) und Openness (0.2) nur geringe Korrelationen, welche mit p-Werten über 0.1 auch nicht signifikant sind.

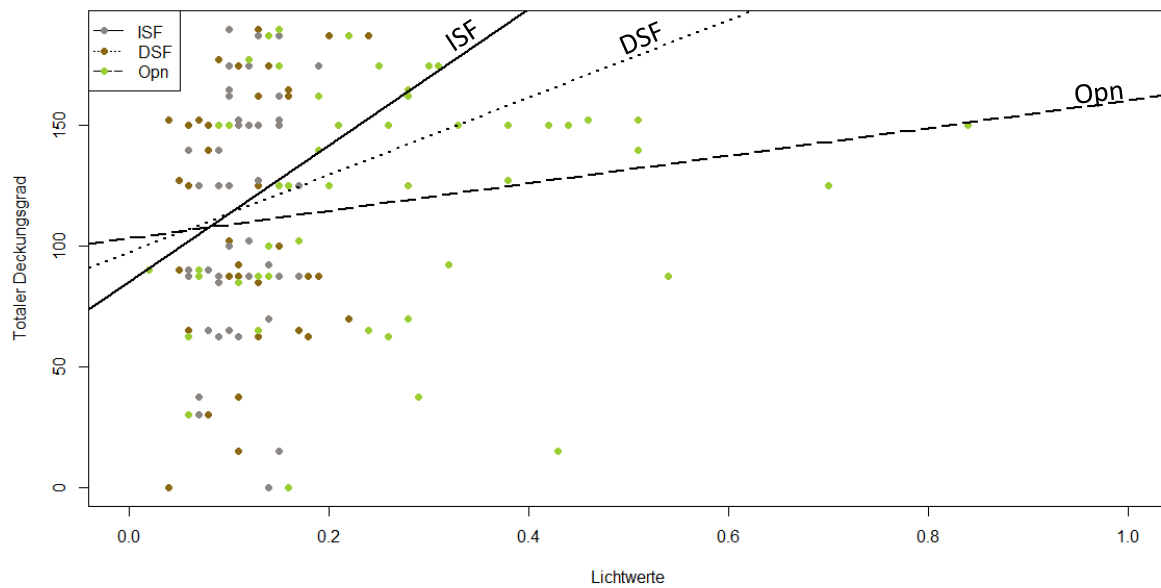


Abb. 34. Streudiagramm mit den aufsummierten Deckungsgraden von einzelnen Probepunkten (jeweils mit der Ausrichtung Nord und Ost, welche zum Quadranten der Gesamtartenliste gehörten) in Abhängigkeit der drei Lichtparameter DSF (=direkte Strahlung), ISF (=indirekte Strahlung) und Openness in Lauterbrunnen BE, wobei $n=54$ für jeden Lichtparameter. Die R-Werte lauten für DSF = 0.18, für ISF = 0.22 und für Openness = 0.2.

4.5 Beziehung zwischen Artanzahl und Vegetationshöhe

Um den Zusammenhang der Artanzahl pro Probepunkt sowie der Vegetationshöhe in den Versuchsflächen besser zu verstehen, wurden die einzelnen Arten mit ihrem Vorkommen in den fünf verschiedenen Höhenstufen sowie der gesamte Artanzahl pro Höhenstufe in kombinierten Diagrammen dargestellt. Dabei wurden die mittleren Artenanzahlen von drei bis fünf (Sagogn) bzw. zwei bis vier (Lauterbrunnen) in einer separaten Graphik illustriert.

4.5.1 Sagogn

Bei der Betrachtung von Abb. 35 fällt auf den ersten Blick auf, dass sich die Probepunkte mit Artanzahl eins und zwei bezüglich ihrer artenreichsten Höhenstufe von Probepunkten mit Artanzahl sechs und sieben unterscheiden. So sind bei einer tiefen Artanzahl die meisten Arten in der Höhenstufe 2 (= 6-10 cm) vorhanden. In den Höhenstufen 1 (= 0-5 cm) und 3 (= 11-20 cm) treten in der gesamten Versuchsfläche gleich viele Arten auf, während die Höhenstufen 4 (= 21-40 cm) und 5 (= >41 cm) praktisch nicht vertreten sind. Im Gegensatz dazu ist die artenreichste Schicht bei Probepunkten mit der höchsten Artanzahl die Höhenstufe 3. Bei der höchsten Artanzahl sind dennoch eine grosse Anzahl Arten in der tiefsten Höhenstufe vorhanden. Somit sind Probepunkte mit grosser Artanzahl im Vergleich eher zweischichtig. In Verbindung mit den Werten der Lichtparameter ISF und Openness lässt sich daraus schliessen, dass sich bei grösseren Öffnungen und mehr diffuser Strahlung komplexere Systeme bilden. Dabei wird die Diversität in höhere Schichten verlagert, wie aufgrund der hohen Artanzahl in der Höhenstufe 3 beobachtet werden kann. Sowohl bei Artanzahl eins und zwei als auch bei sechs und sieben sind die Moose die häufigste Art in der untersten Höhenstufe (Abb. 35). Der Unterschied zu den restlichen Arten bei kleinerer Artanzahl pro Probepunkt ist dabei bedeutend grösser. *Oxalis acetosella* kommt in der Höhenstufe 1 bei beiden Artanzahl-Gruppen etwa gleich oft vor, wobei *Maianthemum bifolium* bei höherer Artanzahl durch *Bromus ramosus* ausgewechselt wird. *Carex flacca* ist sowohl bei tiefen wie auch bei hohen Artanzahlen erst in der Höhenstufe 3 präsent.

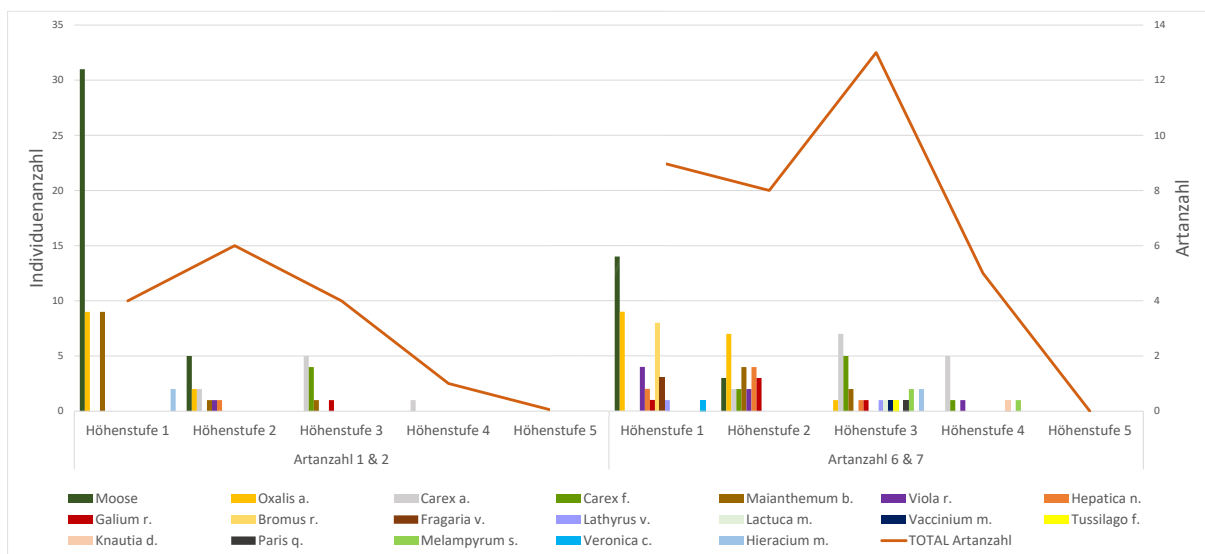


Abb. 35. Vorkommen verschiedener Arten und deren Individuenanzahl in den Höhenstufen ((1 = 0-5cm, 2 = 6-10cm, 3 = 11-20cm, 4 = 21-40cm, 5 = >40cm) sowie die totale Artanzahl pro Höhenstufe (illustriert als rote Linie) auf den Probepunkten mit Artanzahl 1 & 2 bzw. 6 & 7 in Sagogn GR.

Die Probestellen mit einer Artenzahl von drei bis fünf haben in der Höhenstufe 2 die grösste Anzahl Arten (Abb. 36). In den Höhenstufen 1 und 3 treten gesamthaft vergleichbar viele Arten auf, während auch hier die Höhenstufen 4 und 5 nur spärlich vertreten sind. Auch hier sind die Moose die häufigste Art in der tiefsten Höhenstufe. *Oxalis acetosella* kommt dabei – vergleichbar mit der Situation bei hoher Artenzahl – etwa gleich oft in der Höhenstufe 1 und 2 auf. Die dominanteste Art in der Höhenstufe 3 bei mittlerer Artenzahl ist *Carex alba*, welche dort mindestens dreimal so viele Individuen wie die restlichen Arten in dieser Höhenstufe besitzt.

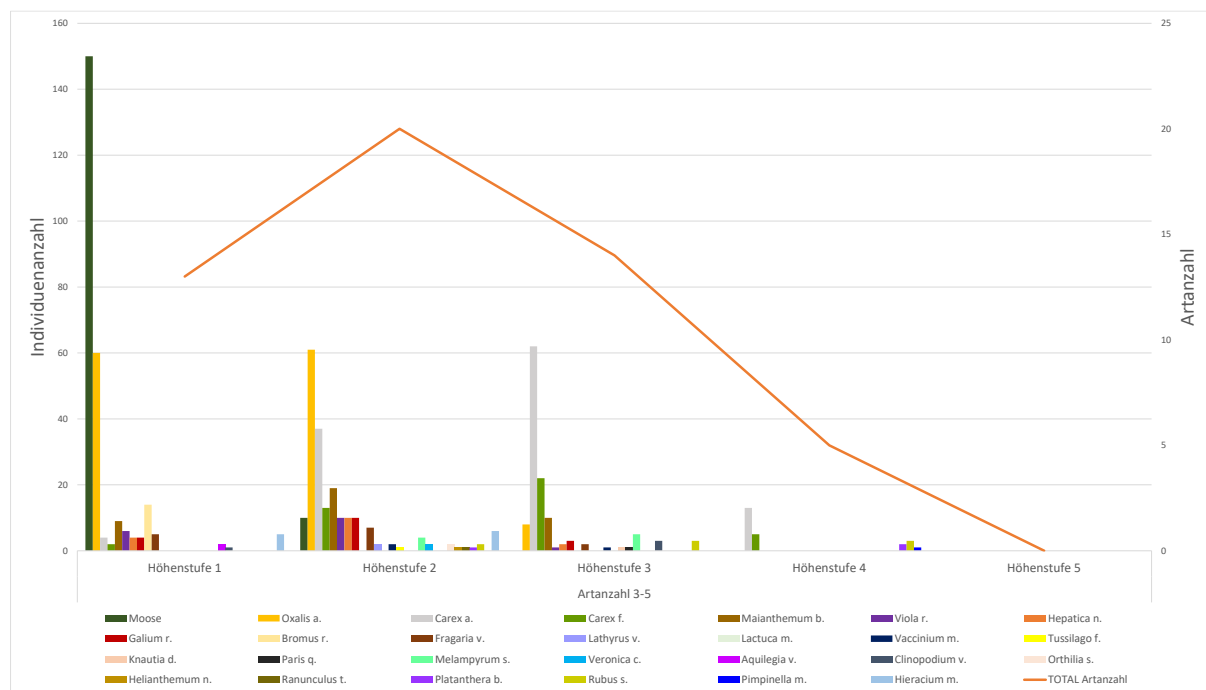


Abb. 36. Vorkommen verschiedener Arten und deren Individuenanzahl in den Höhenstufen ((1 = 0-5cm, 2 = 6-10cm, 3 = 11-20cm, 4 = 21-40cm, 5 = >40cm) sowie die totale Artenzahl pro Höhenstufe (illustriert als rote Linie) auf den Probestellen mit Artenzahl 3-5 in Sagogn GR.

4.5.2 Lauterbrunnen

Aus Abb. 37 wird ersichtlich, dass die artenreichste Schicht bei Probestellen mit Artenzahl eins im Vergleich zu den Probestellen mit Artenzahl fünf oder sechs tiefer liegt. So ist bei einer tiefen Artenzahl pro Probestelle die höchste Artenzahl auf der gesamten Versuchsfläche auf der Höhenstufe 3. Die dominierende Vegetation sind dennoch die Moose, welche vorwiegend in der Höhenstufe 1 und mit einer halb so grossen Individuenzahl in der zweitiefsten Schicht auftreten. Dabei kommen wenige Individuen von *Oxalis acetosella*, *Luzula sylvatica* und *Hieracium murorum agg.* vor, welche in den Höhenstufen 1 oder 3 anzutreffen sind. Im Kontrast dazu ist die Höhenstufe 3 die artenreichste Schicht bei hoher Artenzahl. Auch die Höhenstufen 1 und 3 sind hier vergleichsweise artenreich, während die Höhenstufen 4 und 5 nur spärlich vertreten sind. Eine deutliche Zweischichtigkeit bei grosser Artenzahl pro Probestelle kann hier also nicht beobachtet werden. Allerdings werden durch grössere Öffnungen bzw. höherer indirekter Strahlung (Abb. 29 & 30) eine vielfältige Kombination von Arten gefördert. So sind in den artenreichen Höhenstufen 1-3 Moose, *Oxalis acetosella*, *Hieracium murorum agg.*, *Homogyne alpina*, *Vaccinium myrtillus*, *Dryopteris filix-mas*, *Maianthemum bifolium*, *Luzula sylvatica*, *Avenella flexuosa*, *Galeobdolon luteum* und *Melampyrum sylvaticum* vorhanden. Durch diese Vielfältigkeit in den tieferen Schichten

zwischen 0-20 cm entsteht in Lauterbrunnen bei grösseren Baumkronenlücken und/oder höherer indirekter Strahlung ein dichter Pflanzenteppich.

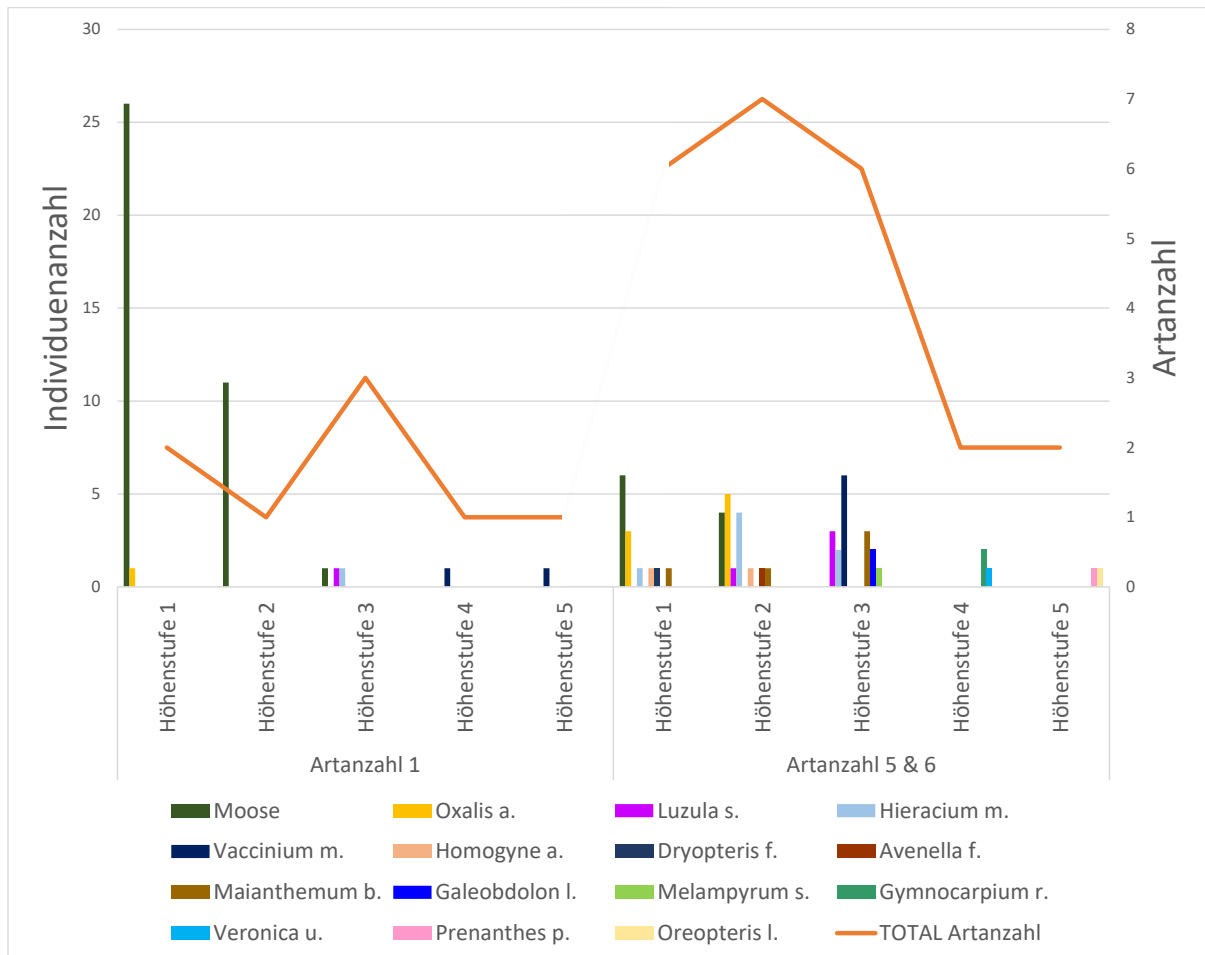


Abb. 37. Vorkommen verschiedener Arten und deren Individuenanzahl in den Höhenstufen ((1 = 0-5cm, 2 = 6-10cm, 3 = 11-20cm, 4 = 21-40cm, 5 = >40cm) sowie die totale Artanzahl pro Höhenstufe (illustriert als rote Linie) auf den Probestellen mit Artanzahl 1 bzw. 5 & 6 in Lauterbrunnen BE.

Die Probestellen mit einer Artanzahl von zwei bis vier sind in der Höhenstufe 2 am artenreichsten (Abb. 38). In den Höhenstufen 3 und 4 treten ähnlich viele Arten auf, gefolgt von der Höhenstufe 1. Die artenärmste Schicht ist die Höhenstufe 5. Auch hier sind die Moose die häufigste Art in der tiefsten Höhenstufe, wobei auch *Oxalis acetosella* öfters als die restlichen Arten vertreten ist. Auffällig ist hier auch *Vaccinium myrtillus*, welche in der Höhenstufen 3 mindestens doppelt so viele und in der Höhenstufe 4 mindestens 6-mal so viele Individuen wie die restlichen Arten vorzuweisen hat.

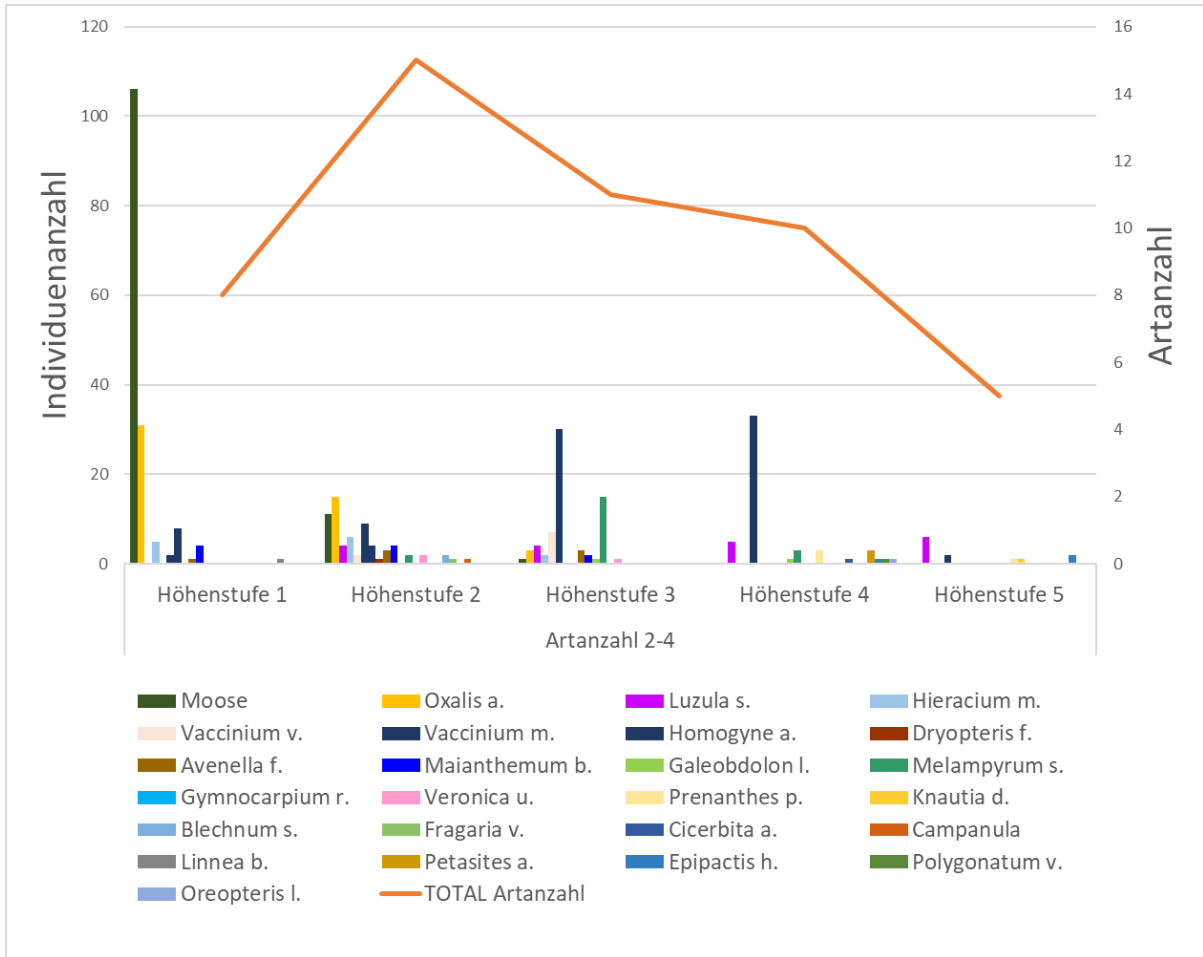


Abb. 38. Vorkommen verschiedener Arten und deren Individuenanzahl in den Höhenstufen ((1 = 0-5cm, 2 = 6-10cm, 3 = 11-20cm, 4 = 21-40cm, 5 = >40cm) sowie die totale Artanzahl pro Höhenstufe (illustriert als rote Linie) auf den Probepunkten mit Artanzahl 2 - 4 in Lauterbrunnen BE.

4.6 Beziehung zwischen Boden-pH und der Bodenvegetation

Um die Auswirkungen des Boden-pH in verschiedenen Bodentiefen auf das Wachstum bzw. auf die Diversität der Bodenvegetation zu untersuchen, wurde die totale Artanzahl für jeden Probepunkt in Abhängigkeit zu den gemessenen pH-Werten in den Bodentiefen 0-10 cm sowie -11-20 cm gesetzt.

4.6.1 Sagogn

Aus Abbildung 39 geht hervor, dass die Mittelwerte des pH in der oberen Messtiefe von 0-10cm sowie in der unteren Messtiefe von -11-20 cm bei den häufigsten Artanzahlen zwei bis fünf nahe beieinander liegen. So sind sogar bei allen Artanzahlen die pH-Mittelwerte in der oberen Messtiefe zwischen 6 und 7, was einen gemittelt hauptsächlich neutralen bis alkalischen Boden bei allen Artanzahlen bedeutet. Auch in grösserer Bodentiefe von -11-20 cm bewegen sich die Mittelwerte aller Artanzahlen im pH-Bereich zwischen 6 und 7. Mit einer Varianzanalyse wird diese Beobachtung für beide Messtiefen bestätigt, da keine signifikanten Unterschiede gefunden werden konnten.

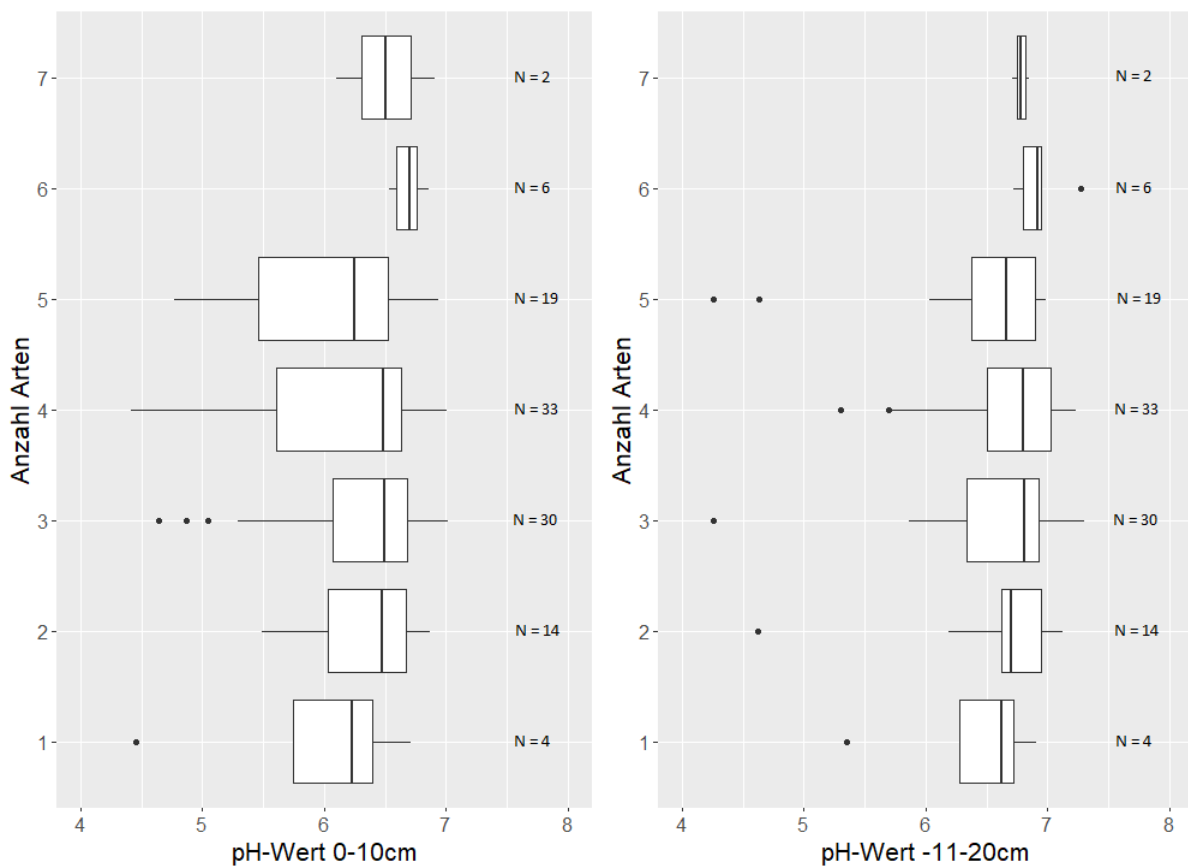


Abb. 39. pH-Werte in der Tiefe -10-0cm sowie -11-20cm im Verhältnis zu den Anzahl Arten pro Probepunkt in Sagogn GR.

Ein ähnliches Bild zeichnet sich bei der vereinfachten Darstellung mithilfe der Säuregrade ab (Abb. 40). So ist in Sagogn in beiden Messtiefen bei allen auftretenden Säuregraden die durchschnittliche Artanzahl bei vier Arten pro Probepunkt. Eine Ausnahme bildet E4, welche jedoch nur mit einer Observation vertreten ist und deshalb keine Aussagekraft besitzt. Somit besteht in Sagogn keine Indikation dafür, dass der Boden-pH die Artenanzahl beeinflusst und kann deshalb nicht als treibender Faktor von Anzahl Arten auf einem Probepunkt gesehen werden.

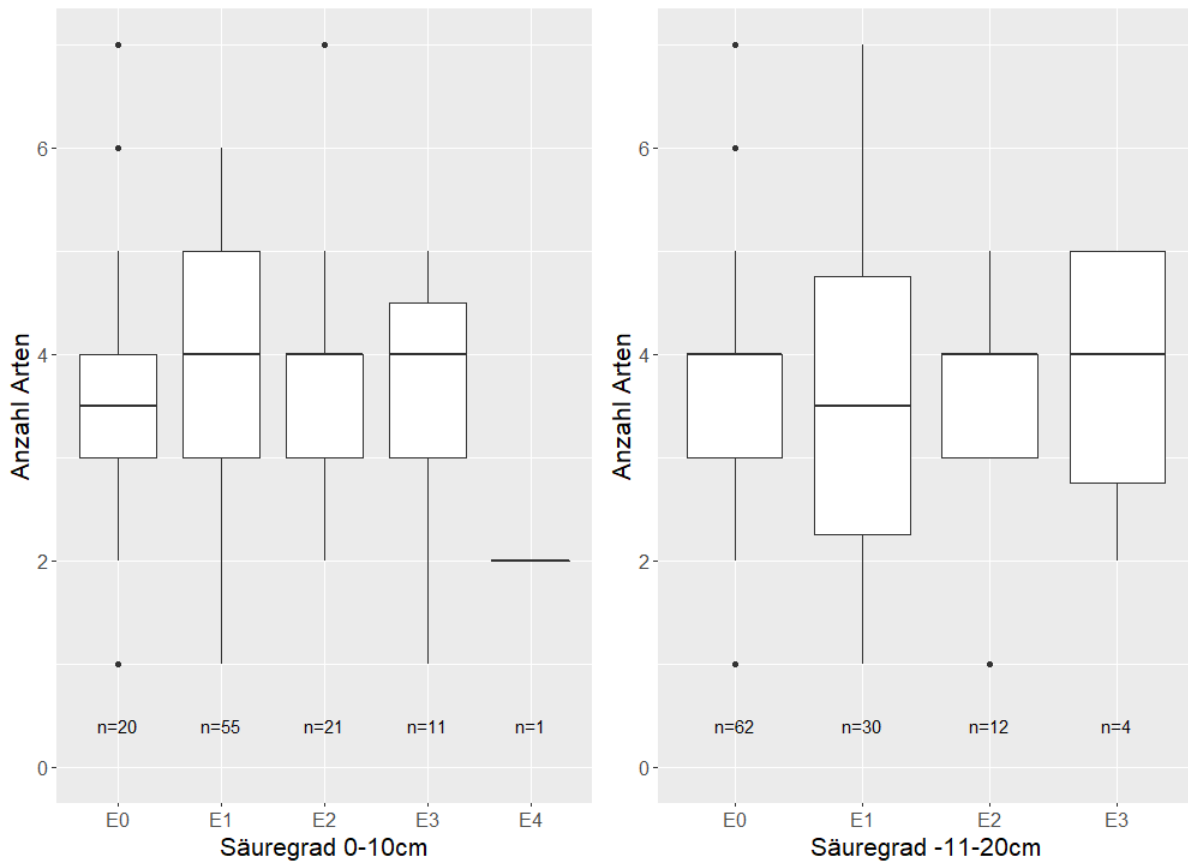


Abb. 40. Säuregrade der Probepunkte in den Tiefen 0-10cm sowie -11-20cm im Verhältnis zu der Anzahl Arten in Sagogn GR, wobei E0=alkalisch, E1=neutral, E2=schwach sauer, E3=sauer, E4=stark sauer (Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, BGS 2010).

In Abbildung 41 sind die Anteile der häufigsten Arten bei verschiedenen Säuregraden und in den zwei Messtiefen pro Probepunkt dargestellt. Nicht abgebildet wurde der Säuregrad E4 (=sehr sauer), da mit zwei Observationsen keine repräsentative Anzahl Daten vorhanden war. Allgemein ist ersichtlich, dass mit der Ausnahme vom Säuregrad bei der Messtiefe von -11-20 cm die Moose dominieren. Dabei sind die drei häufigsten Arten bei allen Säuregraden *Moose*, *Oxalis acetosella* und *Carex alba*. Diese drei Arten machen jeweils mehr als die Hälfte der Artenanteile aus, was gesamthaft ein ähnliches Bild abzeichnet. Kleinere Unterschiede sind bei den weniger häufigen Arten pro Säuregrad und Messtiefe zu sehen. So machen bei Probepunkten mit dem Säuregrad E3 (=sauer) *Galium rotundifolium* und *Hieracium murorum agg.* einen grösseren Anteil aus als bei den restlichen Säuregraden und Bodentiefen. Einzig bei einem Säuregrad von E2 (= schwach sauer) und einer grösseren Messtiefe kommen *Maianthemum bifolium* und *Carex flacca* etwas weniger häufig vor als bei den übrigen Säuregraden. Dennoch ist die Verteilung der häufigsten Arten sowohl in den beiden Messtiefen als auch bei verschiedenen Säuregraden grösstenteils vergleichbar. Eine andere Pflanzengemeinschaft bei einzelnen Säuregraden scheint nicht vorzuherrschen, da die grössten Gruppen bzw. Arten über die gesamte Bandbreite von Säuregraden des Bodens verteilt sind.

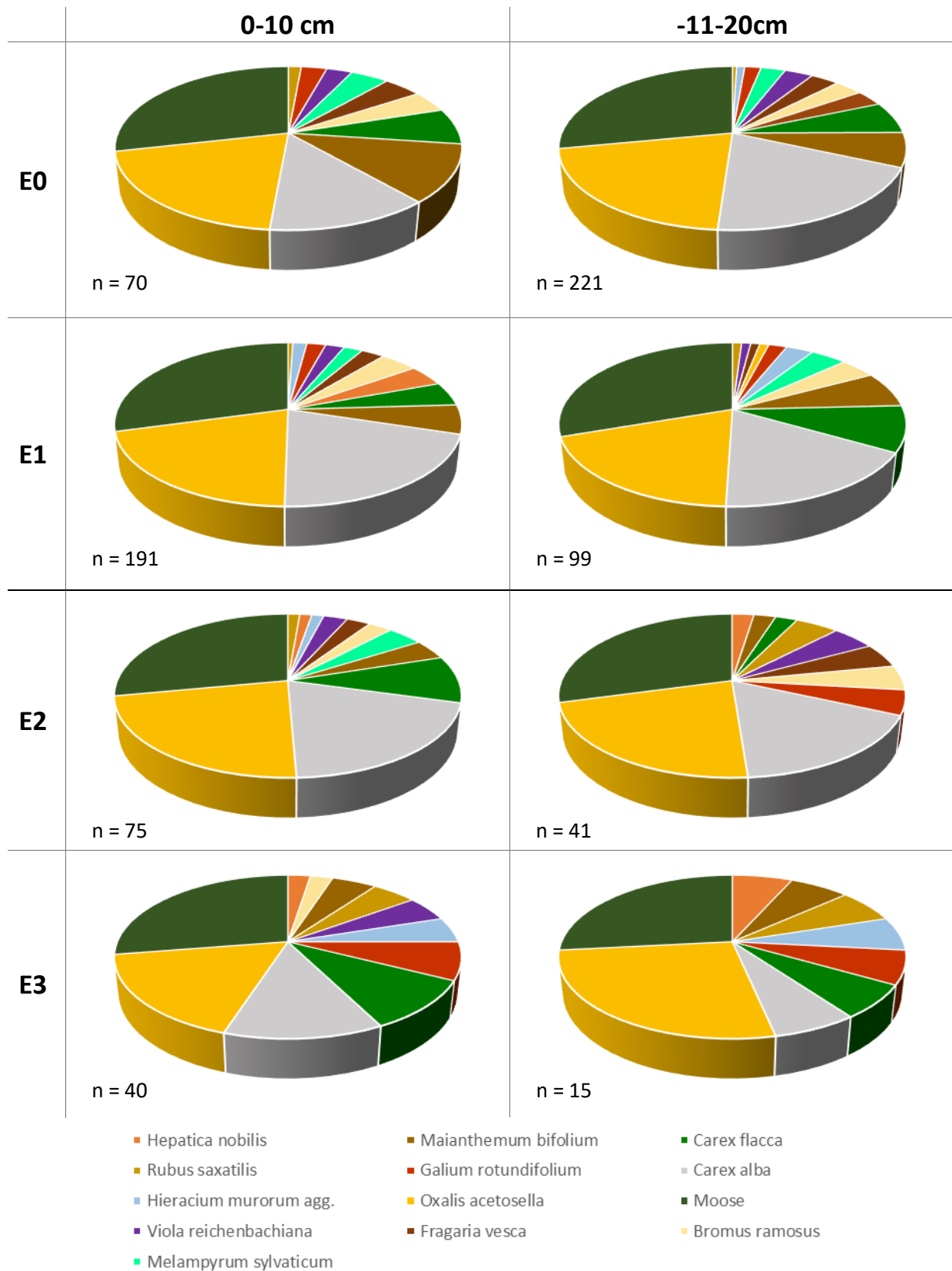


Abb. 41. Anteil der häufigsten Arten bei Probestellen (total n=108) mit den Säuregraden E0 (=alkalisch), E1 (=neutral), E2 (=schwach sauer), E3 (=sauer) in den Messtiefen 0-10cm und -11-20cm in Sagogn GR.

4.6.2 Lauterbrunnen

Aus Abbildung 42 geht hervor, dass die Mittelwerte des Boden-pH in der kleineren Messtiefe von 0-10cm sowie in der grösseren Messtiefe von -11-20 cm bei allen Artanzahlen nahe beieinander liegen. Ausnahmen sind die Artanzahlen sechs und null, welche aber aufgrund je nur einer Observation keine repräsentative Datenmenge abbilden. So sind sogar bei allen Artanzahlen die pH-Mittelwerte in der oberen Messtiefe zwischen 3 und 4. Gemittelt bedeutet dies, dass alle Artanzahlen auf hauptsächlich sehr saurem Boden vorzufinden sind. Auch in grösserer Bodentiefe von -11-20 cm bewegen sich die Mittelwerte aller Artanzahlen im pH-Bereich zwischen 3 und 4. Mit einer Varianzanalyse wird auch in Lauterbrunnen diese Beobachtung für beide Messtiefen bestätigt, da keine signifikanten Unterschiede auftreten.

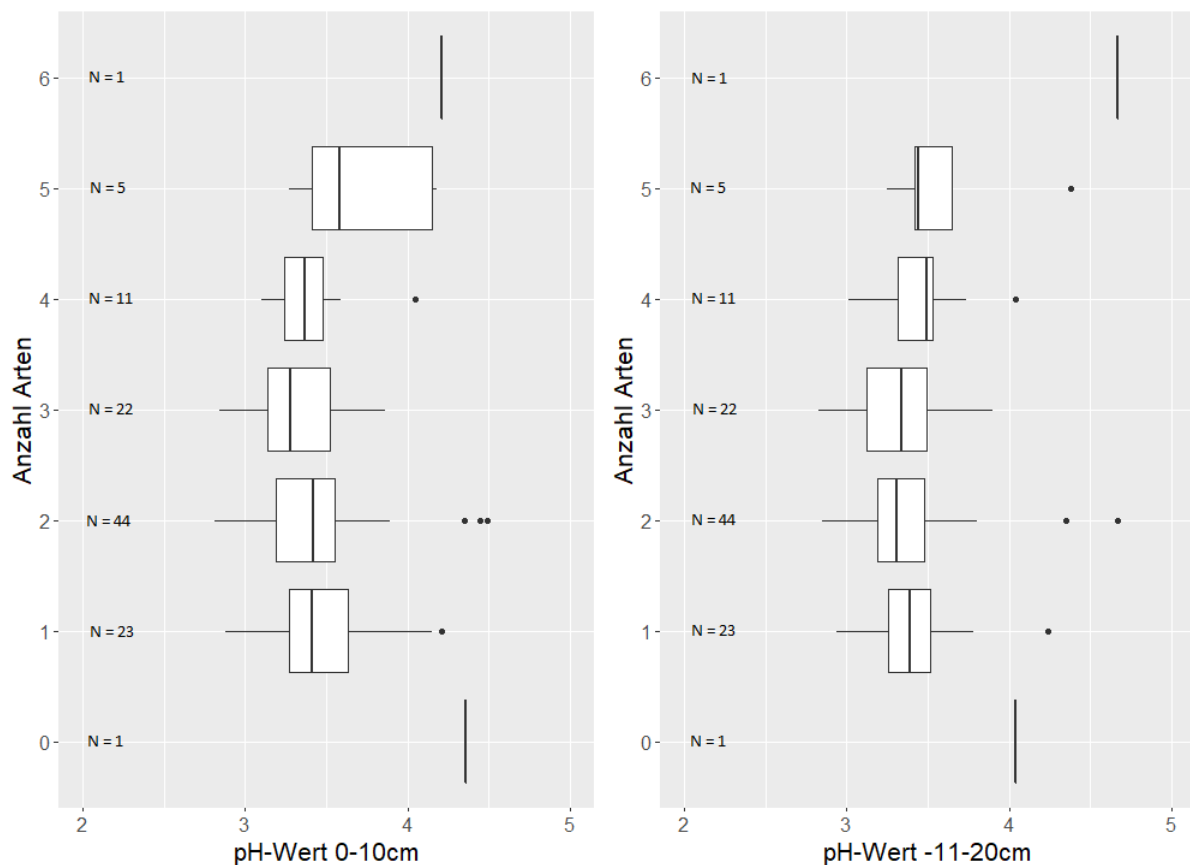


Abb. 42. pH-Werte in der Tiefe -10-0cm sowie -11-20cm im Verhältnis zu den Anzahl Arten pro Probepunkt in Lauterbrunnen BE.

Ähnlich sieht die Situation bei der Darstellung der Säuregrade im Verhältnis zur Artanzahl pro Probepunkt aus (Abb. 43). So liegt in Lauterbrunnen bei den Säuregraden E4 (= sehr sauer) und E5 (= sehr stark sauer) die durchschnittliche Artanzahl bei zwei Arten pro Probepunkt. Da der Säuregrad E3 in beiden Messtiefen nur viermal observiert wurde, besitzt dieser keine Interpretationskraft. Somit besteht auch in Lauterbrunnen kein Anzeichen dafür, dass durch den Boden-pH die Anzahl Arten pro Probepunkt beeinflusst wird.

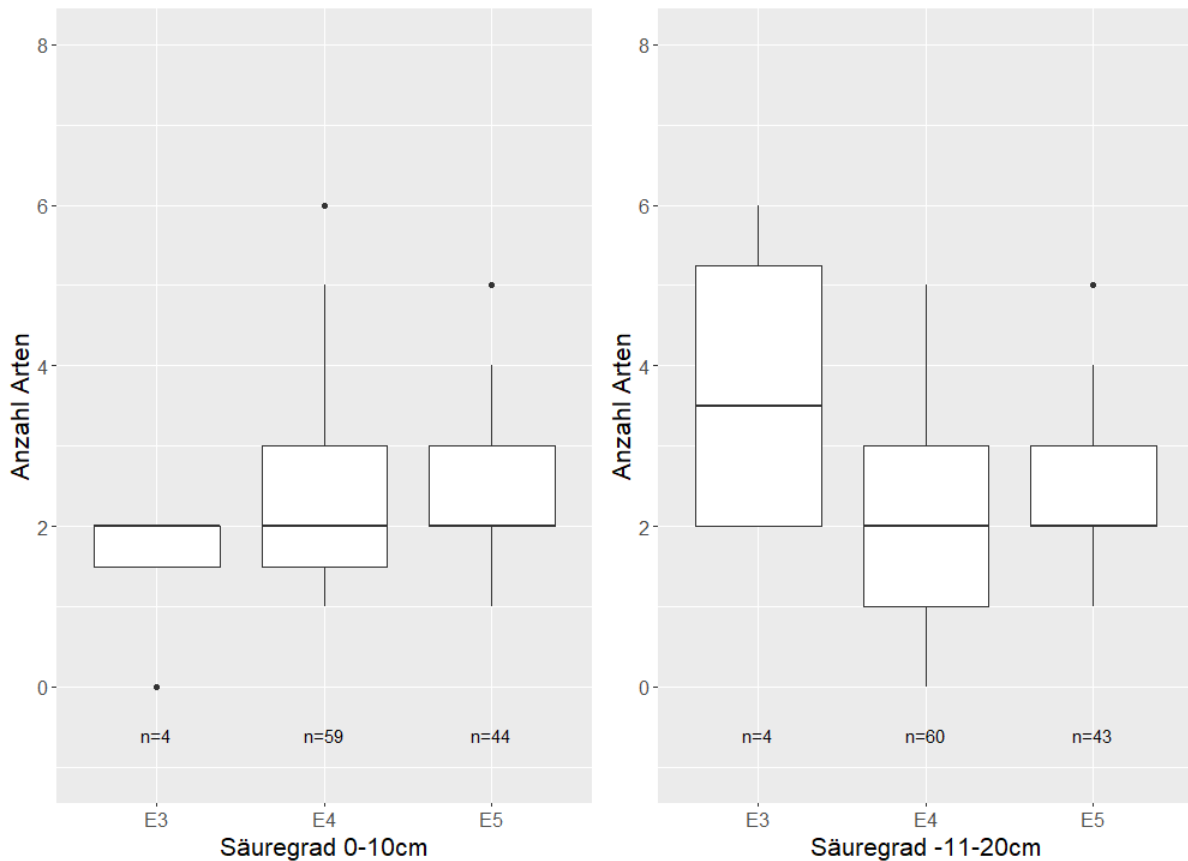


Abb. 43. Säuregrade der Probepunkte in den Tiefen 0-10cm sowie -11-20cm im Verhältnis zu der Anzahl Arten in Sagogn GR, wobei E0=alkalisch, E1=neutral, E2=schwach sauer, E3=sauer, E4=stark sauer, E5=sehr stark sauer (Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, BGS 2010).

In Abbildung 44 sind die jeweiligen Anteile der häufigsten Arten bei verschiedenen Säuregraden sowie bei den zwei unterschiedlichen Messtiefen pro Probepunkt dargestellt. Auffallend ist hier der Säuregrad E3 (= sauer) bei der Messtiefe -11-20 cm. Aufgrund einer sehr geringen Datenmenge sollte diese Situation nicht weiter interpretiert oder verglichen werden. Auch die Messtiefe 0-10 cm besitzt beim Säuregrad E3 mit sechs Observationen nur eine kleine Datenmenge.

Mit diesen Ausnahmen ist folglich dennoch ersichtlich, dass bei allen Messtiefen sowie Säuregraden Moose den grössten Anteil einnehmen. Auf den Probepunkten mit Säuregrad E5 machen die Moose im Gegensatz zu Probepunkten mit Säuregrad E4 weniger als die Hälfte der häufigsten Arten aus. Beim Säuregrad E5 nimmt *Vaccinium myrtillus* jeweils einen vergleichsweise grösseren Teil ein als bei den weniger sauren Probepunkten. Kleinere Unterschiede sind gesamthaft bei der Verteilung von Moosen, *Vaccinium myrtillus* und *Oxalis acetosella* zu beobachten. Die Arten *Luzula sylvatica*, *Hieracium murorum* agg., *Prenanthes purpurea* und *Melampyrum sylvaticum* machen bei allen angetroffenen Situationen einen ungefähr gleich grossen Anteil aus. Die drei Arten mit den grössten Anteilen – *Vaccinium myrtillus*, Moose und *Oxalis acetosella* – sind über alle Messtiefen und Säuregrade vertreten. Eine andere Pflanzengemeinschaft bei einzelnen Säuregraden scheint sich somit auch hier nicht abzubilden.

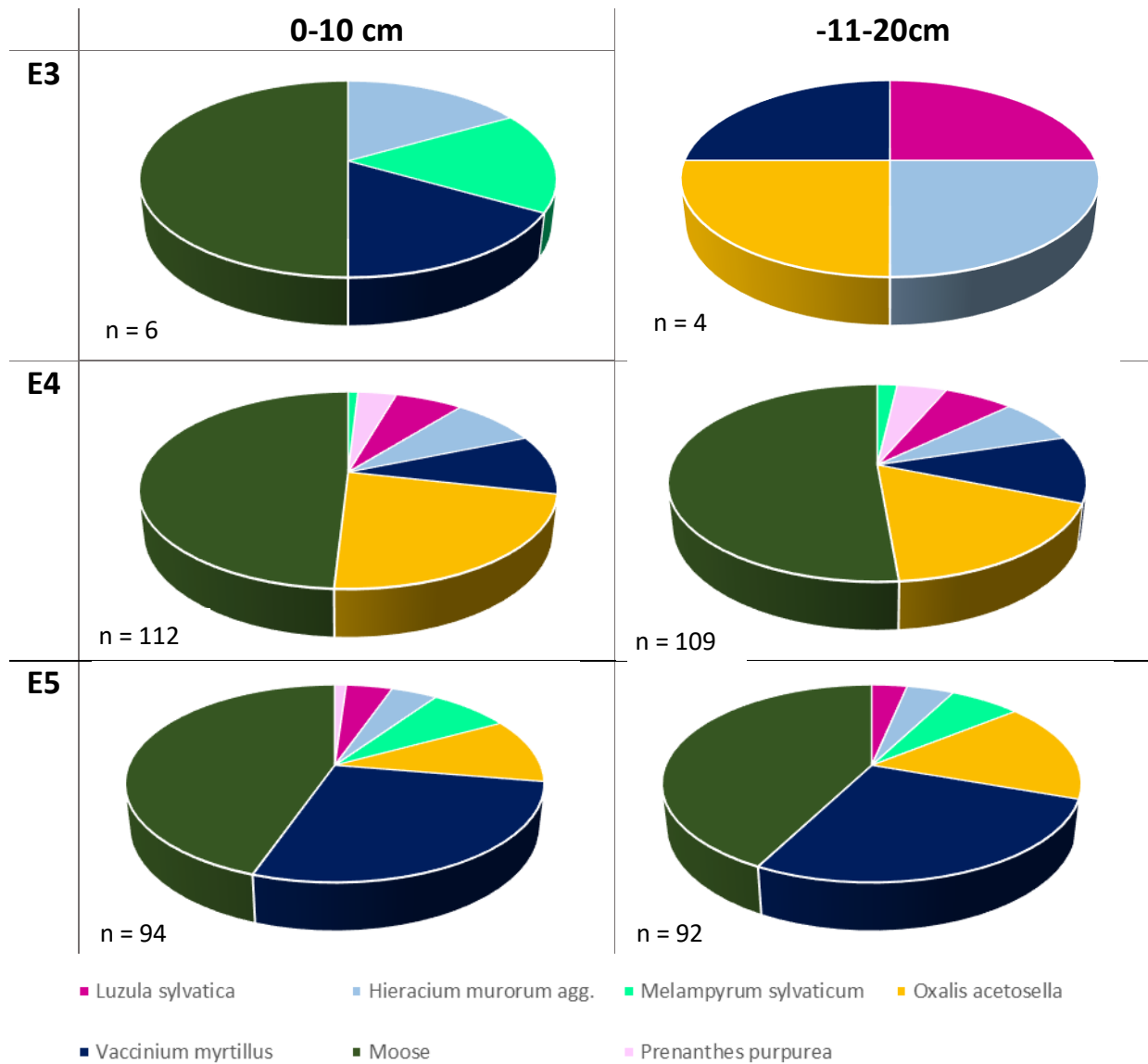


Abb. 44. Anteile der häufigsten Arten (Präsenz auf min. 50% aller Flächen) bei Probepunkten (total n=108) mit den Säuregraden E3 (=sauer), E4 (=sehr sauer) und E5 (=sehr stark sauer) in den Messtiefen 0-10cm sowie -11-20cm in Lauterbrunnen BE.

4.7 Beziehung zwischen der Humusform und der Bodenvegetation

Um Zusammenhänge zwischen der Humusform sowie der Bodenvegetation aufzuzeigen, wurden die Anzahl Arten pro Probepunkt im Verhältnis mit der dort auftretenden Humusform dargestellt. Dabei wurde zwischen Moder, Mull und Rohhumus unterschieden.

In Sagogn sind die Daten zur Humusform allerdings so einseitig verteilt (Abb. 45), dass keine Aussage zu diesem Zusammengang möglich ist. Die vorherrschende Humusform ist hier der Moder, welcher mit 202 von 216 Observationen auftritt. Für eine aussagekräftige Gegenüberstellung müsste der Datensatz einheitlicher verteilt bzw. detaillierter sein.

Auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen bildet sich eine ähnliche Datengrundlage ab (Abb. 46). Auch hier ist der Moder mit 167 von 216 Beobachtungen die häufigste Humusform. Die gleiche Anforderung an die Datenzusammensetzung wie in Sagogn besteht auch in Lauterbrunnen.

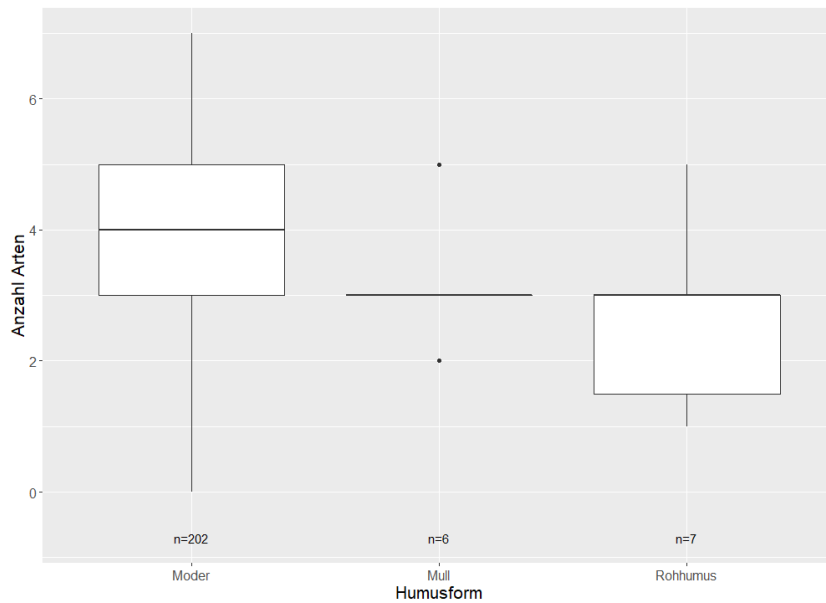


Abb. 45. Verteilung der Artanzahl bei verschiedenen Humusformen in Sagogn GR.

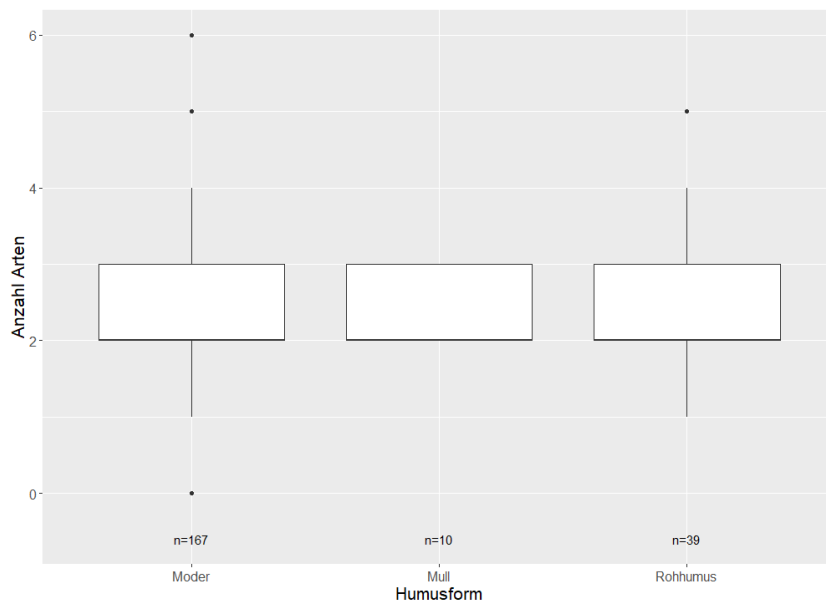


Abb. 46. Verteilung der Artanzahl bei verschiedenen Humusformen in Lauterbrunnen BE.

4.8 Beziehung zwischen Mikrorelief und der Bodenvegetation

Mögliche Zusammenhänge der untersuchten Bodenvegetation mit dem Mikrorelief wurden ebenfalls untersucht. Dabei wurden die Anzahl Arten an einem Probepunkt im Verhältnis zur kleinstandörtlichen Morphologie der Bodenoberfläche dargestellt. Die drei möglichen Typen des Mikroreliefs waren Erhebung, flach und Senke.

In Sagogn befanden sich mit 178 von 216 Beobachtungen ein Grossteil der Probepunkte auf flachem Untergrund (Abb. 47). Erhebungen und Senken waren jeweils auf unter 10% der Probepunkte vorhanden. Dabei war die durchschnittliche Anzahl Arten bei flachem Untergrund vier Arten. Bei einer Erhebung oder einer Senke kamen durchschnittlich drei Arten auf einem Probepunkt vor. Wie auch bei der Humusform sind die Daten zur Morphologie der Kleinstandorte zu einseitig verteilt, um aussagestarke Schlussfolgerungen zu ziehen.

Mit 181 von 216 Beobachtungen waren auch in Lauterbrunnen die Mehrheit der Probepunkte auf flachem Untergrund (Abb. 48). Während Erhebungen auf 11% der Probepunkte gemessen wurden, kamen Senken nur auf 5% der Flächen vor. Dabei waren bei allen drei Typen des Mikroreliefs durchschnittlich drei Arten pro Probepunkt vorhanden. Auch in Lauterbrunnen fehlen allerdings besser verteilte Daten, um Aussagen über die Zusammenhänge zwischen der Bodenvegetation und dem Mikrorelief machen zu können.

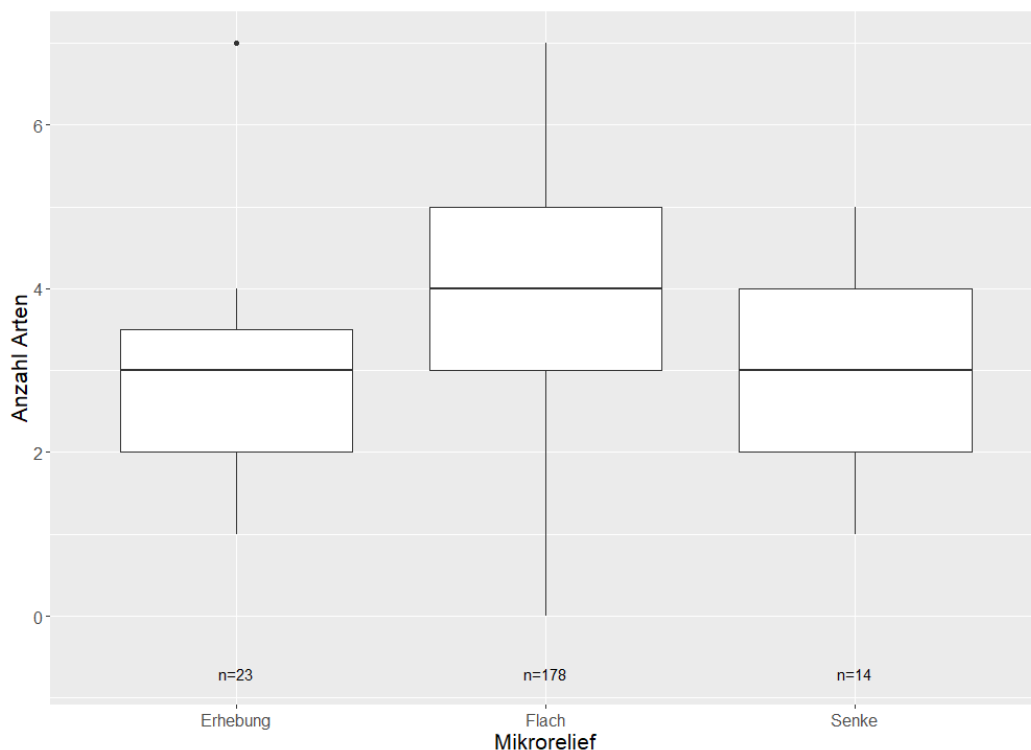


Abb. 47. Verteilung der Artanzahl bei verschiedenem Mikrorelief in Sagogn GR.

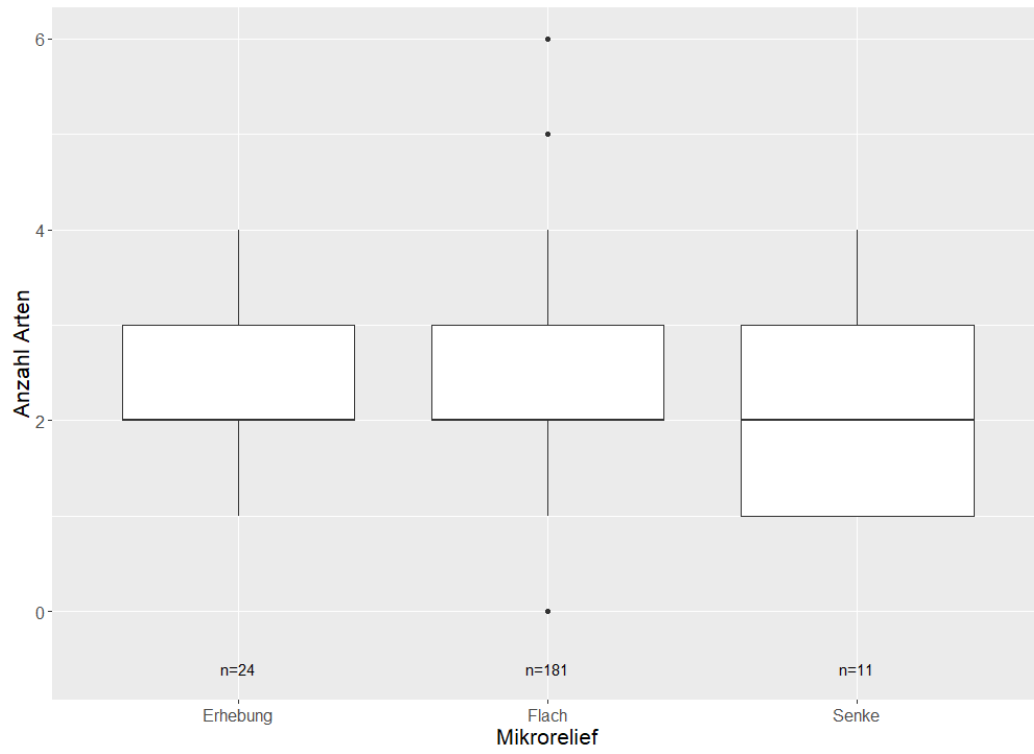


Abb. 48. Verteilung der Artanzahl bei verschiedenem Mikrorelief in Lauterbrunnen BE.

4.9 Zustandsbeschreibung der Vegetationskombinationen

Um die unterschiedlichen und wiederkehrenden Vegetationseinheiten zu charakterisieren, wurden Vegetationsgruppen untersucht, welche auf einem Probepunkt zusammen auftreten. Dafür wurden alle Arten entsprechend Tabelle 5 (nach Brang u. a. 2017; Kalt 2019) gruppiert und alle fünf Höhenstufen eines Probepunktes zusammengefasst. Dabei wurden alle auf einem Probepunkt vorkommenden Gruppen notiert. So konnten tabellarisch alle Gruppenkombinationen einer Versuchsfläche herausgearbeitet und sortiert werden.

4.9.1 Sagogn

In Sagogn waren innerhalb der Punktaufnahmen der drei Teilflächen während den Vegetationsaufnahmen 40 Arten verteilt auf die acht Vegetationskategorien *Cyperaceae*, Krautvegetation, Moose, *Poaceae*, Himbeerartige, grosse Krautvegetation, Farne und Zwergsträucher aufzufinden (Tabelle 12 im Anhang). Mit diesen acht Gruppen wurden im Feld 17 verschiedene Kombinationen vorgefunden, welche in Tabelle 8 nach ihrer Häufigkeit aufgelistet sind. Ausser bei der Kombination von Krautvegetation, *Cyperaceae* und Zwergsträucher waren in Sagogn Moose in jeder Gruppenkombination enthalten. Anhand ihres relativen Anteils (in Prozent) wurden die Gruppenkombinationen sortiert und in verschiedene Kategorien der Häufigkeit eingeteilt. Dabei wurden Kombinationen, welche auf mindestens der Hälfte aller Probeflächen (n=216) auftraten, als sehr häufig eingestuft. Lagen die Kombinationen zwischen einem Anteil von 25 und 50%, so wurden sie als weniger häufig definiert. Kombinationen zwischen 5 und 25% galten als eher selten, wobei alle Kombinationen unter 5% als selten eingestuft wurden.

Mit einem Anteil von 57.41% gehörte somit nur die Gruppenkombination Krautvegetation, *Cyperaceae* & Moose zu einer sehr häufigen Kombination. Darauf folgend kamen vier eher seltene Kombinationen mit Krautvegetation & Moosen, Krautvegetation, *Cyperaceae*, Moosen & *Poaceae*, sowie *Cyperaceae* & Moose vor (Tabelle 8). Alle diese vier Gruppenkombinationen traten auf mehr als 5% aller Probeflächen und somit auf mindestens 11 Punkten auf. Die restlichen Gruppenkombinationen galten als selten.

Tabelle 8. Alle auftretenden Gruppenkombinationen auf der Versuchsfläche in Sagogn GR. Kombinationen, welche auf mehr als 50% der Probepunkte vorkamen, wurden als sehr häufig eingestuft; jene zwischen 25-50% als weniger häufig, 5-25% als eher selten und unter 5% als selten. Gelb markiert sind die Gruppenkombinationen, welche auf mindestens 11 Probepunkten (>5%) vorkommen.

Gruppenkombination	Anzahl (n=216)	Anteil (%)	Häufigkeit
Kraut, Cyper, Moose	124	57.41	sehr häufig
Kraut, Moose	35	16.20	eher selten
Kraut, Cyper, Moose, Poa	16	7.41	eher selten
Cyper, Moose	14	6.48	eher selten
Moose	8	3.70	selten
Kraut, Moose, Poa	4	1.85	selten
Kraut, Cyper, Moose, Rubus	3	1.39	selten
Kraut, Krautg, Cyper, Moose	2	0.93	selten
Kraut, Moose, Rubus	2	0.93	selten
Cyper, Moose, Rubus	1	0.46	selten
Cyper, Moose, Zwerg	1	0.46	selten
Farne, Moose	1	0.46	selten
Kraut, Cyper, Moose, Zwerg	1	0.46	selten
Kraut, Cyper, Poa	1	0.46	selten
Kraut, Krautg, Moose	1	0.46	selten
Kraut, Moose, Poa, Rubus	1	0.46	selten
Kraut, Moose, Zwerg	1	0.46	selten

In diesen vier Kombinationen, welche auf über 5% der Probeflächen auftreten, waren die Gruppen Krautvegetation, Cyperaceae, Moose sowie Poaceae enthalten (Tabelle 8, Abb. 49). Gesamthaft nahmen die vier häufigsten Gruppenkombinationen 189 Probepunkte (n=216) ein (Abb. 49). Moose kamen dabei auf einem Grossteil der Probepunkte vor. Auch die Krautvegetation und die Sauergräser waren auf über 75% der Probeflächen präsent.

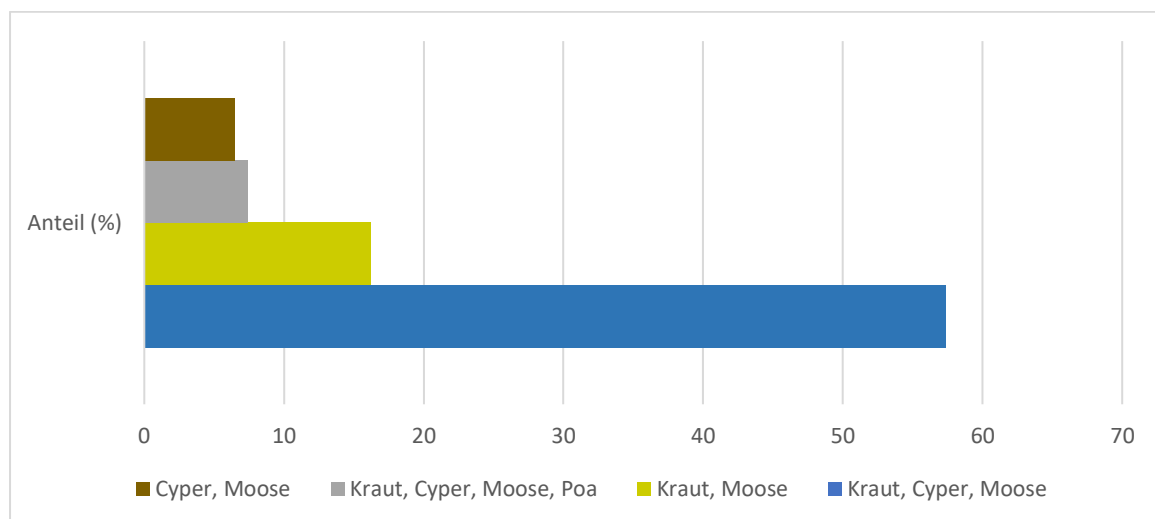


Abb. 49. Anteil (in %) an der Gesamtfläche der häufigsten (anteilmässig >5%, somit auf mindestens 11 Probepunkten) Gruppenkombinationen in Sagogn GR. Die Anzahl der vier häufigsten Kombinationen liegt bei 189 (n=216).

Jene Vegetationskategorien, welche Brang et al. (2017) und Kalt (2019) als hemmend für die Naturverjüngung definierten, wurden zusätzlich separat betrachtet und aufsummiert (Tabelle 9). Dabei wurden alle Gruppenkombinationen als ungünstig betrachtet, welche mindestens eine hemmende Vegetationskategorie (*Poaceae*, Himbeerartige, Farne und Hochstauden) enthielten. In Sagogn kamen folglich auf 13.42% aller Probepunkte (n=216) mindestens eine für die natürliche Verjüngung ungünstige Vegetationskategorie vor. Mit derselben Klassifikation wie bei Tabelle 8 werden somit die Gesamtheit aller hemmenden Gruppen als eher selten eingestuft.

Tabelle 9. Alle in Sagogn GR auftretende Gruppenkombinationen, welche mindestens eine ungünstige (Farne, Himbeere oder andere Rubus-Arten, Reitgräser und Hochstauden) Gruppe enthält. Kombinationen, welche auf mehr als 50% der Probepunkte vorkamen, wurden als sehr häufig eingestuft; jene zwischen 25-50% als weniger häufig, 5-25% als eher selten und unter 5% als selten.

Gruppenkombination	Anzahl	Anteil (%)	Häufigkeit
<i>Kraut, Cyper, Moose, Poa</i>	16	7.41	eher selten
<i>Kraut, Moose, Poa</i>	4	1.85	selten
<i>Kraut, Cyper, Moose, Rubus</i>	3	1.39	selten
<i>Kraut, Moose, Rubus</i>	2	0.93	selten
<i>Cyper, Moose, Rubus</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Cyper, Poa</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Moose, Poa, Rubus</i>	1	0.46	selten
<i>Farne, Moose</i>	1	0.46	selten
TOTAL	29	13.42	eher selten

4.9.2 Lauterbrunnen

Auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen konnten während den punktuellen Vegetationsaufnahmen innerhalb den drei Teilflächen insgesamt 38 Arten gefunden werden. Diese Arten verteilten sich auf die acht Vegetationskategorien Moose, Krautvegetation, Zwergsträucher, *Juncaceae*, grosse Krautvegetation, Farne, *Poaceae* und Hochstauden (Tabelle 13 im Anhang). Diese acht Gruppen bildeten auf der Versuchsfläche 31 verschiedene Kombinationen, welche in Tabelle 10 nach absteigender Häufigkeit aufgelistet sind. Dabei kamen sowohl Kombinationen von bis zu fünf Gruppen wie auch alleinstehende Gruppen auf den Probepunkten vor. Oft waren bei Kombinationen Moose einer der Bestandteile. Mithilfe der jeweiligen relativen Anteile in Prozentangaben wurden alle Gruppenkombinationen sortiert und wiederum nach Häufigkeiten eingeteilt. Wie in Sagogn wurden Kombinationen, welche auf mindestens der Hälfte der Probeflächen (n=216) vorkamen, als sehr häufig eingestuft. Bei einem Anteil von 25-50% galten sie als weniger häufig, zwischen 5 und 25% als eher selten und bei unter 5% wurden die Kombinationen als selten eingestuft. Auffallend ist in Lauterbrunnen, dass keine der Kombinationen als häufig eingestuft werden konnte. Die häufigste Gruppenkombination war mit einem Anteil von 25.46% die Kombination von Krautvegetation und Moosen und galt als weniger häufig. Darauf folgten vier eher seltene Kombinationen, welche die Gruppen Moose, Zwergsträucher, Krautvegetation und *Juncaceae* enthielten (Tabelle 10). Diese vier eher seltenen sowie die weniger häufige Gruppenkombinationen waren in Lauterbrunnen alle auf mehr als 5% aller Probepunkte vorzufinden und kamen somit bei mindestens 11 punktuellen Vegetationsaufnahmen vor. Alle restlichen 26 Gruppenkombinationen galten als selten.

Tabelle 10. Alle auftretenden Gruppenkombinationen auf der Versuchsfläche in Lauterbrunnen. Kombinationen, welche auf mehr als 50% der Probepunkte vorkamen, wurden als sehr häufig eingestuft; jene zwischen 25-50% als weniger häufig, 5-25% als eher selten und unter 5% als selten. Gelb markiert sind die Gruppenkombinationen, welche auf mindestens 11 Probepunkten (>5%) vorkommen.

Gruppenkombination	Anzahl (n=216)	Anteil (%)	Häufigkeit
<i>Kraut, Moose</i>	55	25.46	weniger häufig
<i>Moose</i>	39	18.06	eher selten
<i>Moose, Zwerg</i>	35	16.20	eher selten
<i>Kraut, Moose, Zwerg</i>	22	10.19	eher selten
<i>Kraut, Junca, Moose</i>	12	5.56	eher selten
<i>Junca, Moose</i>	7	3.24	selten
<i>Kraut</i>	5	2.31	selten
<i>Junca, Moose, Zwerg</i>	4	1.85	selten
<i>Kraut, Krautg, Moose</i>	4	1.85	selten
<i>Farne, Moose, Zwerg</i>	3	1.39	selten
<i>Kraut, Junca, Moose, Zwerg</i>	3	1.39	selten
<i>Moose, Poa, Zwerg</i>	3	1.39	selten
<i>Zwerg</i>	3	1.39	selten
<i>keine Pflanzen</i>	2	0.93	selten
<i>Kraut, Krautg, Moose, Zwerg</i>	2	0.93	selten
<i>Poa, Moose</i>	2	0.93	selten
<i>Farne, Moose</i>	1	0.46	selten
<i>Junca</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Farne, Hoch, Junca, Moose</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Farne, Hoch, Poa</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Farne, Junca, Moose, Zwerg</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Farne, Moose</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Farne, Moose, Zwerg</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Hoch, Moose</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Junca</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Krautg, Hoch</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Krautg, Hoch, Moose, Poa</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Krautg, Zwerg</i>	1	0.46	selten
<i>Kraut, Zwerg</i>	1	0.46	selten
<i>Krautg, Moose</i>	1	0.46	selten
<i>Krautg, Poa, Zwerg</i>	1	0.46	selten

In allen fünf Kombinationen mit über 5% Anteil der Probepunkte waren die Gruppen Moose, Krautvegetation, Zwergsträucher und *Juncaceae* enthalten (Tabelle 10, Abb. 50). Gemeinsam machten sie einen Anteil von 75.47% aus und nahmen somit 163 Probepunkte (n=216) ein.

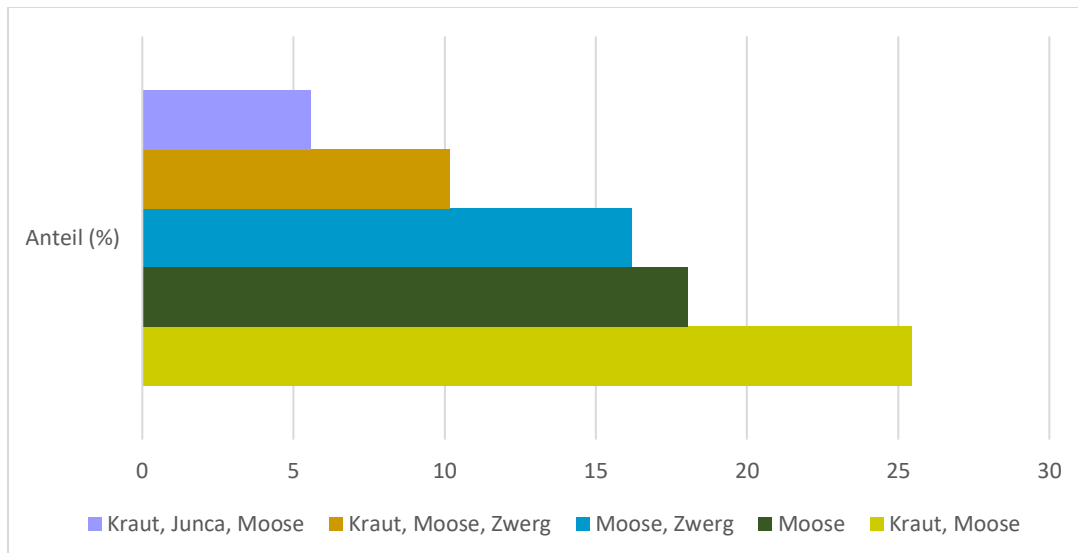


Abb. 50. Anteil (in %) an der Gesamtfläche der häufigsten (anteilmässig >5%, somit auf mindestens 11 Probepunkten) Gruppenkombinationen in Lauterbrunnen BE. Die Anzahl der fünf häufigsten Kombinationen liegt bei 163 (n=216).

Auch in Lauterbrunnen wurden die Vegetationskategorien, welche Brang et al. (2017) und Kalt (2019) als hemmend für die Naturverjüngung definierten, zusätzlich einzeln betrachtet und aufsummiert (Tabelle 11). Dabei wurden alle Gruppenkombinationen als ungünstig betrachtet, welche mindestens eine hemmende Vegetationskategorie (*Poaceae*, Himbeerartige, Farne und Hochstauden) enthielten.

In Lauterbrunnen traten somit auf gesamthaft 5.56% aller Probepunkte (n=216) mindestens eine ungünstige Vegetationskategorie vor. Verjüngungshemmende Gruppenkombinationen gelten folglich in Lauterbrunnen als eher selten.

Tabelle 11. Alle in Lauterbrunnen auftretende Gruppenkombinationen, welche mindestens eine ungünstige (Farne, Himbeere oder andere *Rubus*-Arten, Reitgräser und Hochstauden) Gruppe enthält. Kombinationen, welche auf mehr als 50% der Probepunkte vorkamen, wurden als sehr häufig eingestuft; jene zwischen 25-50% als weniger häufig, 5-25% als eher selten und unter 5% als selten.

Gruppenkombination	Anzahl	Anteil (%)	Häufigkeit
Farne, Moose, Zwerg	3	1.39	selten
Farne, Moose	1	0.46	selten
Kraut, Farne, Hoch, Junca, Moose	1	0.46	selten
Kraut, Farne, Hoch, Poa	1	0.46	selten
Kraut, Farne, Junca, Moose, Zwerg	1	0.46	selten
Kraut, Farne, Moose	1	0.46	selten
Kraut, Farne, Moose, Zwerg	1	0.46	selten
Kraut, Hoch, Moose	1	0.46	selten
Kraut, Krautg, Hoch	1	0.46	selten
Kraut, Krautg, Hoch, Moose, Poa	1	0.46	selten
TOTAL	12	5.56	eher selten

5 Diskussion

5.1 Artenzusammensetzung

Zunächst ist die Anzahl und die Zusammensetzung der Arten in den beiden Versuchsflächen interessant. Insgesamt konnten auf je 216 Probepunkten in Sagogn 40, in Lauterbrunnen 38 krautige Pflanzenarten gefunden werden. Von den 40 Arten in Sagogn waren 13 auf mindestens der Hälfte aller Probepunkte vorhanden, während in Lauterbrunnen nur sieben Arten als häufig eingestuft werden konnten. Somit besitzt die Versuchsfläche in Sagogn tendenziell artenreichere Probepunkte als jene in Lauterbrunnen.

Die Pflanzengesellschaften in Sagogn setzen sich hauptsächlich aus Arten des *Abieti-Piceion* (Tannen-Fichtenwald) zusammen (Delarze et al. 2015). Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Bestandesgeschichte des Waldstandorts (Fratlicelli et al. 2021a), wo das Waldstück «Uaul la Schetga» als Dauergesellschaft verschiedener Fichtenwald-Typen mit Tannen- und vereinzelt auch Föhrenbeständen beschrieben wird. Dabei gelten viele der gefundenen Arten für diese Bergregion und den Waldstandort als typisch und bekannt (InfoFlora 2017; Lauber et al. 2018). So ist beispielsweise eine der häufigsten Arten in Sagogn – *Carex alba* – charakteristisch für trockene Wälder auf kalkreichem Boden (Lauber et al. 2018; Rapp und Bartsch 2016) und wird laut dem NaiS-Standorttyp 52F (Karbonat-Tannen-Fichtenwald mit Weissegge) der ober- bis hochmontanen Waldfläche sogar zugewiesen (Frehner et al. 2005). Auch *Carex flacca* ist hauptsächlich auf kalkreichen Hängen verbreitet (Lauber et al. 2018), was dem kalkreichen Ausgangsmaterial des Flimser Bergsturzes entspricht.

Funde einzelner anderer Arten in Sagogn wiederum waren atypisch. So konnte einerseits die Unterart *Helianthemum nummularium subsp. Glabrum* (Kahles Sonnenröschen) nachgewiesen werden, welche bisher im Kanton Graubünden ausschliesslich in der Region Schanfigg dokumentiert wurde (Lauber et al. 2018). Laut der nationalen Roten Liste der Gefässpflanzen (Bornard et al. 2019) wird diese indigene Art als potentiell gefährdet eingestuft, wobei sich laut dem Kriterium B2 die Grösse des besiedelten Gebiets im Rückgang zu befinden scheint. Mit *Epipactis atrorubens* und *Platanthera bifolia* sind auf der Fläche in Sagogn zwei geschützte Arten vertreten (Lauber et al. 2018).

Des Weiteren wurden auf der Versuchsfläche in Sagogn Arten angetroffen, welche für einen Waldstandort untypisch sind und normalerweise eher offene Lebensräume wie Wiesen, Weiden, Heiden und Bruchwälder besiedeln. So sind *Veronica chamaedrys*, *Prunella vulgaris*, *Pimpinella major*, *Campanula rotundifolia*, *Clinopodium vulgare* und *Potentilla erecta* vorwiegend Arten der Fettwiesen und -weiden (Delarze et al. 2015). *Solanum dulcamara* besiedelt hingegen oft Bruchwälder und Waldschläge (Delarze et al. 2015; Lauber et al. 2018). Alle diese sieben Arten aus eher offenen Lebensräumen besitzen ausserdem Lichtzahlen von 3 oder 4. Somit bevorzugen sie – oder sind konkurrenzstärker an – Standorte wo die Lichtverhältnisse halbschattig bis hell sind. Ein Grund dafür, weshalb es in diesem Waldstandort vermehrt zu Vorkommen von Arten des Offenlands kommt, könnte die Bestandesgeschichte von Sagogn liefern. Bis 1930 scheint an diesem Standort bekanntlich Beweidung durch Ziegen und Schafe relevant gewesen zu sein (Fratlicelli et al. 2021a). Damit wären die gefundenen Weide- und Wiesenpflanzen Relikte aus den vergangenen Jahren mit Beweidung. Aufgrund des unterschiedlichen Beweidungsgrads und des erhöhten Lichtangebots und einem damit grossen Struktureichtum kommt es bei beweideten Flächen zu hoher Artendiversität (Kipfer und Bosshard 2007; Vild und Douglas Rotherham 2021). Diese vielfältige Artenzusammensetzung kann sich folglich in der Samenbank des Standorts gefestigt haben und

einige Reliktarten bestehen noch bis heute. Allerdings ist die Überlebensdauer von Samen der Grünlandarten umstritten. Teilweise wird angenommen, dass die meisten Samen nur wenige Jahre in der Samenbank überleben (Bakker et al. 1991; Davies und Waite 1998). Doch scheint die Langlebigkeit der Samen auch von Art zu Art zu variieren (Glass 1989). Dabei sind besonders auch die Lage und der Standortstyp des Waldes ausschlaggebend. In Tannen-Fichten Beständen können noch bis zu ca. 15% aller Arten aus ehemaligen Waldweiden stammen (Kipfer und Bosshard 2007), was ungefähr dem angetroffenen Verhältnis in Sagogn entspricht. Ein weiterer begünstigender Faktor scheint die Nähe der Versuchsfläche zum nächsten Waldrand zu sein. So nimmt mit zunehmender Distanz zum nächsten Offenland auch der Anteil an typischen Grünlandarten aus der Samenbank ab (Kipfer und Bosshard 2007). Zudem kann die Nähe zum Offenland Grünlandarten in der Waldfläche positiv beeinflussen, indem eine kontinuierliche Zufuhr von Individuen benachbarter Standorte vorkommt. So könnten diese sieben Arten auch in Waldflächen vorkommen, an denen ihre Nischenanforderungen nicht zwingend erfüllt sind (Hirzel und Le Lay 2008; Polechová und Storch 2019). Aufgrund ihrer Lichtzahl können die gefundenen offenland-typischen Arten allerdings auch als Halbschattenpflanzen charakterisiert werden. Aus diesem Grund ist ihr Vorkommen im Wald besonders aufgrund der Beweidungsgeschichte von Uaul la Schetga (Fracicelli et al. 2021a) nicht unwahrscheinlich, da für Waldflächen mit einem Beweidungshintergrund ein Mosaik aus schattentoleranten Waldpflanzen und lichtbedürftigeren Arten des Offenlands durchaus typisch ist (Vild und Douglas Rotherham 2021).

In Lauterbrunnen herrschte als Pflanzengesellschaft hauptsächlich das *Abieti-Piceion* (Tannen-Fichtenwald) (Delarze et al. 2015) vor, welches durch die häufige und dominante Art *Vaccinium myrtillus* charakterisiert wird. Somit stimmt die Klassierung der Bodenvegetation mit dem Standortstyp des typischen Heidelbeer-Tannen-Fichtenwalds nach NaiS (Frehner et al. 2005) überein. Charakteristisch für diesen Standort waren viele säurezeigende Arten. So weisen z.B. *Luzula sylvatica*, *Oxalis acetosella*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Avenella flexuosa*, *Blechnum spicant*, *Dryopteris carthusiana* und *Melampyrum sylvaticum* alle auf sehr saure Bodenverhältnisse hin (Lauber et al. 2018), welche aufgrund der Bodenproben bestätigt werden konnten. Die gefundene Art *Cynoglossum officinale* (echte Hundszunge) wird laut der Roten Liste der Schweiz als potentiell gefährdet eingestuft, da ein sich fortsetzender Rückgang der Teilpopulationen beobachtet wird (Bornard et al. 2019). Auch wurde *Linnea borealis* (Moosglöckchen) gefunden, welches lokal im Gebiet der Alpennordflanke ebenfalls gefährdet ist (Bornard et al. 2019). Mit *Epipactis helleborine* (Gewöhnliche breitblättrige Stendelwurz) und *Digitalis grandiflora* (Grossblütiger Fingerhut) sind zwei geschützte Arten in Lauterbrunnen vertreten (Lauber et al. 2018).

5.2 Auswirkungen der Lichtfaktoren auf die Vegetation

In Sagogn sind die Lichtverhältnisse tendenziell homogener, während in Lauterbrunnen zwischen den drei Teilflächen signifikante Unterschiede der gemessenen Lichtparameter (DSF, ISF, Openness) vorherrschten. Dabei waren allerdings die Auswirkungen des Lichts auf die Vegetation in Sagogn stärker zu beobachten als in Lauterbrunnen. Die Ergebnisse zeigten, dass sich Artanzahl, die Artenzusammensetzung, die Vegetationshöhe sowie der Bedeckungsgrad generell bei verschiedenen Lichtverhältnissen unterscheiden. Dass das Licht für die Entwicklung vieler Waldpflanzen ein entscheidender Faktor ist, wird in vielen Studien bestätigt (Beatty 1984; Bürger 1991; Chudomelová et al. 2017; Eber 1972; Fischer und Bens 2002; Garnreiter 2019; Hofmeister et al. 2009; Kompa 2004; Moora et al. 2007; Slezák und Axmanová 2016). Allerdings argumentieren auch einige Studien, dass

der Lichteinfluss für gewisse Artengruppen in Waldgesellschaften von eher untergeordneter Bedeutung ist (Leuschner 1999; Schmidt 1997). Die Ergebnisse aus den beiden Versuchsflächen zeigen Aspekte beider Sichtweisen auf.

Die beiden Lichtfaktoren ISF und Openness erwiesen sich dabei als einflussreicher im Vergleich zur direkten Strahlung. Die indirekte Strahlung und die Openness zeigen bei allen Untersuchungen ähnliche Auswirkungen. Grund dafür ist wohl der enge Zusammenhang zwischen der indirekten Strahlung und der Openness, da bei grösseren Öffnungen im Kronendach unabhängig vom Zenit mehr diffuse Strahlung auf den Waldboden gelangen kann. In der Literatur wird die Openness ebenfalls oft als treibender Lichtfaktor für das Vegetationswachstum beschrieben (Gärtner und Reif 2005; Hofmeister et al. 2009; Moora et al. 2007; Slezák und Axmanová 2016).

Somit stehen die indirekte Strahlung und die Openness in einem positiven Zusammenhang zur Artanzahl, Vegetationszusammensetzung und -höhe. Mit zunehmender ISF und Openness steigen sowohl in Sagogn als auch in Lauterbrunnen die Anzahl Arten pro Probepunkt, womit diese beiden Parameter als treibende Faktoren agieren (Moora et al. 2007). Gleichzeitig verändern sich auch die Arten mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen, wenn auch dieser Trend weniger stark ausgeprägt ist. In Sagogn steigt unter anderem der Anteil von *Bromus ramosus*, *Viola reichenbachiana* und *Hepatica nobilis* mit zunehmender Lichtverfügbarkeit. In Lauterbrunnen ist eine leichte Zunahme von Farnen und Hochstauden sowie spezifisch der Arten *Maianthemum bifolium*, *Hieracium murorum agg.* und *Oxalis acetosella* zu beobachten. Dabei kann die Verfügbarkeit diffuser Strahlung und Openness die Artenvielfalt und -zusammensetzung sowohl direkt als auch indirekt bestimmen, indem der Artenpool sowie die Standortproduktivität beeinflusst werden (Mosandl 1991; Slezák und Axmanová 2016; Valerio, Ibáñez, und Gazol 2021; Yu und Sun 2013). Auf beiden Versuchsflächen kann mit zunehmender ISF und Openness ebenfalls eine Zunahme lichtbedürftigerer Arten beobachtet werden. So widerspiegeln sich lichtere Verhältnisse im Kronendach in höheren Lichtzahlen der Artenzusammensetzung (Geigl 1994; Lauber et al. 2018).

Ebenfalls wird bei einer grösseren Artanzahl – und aufgrund der Einflussfaktoren ISF und Openness bei einem grösseren Lichtangebot – eine vielfältigere Vegetationsstruktur erreicht. In Sagogn verlagert sich die Diversität auf die verschiedenen Höhenstufen, sobald mehr diffuse Strahlung oder Openness auf den Punkten vorhanden ist. Die unterste Schicht bleibt dabei durch Moose und teilweise kleine krautige Arten bedeckt, während komplexere Systeme in den höheren Schichten vorhanden sind. Damit entsteht ein stufig aufgebautes Vegetationsgefüge. Dieses kann wiederum günstige Strahlungsverhältnisse fördern, indem direkte Strahlung für untere Schichten in diffuse Strahlung umgewandelt wird (Diaci 1995). In Lauterbrunnen war diese mehrschichtige Vegetationsstruktur bei höheren ISF- und Openness-Werten weniger stark ausgeprägt. Aufgrund der hohen Diversität in den tieferen Schichten bildete sich in Lauterbrunnen bei steigendem Lichtangebot ein dichter Vegetationsteppich. Bei beiden Versuchsflächen fällt auf, dass die Kategorie der Krautvegetation bei allen Lichtverhältnissen und Artanzahlen vertreten ist. Zum einen kann die Grösse dieser Gruppe als Erklärung dienen, da im Vergleich zu anderen Gruppen ein grösserer Artenpool vorhanden ist. Auch enthält die Krautvegetation viele Vertreter typischer Waldbodenflora, welche auf Änderungen in Kronenlücken angepasst sind und somit durch Auflichtungen wenig beeinflusst werden (Eber 1972).

Dass die Bodenvegetation mit zunehmender Strahlung dichter wird, ist eine bekannte Erscheinung (Diaci 1995; Eber 1972; Fischer und Bens 2002; Schmidt 1997). So unterschied sich in den untersuchten Versuchsflächen auch der Bedeckungsgrad in positiver Korrelation zu den Lichtwerten,

wobei der Trend in Sagogn stärker zu beobachten war. Wie für die Artanzahl, die Vegetationszusammensetzung und die Vegetationshöhe stand ebenfalls der Bedeckungsgrad hauptsächlich in Abhängigkeit zur ISF und Openness. Dabei übte die indirekte Strahlung von allen drei Faktoren den stärksten Einfluss auf den Deckungsgrad aus, was auch von Diaci (1995) beobachtet werden konnte. Aufgrund grösseren Kronenöffnungen – und folglich höheren Openness-Werten – können günstigere ökologische Bedingungen wie mehr Licht, Wasser und Nährstoffe zu grösseren Beschirmungsgraden führen (Diaci 1995; Eber 1972; Fischer und Bens 2002; Mosandl 1991; Valerio et al. 2021). Im Gegensatz dazu wurden teilweise negative Einflüsse der direkten Strahlung auf die Bodenvegetation registriert (Diaci 1995), welche in dieser Arbeit allerdings nicht gefunden werden konnten.

Auch für den Bedeckungsgrad ist der Einfluss der Lichtfaktoren in Sagogn stärker zu beobachten als in Lauterbrunnen. Einerseits könnten die extrem sauren Bodenverhältnisse in Lauterbrunnen eine Ursache dafür sein. Nur eine begrenzte Anzahl Arten ist auf solche schwere Umweltbedingungen angepasst, womit diese ökologische Nische weniger besetzt wird und somit die Produktivität der Pflanzen limitiert ist (Axmanová et al. 2012; Diaci 1995; Polechová und Storch 2019). Doch auch andere ökologische Bedingungen und besonders der ältere Bestand in Lauterbrunnen als in Sagogn können den Einfluss des Lichts auf die Bodenvegetation abschwächen (Diaci 1995; Fraticelli et al. 2021b; Valerio et al. 2021).

Zusätzlich sind für das Pflanzenwachstum die Wellenlängen des eintreffenden Lichts relevant. So bestimmt unter anderem auch die Verteilung und die Menge von photosynthetisch aktiver Strahlung (PAR) die Lebensbedingungen der Waldbodenvegetation (Eber 1972; Fistic 2004). Das Kronendach ist dabei ein treibender Faktor. Indem in der Kronenschicht ein Teil der PAR genutzt wird, gelangt nur noch ein kleinerer Anteil dieser kurzwelligen Strahlung auf die Bodenschicht (Holst et al. 2004). Detailliertere Informationen über das Strahlungsregime an den Standorten können dabei weitere Erklärungen für die Vegetationsstruktur der Krautschicht im Wald liefern.

5.3 Beziehung zwischen Bodenvegetation und kleinstandortlichen Parametern

Generell ist bekannt, dass die Bodeneigenschaften in Waldböden räumlich stark variieren können. So ändert sich der pH-Wert einerseits mit der Bodentiefe (Zimmermann et al. 2010), andererseits können aber auch kleinflächige Variationen des pHs gefunden werden (Skjyllberg 1990). Diese Eigenschaften konnten mit den Bodenproben bestätigt werden, wobei Sagogn eine grössere Heterogenität des Bodens zeigte als Lauterbrunnen. In Sagogn nahm der pH-Wert generell mit fortschreitender Bodentiefe zu, was mit vielen Studien von Waldböden übereinstimmt (Bergseth 1977; Göttlein 1992; Laverman et al. 2000; Skjyllberg 1990; Zimmermann et al. 2010). In Lauterbrunnen ist dieser Trend weniger deutlich bis selten zu beobachten. Grund dafür könnten die allgemein sehr sauren Bodenverhältnisse in Lauterbrunnen sein. Besonders in Nadelwäldern ist dies bekannt, da die schwer zersetzbare Nadelstreu zu einem erhöhten Säuregrad des Mineralbodens führen (Göttlein 1992). Auch andere Einflussfaktoren wie ältere, geschlossene Bestände, saurer Regen und der Abbau des Auflagehumus können sich in ähnlicher Weise auf einen sauren Mineralboden auswirken (Göttlein 1992). Ein wesentlicher Einfluss auf die sauren Bodenverhältnisse in Lauterbrunnen kann ausserdem durch das saure Grundgestein erfolgen (Fraticelli et al. 2021b; Oeschger Centre 2009).

Zudem wurden auf beiden Versuchsflächen einzelne Probepunkte mit pH-Werten gemessen, welche sich aus dem Gesamtbild der jeweiligen Versuchsfläche hervorheben. Solche Ausreisser können

durch topographische Unterschiede zwischen den Probeflächen entstehen. Zu einem grossen Teil resultieren Variationen der pH-Werte in Fichtenwäldern aus Veränderungen des Mikrostandorts (Nykvist und Skyllberg 1989).

Sowohl in Sagogn wie auch in Lauterbrunnen konnte kein bedeutender Einfluss des Boden-pH auf die Vegetation gefunden werden. Die Artenanzahl sowohl die Artenzusammensetzung variierten bei beiden Messtiefen des Boden-pH nicht. Lediglich der Anteil einzelner Arten an der gesamten Artenzusammensetzung änderte sich minimal, wobei der Effekt hauptsächlich in Lauterbrunnen zu beobachten war. Mit grösserem Säuregrad des Bodens nahm dort der Anteil von *Vaccinium myrtillus* auf Kosten von *Oxalis acetosella* zu. Dies lässt sich durch die tiefere Reaktionszahl von *Vaccinium myrtillus* erklären (Lauber et al. 2018), wobei diese Art auf sehr sauren Böden konkurrenzstärker ist. Abgesehen davon scheint der pH-Wert sowohl in Sagogn als auch in Lauterbrunnen keine Veränderungen der Vegetation innerhalb der Flächen verursacht zu haben. Diese Resultate stehen teilweise im Widerspruch zur Literatur. So können sich verändernde Bodenbedingungen sowohl auf die Vegetationszusammensetzung als auch auf die Artenanzahl auswirken, indem verändernde pH-Werte die nitrifizierenden Potenziale der organischen Schichten beeinflussen (Axmanová et al. 2012; Diaci 1995; Laverman et al. 2000). So zeigte sich in einigen Studien, dass Messpunkte mit niedrigeren pH-Werten ebenfalls tiefere Bodenbedeckungen und Artenzahlen aufweisen (Beatty 1984; Bergseth 1977; Diaci 1995; Göttlein 1992; Nykvist und Skyllberg 1989; Seidling 2005). Allerdings kann dabei in umgekehrter Abhängigkeit die Vegetation auch den pH-Wert des Bodens beeinflussen. Neben der Zusammensetzung des Mineralbodens wird der Bodensäuregrad auch durch die Vegetationsdecke bestimmt (Bergseth 1977; Nykvist und Skyllberg 1989). Je nach Vegetationstyp verändert sich dabei die Art und der Gehalt an organischem Material, welches in den obersten Bodenhorizont eingetragen wird. Eine Erklärung dafür, weshalb auf den Versuchsflächen keine Vegetationsveränderung in Abhängigkeit des Boden-pH erfolgte, könnte die untergeordnete Rolle des H⁺-Ions sein. So konnten einige Studien in Nadelwäldern trotz ähnlicher Bodenmineralogie und Pflanzengemeinschaften grosse Variationen des pH-Werts finden, was keine Bindung bestimmter Vegetationszusammensetzungen an bestimmte bodenchemische Merkmale zuliess (Nykvist und Skyllberg 1989; Rastin 1992). Ebenfalls scheint der pH-Wert des Bodens teilweise lediglich als Voraussetzung oder auch als Folge von Prozessen und Bedingungen zu agieren, welche die Pflanzenphytologie bestimmen (Kinzel 1983). Lediglich in extrem sauren Böden wie in Lauterbrunnen scheint der pH-Wert selbst der begrenzende Faktor für das Wachstum einzelner Pflanzen zu sein (Axmanová et al. 2012; Kinzel 1983), wie anhand der Wechselbeziehung von *Oxalis acetosella* und *Vaccinium myrtillus* gesehen werden kann. Dabei ist der Boden-pH gewöhnlich mit anderen Umweltbedingungen verbunden.

Auf den beiden Versuchsflächen konnten ebenfalls keine Auswirkungen des Mikroreliefs und der Humusform auf die Bodenvegetation festgestellt werden. Diese Resultate sind im Hinblick auf vergangene Studien überraschend, da Verschiebungen in der Artenzusammensetzung und Artanzahl aufgrund topographischer Veränderungen und Humusformen schon oft beobachtet werden konnten (Beatty 1984; Chudomelová et al. 2017; Kinzel 1983; Moora et al. 2007; Mosandl 1991; Nykvist und Skyllberg 1989). So scheinen besonders Waldflächen mit grosser Variabilität des Mikroreliefs hohe Pflanzendiversität zu bewirken (Moora et al. 2007). Obwohl die Resultate aus Lauterbrunnen und Sagogn keinen solchen Trend andeuten, kann ein Einfluss von Mikrorelief und Humusform auf die Bodenvegetation nicht abschliessend widerlegt werden. Für aussagekräftige Schlussfolgerungen müsste die Datenverteilung und -genauigkeit verbessert werden.

5.4 Bedeutung für die Naturverjüngung

Das Vorkommen verjüngungshemmender Vegetationsgruppen nach Brang et al. (2017) und Kalt (2019) ist auf beiden Versuchsflächen ähnlich gross, wenn auch die Gruppenkombinationen anders aufgestellt sind. So machen in Sagogn hauptsächlich *Poaceae* (*Bromus ramosus*) und Himbeerartige (*Rubus saxatilis*) die ungünstige Vegetation aus, während in Lauterbrunnen vor allem Farne und Hochstauden vertreten sind. Anteilsmässig machen diese Gruppen in beiden Versuchsflächen mit 13% (Sagogn) bzw. 6% (Lauterbrunnen) allerdings lediglich einen kleinen Teil der Gesamtvegetation aus. Die Auswirkungen der hemmenden Vegetation ist somit in beiden Versuchsflächen gering, da kein flächiges Auftreten der hemmenden Gruppen besteht (Reeg und Kaufmann 2008). Mit einem Flächenanteil unter 40% haben ungünstigen Vegetationsgruppen somit keine nennenswerten Auswirkungen auf die Naturverjüngung (Mosandl 1991). Im Hinblick auf die Konkurrenzvegetation besteht also keine Indikation einer Gefährdung der Verjüngung.

Allerdings kann die Krautvegetation in ehemals beweideten Waldflächen wie Sagogn ebenfalls die Verjüngung behindern (Frehner et al. 2005). Zusätzlich spielt der Deckungsgrad durch die Bodenvegetation eine bedeutende Rolle für die Verjüngung. So kann es trotz kleinem Anteil ungünstiger Arten bei höheren Deckungsgraden zu negativen Effekten wie verlangsamtem Wachstum oder erschwerter Ansamung bzw. Keimung kommen (Mosandl 1991). So schildert Diaci (1995), dass bei einer Bedeckung durch Bodenvegetation von über 100% besonders die Keimlinge sowie der Nachwuchs der Fichte und Tanne chancenlos bleiben. Durch eine dichte Vegetationsdecke in der Krautschicht kann sich die ober- und unterirdische Konkurrenz um Nährstoffe, Wasser, Wurzelraum und Licht weiter verschärfen (Diaci 1995). Auch hier kann die Wellenlänge des eintreffenden Lichts von Bedeutung sein. So wie das Kronendach einen Teil der photosynthetisch aktiven Strahlung nutzt, geht auch ein Anteil von Strahlung aufgrund der Bodenvegetation verloren (Diaci 1995; Eber 1972; Holst et al. 2004). Die verbleibende Strahlung unterhalb der Bodenvegetation ist dabei auch von der spezifischen Durchlässigkeit sowie der Anordnung der Blätter abhängig (Diaci 1995). Dennoch müssen höhere Lichtwerte nicht zwingend zu verjüngungshemmender, dichter Bodenvegetation führen. So fördern zunehmende ISF- und Openness-Werte zwar Artanzahl, mehrstufige Vegetationsstrukturen und höhere Deckungsgrade der Bodenvegetation. Doch der positive Effekt durch eine vermehrten Lichtzugabe fördert die Naturverjüngung teilweise mehr, als dass die negativen Einflüsse durch die Bodenvegetation zu hemmen vermag (Ammer 1996; Metz 2019).

6 Schlussfolgerung

Die Analyse von Vegetationsaufnahmen, Lichtmessungen, Bodenproben und kleinstandortlichen Parametern zeigen auf, dass die Bodenvegetation in den untersuchten Gebirgswäldern hauptsächlich von Lichtfaktoren beeinflusst wird. Die treibenden Faktoren sind dabei die diffuse Strahlung und die Openness, welche beide in einem positiven Zusammenhang mit der Entwicklung der Bodenvegetation stehen. Somit führt ein erhöhter Lichtgenuss zu grösserer Artenvielfalt wie auch zu grösserem Bedeckungsgrad der Bodenvegetation. Diese beiden Lichtparameter können durch waldbauliche Massnahmen gesteuert werden, indem der Grad der Auflichtung begrenzt wird. Der Einfluss von Konkurrenzvegetation nach Brang et al. (2017) und Kalt (2019) konnte aufgrund der untersuchten Faktoren auf den beiden Versuchsflächen nicht bestätigt werden. Nur ein kleiner Anteil der Flächen wird durch verjüngungshemmende Vegetation besiedelt. Allerdings kann aus den Ergebnissen der Deckungsgrade vermutet werden, dass die Gesamtdeckung ebenfalls einen bedeutenden Einfluss auf die Verjüngungsentwicklung ausübt.

Eine generelle Empfehlung zur verjüngungsfördernden Bewirtschaftung von Gebirgswäldern kann nicht gegeben werden, da sich die Ergebnisse dieser Arbeit lediglich auf zwei Versuchsflächen in Sagogn und Lauterbrunnen beziehen. Nicht nur aus diesem Grund bietet es sich an, weiterführende Untersuchungen zur Entwicklung und Koexistenz der Bodenvegetation in Gebirgswäldern durchzuführen. Auch hinsichtlich des Klimawandels und den damit verbundenen Änderungen der Umweltbedingungen wäre ein Monitoring der Pflanzenarten in Gebirgswäldern interessant. Eine Verlagerung der Vegetationszusammensetzung – beispielsweise durch Habitatsveränderungen aufgrund von Temperaturerhöhungen in alpinen Stufen – kann die Auswirkung auf die Naturverjüngung weiter verschärfen. Weitere, gebietsübergreifende Untersuchungen der Bodenvegetation im Gebirgswald können deshalb wichtige Grundlagen nicht zuletzt auch für frühzeitige waldbauliche Massnahmen liefern.

7 Literaturverzeichnis

- Ammer, C. 1996. *Konkurrenz Um Licht - Zur Entwicklung Der Naturverjüngung Im Bergmischwald*. Dissertation, Lehrstuhl für Waldbau und Forsteinrichtung der Ludwig-Maximilians-Universität, München. 198 S.
- Axmanová, I., M. Chytrý, D. Zelený, C.-F. Li, M. Vymazalová, J. Danihelka, M. Horsák, M. Kočí, S. Kubešová, Z. Lososová, Z. Otýpková, L. Tichý, V. Martynenko, E. Baisheva, B. Schuster, und M. Diekmann. 2012. *The Species Richness-Productivity Relationship in the Herb Layer of European Deciduous Forests: Richness-Productivity in the Herb Layer*. *Global Ecology and Biogeography* 21(6): S. 657–667. doi: 10.1111/j.1466-8238.2011.00707.x.
- Bakker, J. P., A. F. Bos, J. Hoogveld, und H. J. Muller. 1991. *The Role of the Seed Bank in Restoration Management of Semi-Natural Grasslands*. Perturbation and Recovery of Terrestrial and Aquatic Ecosystems. New York: Ellis Horwood. S. 447–455
- Beatty, S. W. 1984. *Influence of Microtopography and Canopy Species on Spatial Patterns of Forest Understory Plants*. *Ecology* 65(5): S. 1406–1419. doi: 10.2307/1939121.
- Bebi, P. 1999. *Erfassung von Strukturen im Gebirgswald als Beurteilungsgrundlage ausgewählter Waldwirkungen*. Dissertation, ETH Zurich. 126 S.
- Bergseth, H. 1977. *Relationen zwischen Acidität und Vegetationstyp norwegischer Waldböden*. *Acta Agriculturae Scandinavica* 27(4): S. 269–279. doi: 10.1080/00015127709435139.
- Binz, A., und C. Heitz. 1990. *Schul- Und Exkursionsflora Für Die Schweiz*. 19th ed. Basel: Schwabe & Co. AG Verlag. 659 S.
- Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, BGS. 2010. *Klassifikation Der Böden Der Schweiz (KLABS)*. 93 S.
- Bornard, C., A. Gygax, P. Juillerat, M. Jutzi, A. Möhl, S. Rometsch, S. Eggenberg, B. Marazzi, L. Sager, und H. Santiago. 2019. *Regionale Rote Liste Der Gefässpflanzen Der Schweiz*. Genf, Bern, Lugano: Info Flora. 389 S.
- Brang, P., P. Nikolova, P. Bebi, und A. Kupferschmid. 2020. *Projektoffene Gebirgswaldverjüngung Phase II - Verbesserte Grundlagen Zur Beurteilung Und Gezielteren Beeinflussung Der Verjüngung Im Gebirgswald - Kurzfassung*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- Brang, P., P. Nikolova, R. Gordon, und S. Zürcher. 2017. *Auswirkungen grosser Verjüngungslücken im Gebirgswald auf Verjüngung und Holzzuwachs. Schlussbericht des Projektes Eingriffsstärke und Holzzuwachs im Gebirgswald*. ETH Zurich. 49 S. doi: 10.3929/ETHZ-B-000184480.
- Bürger, R. 1991. *Immissionen und Kronenverlichtung als Ursachen für Veränderungen der Waldbodenvegetation im Schwarzwald*. *Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft NS_11*: S. 407–424.

- Chudomelová, M., D. Zelený, und C.-F. Li. 2017. *Contrasting Patterns of Fine-Scale Herb Layer Species Composition in Temperate Forests*. Acta Oecologica 80: S. 24–31. doi: 10.1016/j.actao.2017.02.003.
- Davies, A., und S. Waite. 1998. *The Persistence of Calcareous Grassland Species in the Soil Seed Bank under Developing and Established Scrub*. Plant Ecology 136(1): S. 27–39.
- Delarze, R., Y. Gonseth, S. Eggenberg, und M. Vust. 2015. *Lebensräume Der Schweiz, Ökologie - Gefährdung - Kennarten*. 3rd ed. Bern: Ott Verlag. 456 S.
- Diaci, J. 1995. *Experimentelle Felduntersuchungen Zur Naturverjüngung Künstlicher Fichtenwälder Auf Tannen-Buchenwaldstandorten (Homogyno Sylvestris-Fagetum) in Den Savinja-Alpen (Slowenien) Mit Besonderer Berücksichtigung Der Ansamlungsphase Und Unter Dem Einfluss Der Faktoren Licht, Vegetation, Humus Und Kleinsäuger*. Dissertation, ETH Zürich. 194 S.
- Dierssen, K. 1990. *Einführung in Die Pflanzensoziologie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. 241 S.
- Eber, W. 1972. *Über Das Lichtklima von Wäldern Bei Göttingen Und Seinen Einfluß Auf Die Bodenvegetation*. Vol. 3. Göttingen: E. Goltze. 150 S.
- Eggenberg, S., und A. Möhl. 2013. *Flora Vegetativa*. Bern: Haupt Verlag. 733 S.
- Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAP. 2008. *Schweizerische Referenzmethoden Der Eidg. Landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Band 2: Bodenuntersuchungen Zur Standort-Charakterisierung*. Zürich-Reckenholz.
- Fischer, H., und O. Bens. 2002. *Artenkombination Und Assoziierte Artmerkmale Der Bodenvegetation Innerhalb Einer Unechten Eichen-Zeitreihe (Quercus Petraea LIEBL.)*. Allgemeine Forst- Und Jagdzeitung 173(1): S. 8–14.
- Fistic, S. 2004. *Die Bestimmung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) für heterogene atmosphärische Bedingungen*. Dissertation, Technische Universität München. 145 S.
- Frankenberg, P. 1982. *Vegetation und Raum. Konzepte der Ordinierung und Klassifizierung*. Paderborn München: F. Schöningh. 24 S.
- Fratlicelli, L., H. Hochsattel, P. Brang, und P. Nikolova. 2021b. *Bestandesgeschichte des Marcheggwaldes Lauterbrunnen*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 16 S.
- Fratlicelli, Laura, Hannah Hochsattel, Peter Brang, und Petia Nikolova. 2021a. *Bestandesgeschichte der Versuchsfläche Uaul la Schetga, Sagogn*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 16 S.
- Frehner, M., und S. A. Dionea. 2020. *NaiS-LFI – Zuordnung der LFI-Stichprobenpunkte zu Waldgesellschaften. Erläuternder Schlussbericht*. Bundesamt für Umwelt BAFU. 68 S.

- Frehner, M., B. Wasser, und R. Schwitter. 2005. *Nachhaltigkeit Und Erfolgskontrolle Im Schutzwald. Wegleitung Für Pflegemassnahmen in Wäldern Mit Schutzfunktion*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 564 S.
- Garnreiter, S. 2019. *Wiederholungsaufnahme Bergmischwaldversuch in Ruhpolding: Die Entwicklung Der Bodenvegetation von 1976 Bis 2018*. Masterarbeit, Technische Universität München. 92 S.
- Gärtner, S., und A. Reif. 2005. *The Response of Ground Vegetation to Structural Change during Forest Conversion in the Southern Black Forest*. *European Journal of Forest Research* 124(3): S. 221–231. doi: 10.1007/s10342-005-0065-7.
- Gehlker, H. 1977. *Eine Hilfstafel Zur Schätzung von Deckungsgrad Und Artmächtigkeit*. Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft e.V. 19–20(3–4): S.1–5.
- Geigl, A. 1994. *Der Einfluss Waldbaulicher Massnahmen Auf Die Bodenvegetation Im Bergmischwald*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Fakultät für Biologie der Ludwigs-Maximilians-Universität, München. 63 S.
- Glanzmann, L., R. Schwitter, und S. Zürcher. 2019. *Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald*. Fachstelle für Gebirgswaldpflege (GWP), Maienfeld. S 1–4.
- Glass, S. 1989. *The Role of Soil Seed Banks in Restoration and Management*. *Ecological Restoration* 7(1): S. 24–29. doi: 10.3368/er.7.1.24.
- Göttlein, A. 1992. *PH-Änderungen Der Böden Im Bereich Des Forstamtes Rothenbuch Seit 1982*. S. 169–78.
- Gratzer, G. 2020. *Klimawandel und Gebirgswälder: Bedrohung der Multifunktionalität?*. WARNSIGNAL KLIMA: Hochgebirge im Wandel. GEO Verlag. S. 225–231.
- Hamm, T., J. Weidig, F. Huth, W. Kuhlisch, und S. Wagner. 2014. *Wachstumsreaktionen junger Weißtannen-Voraussaaten auf Begleitvegetation und Strahlungskonkurrenz*. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 185: S. 45–59.
- Hirzel, A. H., und G. Le Lay. 2008. *Habitat Suitability Modelling and Niche Theory*. *Journal of Applied Ecology* 45(5): S. 1372–1381. doi: 10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x.
- Hofmeister, J., J. Hošek, M. Modrý, und J. Roleček. 2009. *The Influence of Light and Nutrient Availability on Herb Layer Species Richness in Oak-Dominated Forests in Central Bohemia*. *Plant Ecology* 205(1): S. 57–75. doi: 10.1007/s11258-009-9598-z.
- Holst, T., S. Hauser, A. Kirchgässner, A. Matzarakis, H. Mayer, und D. Schindler. 2004. *Measuring and Modelling Plant Area Index in Beech Stands*. *International Journal of Biometeorology* 48(4): S. 192–201. doi: 10.1007/s00484-004-0201-y.
- InfoFlora. 2017. *Checklist 2017 & Synonymie-Index*. Abgerufen am 12. November 2021 (<https://www.infoflora.ch/de/flora/taxonomie/checklist.html>).

- Ing.-Büro Behling. 2018. *Solariscope SOL 300 Bedienungsanleitung Version 1.2*. Hermannsburg. 23 S.
- Kalt, T. 2019. *Der Einfluss von Standortseigenschaften und Bestandesgeschichte auf die Naturverjüngung in Gebirgsnadelwäldern*. Bachelorarbeit, Birmensdorf/Wädenswil: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL / ZHAW Wädenswil. 121 S.
- Kinzel, H. 1983. *Influence of Limestone, Silicates and Soil PH on Vegetation*. Physiological Plant Ecology III. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. S. 201–244
- Kipfer, T., und A. Bosshard. 2007. *Geringe Samenbank von beweidbaren Arten für die Etablierung von Waldweiden im Schweizer Mittelland*. Botanica Helvetica 117(2): S. 159–67. doi: 10.1007/s00035-007-0815-x.
- Knauer, N. 1981. *Vegetationskunde Und Landschaftsökologie*. Heidelberg: Quelle und Meyer. 315 S.
- Kompa, T. 2004. *Die Initialphase Der Vegetationsentwicklung Nach Windwurf in Buchen-Wäldern Auf Zechstein- Und Buntsandstein-Standorten Des Südwestlichen Harzvorlandes*. Dissertation, Göttingen: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Georg-August-Universität. 223 S.
- Kulli, B., R. Krebs, L. Matile, R. Berger, R. Bollinger, C. Rupflin, und S. Amrein. 2014. *Bodenkundliches Praktikum*. ZHAW Wädenswil. 32 S.
- Lauber, K., G. Wagner, und A. Gygax. 2018. *Flora Helvetica - Illustrierte Flora Der Schweiz*. 6th ed. Bern: Haupt Verlag. 1686 S.
- Laverman, A. M., H. R. Zoomer, H. W. van Verseveld, und H. A. Verhoef. 2000. *Temporal and Spatial Variation of Nitrogen Transformations in a Coniferous Forest Soil*. Soil Biology and Biochemistry 10(32): S. 1161-1670.
- Leuschner, C. 1999. *Zur Abhängigkeit Der Baum- Und Krautschicht Mitteleuropäischer Waldgesellschaften von Der Nährstoffversorgung Des Bodens*. Berichte Der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft 11: S. 109–131.
- Meteo Schweiz. 2021. *Swiss Geoportal*. Geo.Admin.ch. Abgerufen am 10. Januar 2022. (<https://map.geo.admin.ch>).
- Metz, Laura. 2019. *Wiederholungsaufnahme Bergmischwaldversuch Ruhpolding: Die Entwicklung Der Naturverjüngung von 1976 Bis 2018 Unter Berücksichtigung Verschiedener Einflussfaktoren Und Vergleich Mit Der Kunstverjüngung*. Masterarbeit, Technische Universität München, Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement. 184 S.
- Moora, M., T. Daniell, H. Kalle, J. Liira, Kersti Püssa, E. Roosaluuste, M. Öpik, R. Wheatley, und M. Zobel. 2007. *Spatial Pattern and Species Richness of Boreonemoral Forest Understorey and Its Determinants—A Comparison of Differently Managed Forests*. Forest Ecology and Management 250(1–2): S. 64–70. doi: 10.1016/j.foreco.2007.03.010.

- Mosandl, R. 1991. *Die Steuerung von Waldökosystemen Mit Waldbaulichen Mitteln - Dargestellt Am Beispiel Des Bergmischwaldes*. Bayerisches Staatsministerium Für Ernährung, Landwirtschaft Und Forsten (46): S. 1–246.
- Nykvist, Nils, und Ulf Skyllberg. 1989. *The Spatial Variation of PH in the Mor Layer of Some Coniferous Forest Stands in Northern Sweden*. Scandinavian Journal of Forest Research 4(1–4): S. 3–11. doi: 10.1080/02827588909382541.
- Oeschger Centre. 2009. *Geologischer Querschnitt Durch Die Rutschung Gryfenbach*. Universität Bern. 4 S.
- Ott, E., M. Frehner, H. U. Frey, und P. Lüscher. 1997. *Gebirgsnadelwälder. Ein Praxisorientierter Leitfaden Für Eine Standortgerechte Waldbehandlung*. Bern: Paul Haupt Verlag. 287 S.
- PLANAT. 2021. *Föhn Chronik*. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT. Abgerufen am 26. Januar 2022. (<https://www.planat.ch/de/wissen/sturm/foehn/foehn-chronik>).
- Polechová, J., und D. Storch. 2019. *Ecological Niche*. Elsevier: Encyclopedia of Ecology. S. 72–80
- Rapp, C., und N. Bartsch. 2016. *Waldgräser - Der Bestimmungsführer*. 1st ed. Bern: Haupt Verlag. 260 S.
- Rastin, N. 1992. *Beziehung zwischen ökologischen Artengruppen und bodenchemischen Verhältnissen in Hamburger Waldbeständen*. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 155(3): S. 169–174. doi: 10.1002/jpln.19921550302.
- Reeg, T., und U. Kaufmann. 2008. *Stürmische Zeiten Im Bergwald*. Schaan (LIE): CIPRA alpMedia. 14 S.
- Schmidt, W. 1997. *Zur Vegetationsdynamik von Lochhieben in einem Kalkbuchenwald*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 116(1–6): S. 207–217. doi: 10.1007/BF02766898.
- Schmidt, W., und M. Streit. 2009. *Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Diversität der Baumschicht und der Bodenvegetation? – Untersuchungen in Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern des Göttinger Waldes (Süd-Niedersachsen, Deutschland)*. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz (7): S. 5–19.
- Schütz, J.-P. 2004. *Opportunistic Methods of Controlling Vegetation, Inspired by Natural Plant Succession Dynamics with Special Reference to Natural Outmixing Tendencies in a Gap Regeneration*. Annals of Forest Science 61(2): S. 149–156. doi: 10.1051/forest:2004006.
- Seidling, W. 2005. *Ground Floor Vegetation Assessment within the Intensive (Level II) Monitoring of Forest Ecosystems in Germany: Chances and Challenges*. European Journal of Forest Research 124(4): S. 301–312. doi: 10.1007/s10342-005-0087-1.
- Skyllberg, Ulf. 1990. *Correlation between PH and Depth in the Mor Layer of a Picea Abies (L.) Karst. Stand on till Soils in Northern Sweden*. Scandinavian Journal of Forest Research 5(1–4): S. 143–153. doi: 10.1080/02827589009382601.

- Slezák, M., und I. Axmanová. 2016. *Patterns of Plant Species Richness and Composition in Deciduous Oak Forests in Relation to Environmental Drivers*. *Community Ecology* 17(1): S. 61–70. doi: 10.1556/168.2016.17.1.8.
- Technische Universität Ilmenau. 2020. *FloralIncognita*.
- Tüxen, R., und H. Ellenberg. 1937. *Der Systematische Und Der Ökologische Gruppenwert*. *Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft*. S. 1-15
- Ulber, M. 2002. *Krise im Gebirgswald: Exposé zum Abschluss des NDK "Entscheidungsfaktor Raum"*. ETH Zurich. doi: 10.3929/ETHZ-A-004422693. 8 S.
- Valerio, M., R. Ibáñez, und A. Gazol. 2021. *The Role of Canopy Cover Dynamics over a Decade of Changes in the Understory of an Atlantic Beech-Oak Forest*. *Forests* 12(7): S. 1-16. doi: 10.3390/f12070938.
- Vild, O., und I. Douglas Rotherham. 2021. *Long-term Exclosure of Sheep-grazing from an Ancient Wood: Vegetation Change after a Sixty-year Experiment*. *Applied Vegetation Science* 24(1): S. 1–10. doi: 10.1111/avsc.12543.
- Wild, A. 1979. *Physiologie Der Photosynthese Höherer Pflanzen: Die Anpassung an Die Lichtbedingungen*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd 92(1): S. 341–364. doi: 10.1111/j.1438-8677.1979.tb03283.x.
- Yu, M., und O. J. Sun. 2013. *Effects of Forest Patch Type and Site on Herb-Layer Vegetation in a Temperate Forest Ecosystem*. *Forest Ecology and Management* 300: S. 14–20. doi: 10.1016/j.foreco.2012.12.039.
- Zaugg, A., A. Lässig, P. Nikolova, A. Kupferschmid, und P. Brang. 2021. *Inventuranleitung Versuchsflächeninventur*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 28 S.
- Zaugg, A., A. Lässig, P. Nikolova, A. Kupferschmid, J. Nitzsche, und P. Brang. 2021. *Anleitung Versuchsflächeneinrichtung Und -Inventur Für Flüelen Und Lauterbrunnen TF1*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 66 S.
- Zimmermann, Stephan, Andreas Chervet, Claudia Maurer, und Wolfgang G. Sturny. 2010. *Säurestatus Und Versauerungszustand von Waldböden Im Kanton Bern | State of Acidification and Sensitivity to Acidification of Forest Soils in the Canton of Bern*. *Schweizerische Zeitschrift Für Forstwesen* 161(12): S. 524–529. doi: 10.3188/szf.2010.0524.

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: LAGE DER VERSUCHSFLÄCHEN DES PROJEKTS GEBIRGSWALDVERJÜNGUNG IM ÖKOGRAMM DER HOCHMONTANEN STUFE. DIE STANDORTSREGION IST DURCH DIE FARBEN GEKENNZEICHNET, DER STANDORTSTYP NACH NAIS-LFI (FREHNER AND DIONEIA 2020) DURCH DIE ZAHLEN. NACH (ZAUGG, LÄSSIG, NIKOLOVA, KUPFERSCHMID, NITZSCHE, ET AL. 2021)	9
ABB. 2: WALDABSCHNITT AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN SAGOGR GR. EIGENE AUFNAHME.	10
ABB. 3: LAGE DER VERSUCHSFLÄCHE SAGOGR GR (ROT) SOWIE DER RESTLICHEN STANDORTE IM PROJEKT GEBIRGSWALDVERJÜNGUNG (BLAU). NACH (ZAUGG, LÄSSIG, NIKOLOVA, KUPFERSCHMID, NITZSCHE, ET AL. 2021)	10
ABB. 4: VERSUCHSFLÄCHE IN LAUTERBRUNNEN BE.	11
ABB. 5: LAGE DER VERSUCHSFLÄCHE LAUTERBRUNNEN BE (ROT) SOWIE DER RESTLICHEN STANDORTE IM PROJEKT GEBIRGSWALDVERJÜNGUNG (BLAU). (ZAUGG, LÄSSIG, NIKOLOVA, KUPFERSCHMID, NITZSCHE, ET AL. 2021)	11
ABB. 6: VERTEILUNG DER PROBEFLÄCHEN AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN (TF 02 = STARK, TF 01 = SCHWACH, TF 09 = KONTROLLE) IN SAGOGR GR (ZAUGG, LÄSSIG, NIKOLOVA, KUPFERSCHMID, NITZSCHE, ET AL. 2021).	14
ABB. 7: VERTEILUNG DER PROBEFLÄCHEN AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN (TF 002 = SCHWACH, TF 001 = STARK, TF 009 = KONTROLLE) IN LAUTERBRUNNEN BE (ZAUGG, LÄSSIG, NIKOLOVA, KUPFERSCHMID, NITZSCHE, ET AL. 2021).	14
ABB. 8: AUFNAHMESCHEMA UND AUFBAU DER PROBEFLÄCHEN DER VERJÜNGUNGSINVENTUR IM PROJEKT «GEBIRGSWALDVERJÜNGUNG» (ZAUGG, LÄSSIG, NIKOLOVA, KUPFERSCHMID, NITZSCHE, ET AL. 2021).	15
ABB. 9: PROBENAHE MIT DEM HOHLMEISSEL, HIER AM BEISPIEL IN SAGOGR. DIE ORGANISCHE AUFLAGE WURDE NICHT IN DIE PROBE AUFGENOMMEN. EIGENE AUFNAHME.	17
ABB. 10: GEGENÜBERSTELLUNG DER DOPPELBESTIMMUNG DER PH-WERTE (ALS PUNKTE), WOBEI DIE GESTRICHELTE LINIE EINE THEORETISCHE 1:1 REGRESSION DARSTELLT.	21
ABB. 11: MEDIANE (HORIZONTALE LINIEN) SOWIE STREUUNG ZWISCHEN OBEREM UND UNTEREM QUARTIL (OBERE UND UNTERE GRENZE DES BOXPLOTS) VON DSF (DIRECT SITE FACTOR = DIREKTE STRAHLUNG), ISF (INDIRECT SITE FACTOR = INDIREKTE STRAHLUNG) UND OPENNESS AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN IN SAGOGR GR. AUSREISSER SIND ALS PUNKTE DARGESTELLT. SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE BESTEHEN FÜR DEN DSF ZWISCHEN TEILFLÄCHE «STARK» UND «KONTROLLE».	25
ABB. 12: MEDIANE (HORIZONTALE LINIEN) SOWIE STREUUNG ZWISCHEN OBEREM UND UNTEREM QUARTIL (OBERE UND UNTERE GRENZE DES BOXPLOTS) DES LAI (LEAF AREA INDEX = BLATTFLÄCHENINDEX) AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN IN SAGOGR GR. SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE KOMMEN ZWISCHEN DEN TEILFLÄCHEN «SCHWACH» UND «STARK» SOWIE ZWISCHEN «SCHWACH» UND «KONTROLLE» VOR.	26
ABB. 13: KORRELATIONSTEST ZWISCHEN DEN WERTEN VON LAI (LEAF AREA INDEX = BLATTFLÄCHENINDEX) UND OPENNESS IN SAGOGR GR.	26
ABB. 14: ABHÄNGIGKEIT ZWISCHEN DEM MITTELWERT UND DER STANDARDABWEICHUNG DER ZWEI LICHTFAKTOREN ISF (INDIRECT SITE FACTOR = INDIREKTE STRAHLUNG) UND DSF (DIRECT SITE FACTOR = DIREKTE STRAHLUNG) IN SAGOGR GR.	27
ABB. 15: MEDIANE (HORIZONTALE LINIEN) SOWIE STREUUNG ZWISCHEN OBEREM UND UNTEREM QUARTIL (OBERE UND UNTERE GRENZE DES BOXPLOTS) VON DSF (DIRECT SITE FACTOR = DIREKTE STRAHLUNG), ISF (INDIRECT SITE FACTOR = INDIREKTE STRAHLUNG) UND OPENNESS AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN IN LAUTERBRUNNEN BE. AUSREISSER SIND ALS PUNKTE DARGESTELLT. ZWISCHEN DER TEILFLÄCHE «SCHWACH» UND «KONTROLLE» GIBT ES BEZÜGLICH DER OPENNESS SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE. AUCH UNTERSCHIEDET SICH DIE TEILFLÄCHE «SCHWACH» VON DEN BEIDEN TEILFLÄCHEN «STARK» UND «KONTROLLE» FÜR DEN ISF UND DSF.	28
ABB. 16: MEDIANE (HORIZONTALE LINIEN) SOWIE STREUUNG ZWISCHEN OBEREM UND UNTEREM QUARTIL (OBERE UND UNTERE GRENZE DES BOXPLOTS) DES LAI (LEAF AREA INDEX = BLATTFLÄCHENINDEX) AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN IN LAUTERBRUNNEN BE. SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE KOMMEN ZWISCHEN DEN TEILFLÄCHEN «SCHWACH» UND «STARK» SOWIE ZWISCHEN «STARK» UND «KONTROLLE» VOR.	29
ABB. 17: KORRELATIONSTEST ZWISCHEN DEN WERTEN VON LAI (LEAF AREA INDEX = BLATTFLÄCHENINDEX) UND OPENNESS IN LAUTERBRUNNEN BE.	30
ABB. 18: ABHÄNGIGKEIT ZWISCHEN DEM MITTELWERT UND DER STANDARDABWEICHUNG DER ZWEI LICHTFAKTOREN ISF (INDIRECT SITE FACTOR = INDIREKTE STRAHLUNG) UND DSF (DIRECT SITE FACTOR = DIREKTE STRAHLUNG) IN LAUTERBRUNNEN BE.	30

ABB. 19. VERTEILUNG DER SÄUREGRADE (E0=ALKALISCH, E1=NEUTRAL, E2= SCHWACH SAUER, E3=SAUER) IN VERSCHIEDENEN BODENTIEFEN (IN CM) AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN «SCHWACH», «STARK» UND «KONTROLLE IN SAGOGR GR. _____	31
ABB. 20. VERTEILUNG DER SÄUREGRADE (E3=SAUER, E4=STARK SAUER, E5=SEHR STARK SAUER) IN VERSCHIEDENEN BODENTIEFEN (IN CM) AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN «SCHWACH», «STARK» UND «KONTROLLE IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	32
ABB. 21. RELATIVE VERTEILUNG DER 13 HÄUFIGSTEN ARTEN (PRÄSENZ AUF MINDESTENS 50% ALLER PROBEFLÄCHEN) AUF DEN DREI VERSCHIEDENEN TEILFLÄCHEN IN SAGOGR GR. _____	33
ABB. 22. RELATIVE VERTEILUNG DER 7 HÄUFIGSTEN ARTEN (PRÄSENZ AUF MINDESTENS 50% ALLER PROBEFLÄCHEN) AUF DEN DREI VERSCHIEDENEN TEILFLÄCHEN IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	34
ABB. 23. DIE ANZAHL ARTEN PRO PROBEPUNKT (TOTAL N=216) IM VERHÄLTNISS ZU DSF (DIREKTER STRAHLUNG) UND ISF (INDIREKTER STRAHLUNG) AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN SAGOGR GR. _____	36
ABB. 24. DIE ANZAHL ARTEN PRO PROBEPUNKT (TOTAL N=216) IM VERHÄLTNISS ZUR OPENNESS AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN SAGOGR GR. _____	37
ABB. 25. ARTEN, WELCHE AUF PROBEPUNKTEN MIT DER ARTANZAHL 1 & 2 IN SAGOGR GR VORKOMMEN. _	38
ABB. 26. ARTEN, WELCHE AUF PROBEPUNKTEN MIT DER ARTANZAHL 3-5 MIT EINER HÄUFIGKEIT VON MINDESTENS 3 INDIVIDUEN IN SAGOGR GR VORKOMMEN. ALLE WEITEREN, NUR SELTEN (<3 INDIVIDUEN) VORKOMMENDEN ARTEN WURDEN IN DIE KATEGORIE «SONSTIGE» ZUSAMMENGEFASST. DARUNTER FALLEN AQUILEGIA V., TUSSILAGO F., KNAUTIA D., HELIANTHEMUM N. SUBSP. G., PIMPINELLA M., VERONICA C., RANUNCULUS T., LATHYRUS V. UND PARIS Q. _____	38
ABB. 27. ARTEN, WELCHE AUF PROBEPUNKTEN MIT DER ARTANZAHL 6 & 7 MIT EINER HÄUFIGKEIT VON MINDESTENS 2 INDIVIDUEN IN SAGOGR GR VORKOMMEN. ALLE WEITEREN, NUR SELTEN (<3 INDIVIDUEN) VORKOMMENDEN ARTEN WURDEN IN DIE KATEGORIE «SONSTIGE» ZUSAMMENGEFASST. DARUNTER FALLEN PARIS Q., LACTUCA M., TUSSILAGO F., KNAUTIA D., VERONICA C. UND VACCINIUM M. _____	39
ABB. 28. STREUDIAGRAMM MIT DEN AUFSUMMIERTEN DECKUNGSGRADEN VON EINZELNEN PROBEPUNKTEN (JEWEILS MIT DER AUSRICHTUNG NORD UND OST, WELCHE ZUM QUADRANTEN DER GESAMTARTENLISTE GEHÖRTEN) IN ABHÄNGIGKEIT DER DREI LICHTPARAMETER DSF (=DIREKTE STRAHLUNG), ISF (=INDIREKTE STRAHLUNG) UND OPENNESS IN SAGOGR GR, WOBEI N=54 FÜR JEDEN LICHTPARAMETER. DIE R-WERTE LAUTEN FÜR DSF = 0.17, FÜR ISF = 0.41 UND FÜR OPENNESS = 0.43. _____	40
ABB. 29. DIE ANZAHL ARTEN PRO PROBEPUNKT (TOTAL N=216) IM VERHÄLTNISS ZU DSF (DIREKTER STRAHLUNG) UND ISF (INDIREKTER STRAHLUNG) AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	41
ABB. 30. DIE ANZAHL ARTEN PRO PROBEPUNKT (TOTAL N=216) IM VERHÄLTNISS ZUR OPENNESS AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	42
ABB. 31. ARTEN, WELCHE AUF PROBEPUNKTEN MIT DER ARTANZAHL 1 IN LAUTERBRUNNEN BE VORKOMMEN. _____	43
ABB. 32. ARTEN, WELCHE AUF PROBEPUNKTEN MIT DER ARTANZAHL 2-4 MIT EINER HÄUFIGKEIT VON MINDESTENS 3 INDIVIDUEN IN LAUTERBRUNNEN BE VORKOMMEN. ALLE WEITEREN, NUR SELTEN (<3 INDIVIDUEN) VORKOMMENDEN ARTEN WURDEN IN DIE KATEGORIE «SONSTIGE» ZUSAMMENGEFASST. DARUNTER FALLEN LINNEA B., CAMPANULA R., GALEOBDOLLON L., KNAUTIA D., POLYGONATUM V., CICERBITA A., DRYOPTERIS F., FRAGARIA V. UND OREOPTERIS L. _____	43
ABB. 33. ARTEN, WELCHE AUF PROBEPUNKTEN MIT DER ARTANZAHL 5 & 6 IN LAUTERBRUNNEN BE VORKOMMEN. _____	44
ABB. 34. STREUDIAGRAMM MIT DEN AUFSUMMIERTEN DECKUNGSGRADEN VON EINZELNEN PROBEPUNKTEN (JEWEILS MIT DER AUSRICHTUNG NORD UND OST, WELCHE ZUM QUADRANTEN DER GESAMTARTENLISTE GEHÖRTEN) IN ABHÄNGIGKEIT DER DREI LICHTPARAMETER DSF (=DIREKTE STRAHLUNG), ISF (=INDIREKTE STRAHLUNG) UND OPENNESS IN LAUTERBRUNNEN BE, WOBEI N=54 FÜR JEDEN LICHTPARAMETER. DIE R-WERTE LAUTEN FÜR DSF = 0.18, FÜR ISF = 0.22 UND FÜR OPENNESS = 0.2. _____	45
ABB. 35. VORKOMMEN VERSCHIEDENER ARTEN UND DEREN INDIVIDUENANZAHL IN DEN HÖHENSTUFEN ((1 = 0-5CM, 2 = 6-10CM, 3 = 11-20CM, 4 = 21-40CM, 5 = >40CM) SOWIE DIE TOTALE ARTANZAHL PRO HÖHENSTUFE (ILLUSTRIERT ALS ROTE LINIE) AUF DEN PROBEPUNKTEN MIT ARTANZAHL 1 & 2 BZW. 6 & 7 IN SAGOGR GR. _____	46
ABB. 36. VORKOMMEN VERSCHIEDENER ARTEN UND DEREN INDIVIDUENANZAHL IN DEN HÖHENSTUFEN ((1 = 0-5CM, 2 = 6-10CM, 3 = 11-20CM, 4 = 21-40CM, 5 = >40CM) SOWIE DIE TOTALE ARTANZAHL PRO HÖHENSTUFE (ILLUSTRIERT ALS ROTE LINIE) AUF DEN PROBEPUNKTEN MIT ARTANZAHL 3-5 IN SAGOGR GR. _____	47

ABB. 37. VORKOMMEN VERSCHIEDENER ARTEN UND DEREN INDIVIDUENANZAHL IN DEN HÖHENSTUFEN ((1 = 0-5CM, 2 = 6-10CM, 3 = 11-20CM, 4 = 21-40CM, 5 = >40CM) SOWIE DIE TOTALE ARTANZAHL PRO HÖHENSTUFE (ILLUSTRIERT ALS ROTE LINIE) AUF DEN PROBEPUNKTEN MIT ARTANZAHL 1 BZW. 5 & 6 IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	48
ABB. 38. VORKOMMEN VERSCHIEDENER ARTEN UND DEREN INDIVIDUENANZAHL IN DEN HÖHENSTUFEN ((1 = 0-5CM, 2 = 6-10CM, 3 = 11-20CM, 4 = 21-40CM, 5 = >40CM) SOWIE DIE TOTALE ARTANZAHL PRO HÖHENSTUFE (ILLUSTRIERT ALS ROTE LINIE) AUF DEN PROBEPUNKTEN MIT ARTANZAHL 2 - 4 IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	49
ABB. 39. PH-WERTE IN DER TIEFE -10-0CM SOWIE -11-20CM IM VERHÄLTNIS ZU DEN ANZAHL ARTEN PRO PROBEPUNKT IN SAGOGR GR. _____	50
ABB. 40. SÄUREGRADE DER PROBEPUNKTE IN DEN TIEFEN 0-10CM SOWIE -11-20CM IM VERHÄLTNIS ZU DER ANZAHL ARTEN IN SAGOGR GR, WOBEI E0=ALKALISCH, E1=NEUTRAL, E2=SCHWACH SAUER, E3=SAUER, E4=STARK SAUER (BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ, BGS 2010). _____	51
ABB. 41. ANTEIL DER HÄUFIGSTEN ARTEN BEI PROBEPUNKTEN (TOTAL N=108) MIT DEN SÄUREGRADEN E0 (=ALKALISCH), E1 (=NEUTRAL), E2 (=SCHWACH SAUER), E3 (=SAUER) IN DEN MESSTIEFEN 0-10CM UND -11-20CM IN SAGOGR GR. _____	52
ABB. 42. PH-WERTE IN DER TIEFE -10-0CM SOWIE -11-20CM IM VERHÄLTNIS ZU DEN ANZAHL ARTEN PRO PROBEPUNKT IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	53
ABB. 43. SÄUREGRADE DER PROBEPUNKTE IN DEN TIEFEN 0-10CM SOWIE -11-20CM IM VERHÄLTNIS ZU DER ANZAHL ARTEN IN SAGOGR GR, WOBEI E0=ALKALISCH, E1=NEUTRAL, E2=SCHWACH SAUER, E3=SAUER, E4=STARK SAUER, E5=SEHR STARK SAUER (BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ, BGS 2010). _____	54
ABB. 44. ANTEILE DER HÄUFIGSTEN ARTEN (PRÄSENZ AUF MIN. 50% ALLER FLÄCHEN) BEI PROBEPUNKTEN (TOTAL N=108) MIT DEN SÄUREGRADEN E3 (=SAUER), E4 (=SEHR SAUER) UND E5 (=SEHR STARK SAUER) IN DEN MESSTIEFEN 0-10CM SOWIE -11-20CM IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	55
ABB. 45. VERTEILUNG DER ARTANZAHL BEI VERSCHIEDENEN HUMUSFORMEN IN SAGON GR. _____	56
ABB. 46. VERTEILUNG DER ARTANZAHL BEI VERSCHIEDENEN HUMUSFORMEN IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	56
ABB. 47. VERTEILUNG DER ARTANZAHL BEI VERSCHIEDENEM MIKRORELIEF IN SAGOGR GR. _____	57
ABB. 48. VERTEILUNG DER ARTANZAHL BEI VERSCHIEDENEM MIKRORELIEF IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	58
ABB. 49. ANTEIL (IN %) AN DER GESAMTFLÄCHE DER HÄUFIGSTEN (ANTEILSMÄSSIG >5%, SOMIT AUF MINDESTENS 11 PROBEPUNKTEN) GRUPPENKOMBINATIONEN IN SAGOGR GR. DIE ANZAHL DER VIER HÄUFIGSTEN KOMBINATIONEN LIEGT BEI 189 (N=216). _____	60
ABB. 50. ANTEIL (IN %) AN DER GESAMTFLÄCHE DER HÄUFIGSTEN (ANTEILSMÄSSIG >5%, SOMIT AUF MINDESTENS 11 PROBEPUNKTEN) GRUPPENKOMBINATIONEN IN LAUTERBRUNNEN BE. DIE ANZAHL DER FÜNF HÄUFIGSTEN KOMBINATIONEN LIEGT BEI 163 (N=216). _____	64
ABB. 51. RELATIVE VERTEILUNG ALLER VORKOMMENDEN ARTEN IN SAGOGR AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN. _	86
ABB. 52. RELATIVE VERTEILUNG ALLER VORKOMMENDEN ARTEN IN LAUTERBRUNNEN BE AUF DEN DREI TEILFLÄCHEN. _____	87
ABB. 53. ROHDATEN DER PUNKTUELLEN VEGETATIONS-AUFNAHMEN FÜR ALLE 54 PROBEFLÄCHEN MIT HÖHENANGABEN (IN ZENTIMETER) IN LAUTERBRUNNEN BE. _____	90
ABB. 54. ROHDATEN DER PUNKTUELLEN VEGETATIONS-AUFNAHMEN FÜR ALLE 54 PROBEFLÄCHEN MIT HÖHENANGABEN (IN ZENTIMETER) IN SAGOGR GR. _____	90

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1. CODES UND KATEGORIEN, WELCHE BEI DER AUFNAHME DES MIKRORELIEFS BENUTZT WERDEN.	15
TABELLE 2. VERWENDETE ARTMÄCHTIGKEITS-GRUPPEN MIT DEN ENTSPRECHENDEN DECKUNGSMITTELWERTEN (NACH GEHLKER 1977; TÜXEN UND ELLENBERG 1937).	18
TABELLE 3. EINTEILUNG DER PH-WERTE IM BODEN IN SÄUREGRADE. NACH (BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ, BGS 2010; KULLI ET AL. 2014).	21
TABELLE 4. EINTEILUNG DER BODENVEGETATION IN HÖHENKLASSEN UND DIE ENTSPRECHENDEN ZENTIMETERANGABEN SOWIE VERJÜNGUNGSKLASSEN IM WALDBAU.	22
TABELLE 5. EINTEILUNG ALLER GEFUNDENEN ARTEN IN SAGOGR GR SOWIE IN LAUTERBRUNNEN BE IN KATEGORIEN. KATEGORIEN NACH (BRANG ET AL. 2017; KALT 2019).	23
TABELLE 6. MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN, MEDIAN SOWIE MINIMUM UND MAXIMUM VON DSF (=DIRECT SITE FACTOR), ISF (=INDIRECT SITE FACTOR), OPENNESS UND LAI (=LEAF AREA INDEX) DER DREI TEILFLÄCHEN IN SAGOGR GR. DABEI	24
TABELLE 7. MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN, MEDIAN SOWIE MINIMUM UND MAXIMUM VON DSF (=DIRECT SITE FACTOR), ISF (=INDIRECT SITE FACTOR), OPENNESS UND LAI (=LEAF AREA INDEX) DER DREI TEILFLÄCHEN IN LAUTERBRUNNEN BE.	28
TABELLE 8. ALLE AUFTRETENDEN GRUPPENKOMBINATIONEN AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN SAGOGR GR. KOMBINATIONEN, WELCHE AUF MEHR ALS 50% DER PROBEPUNKTE VORKAMEN, WURDEN ALS SEHR HÄUFIG EINGESTUFT; JENE ZWISCHEN 25-50% ALS WENIGER HÄUFIG, 5-25% ALS EHER SELTEN UND UNTER 5% ALS SELTEN. GELB MARKIERT SIND DIE GRUPPENKOMBINATIONEN, WELCHE AUF MINDESTENS 11 PROBEPUNKTEN (>5%) VORKOMMEN.	60
TABELLE 9. ALLE IN SAGOGR GR AUFTRETENDE GRUPPENKOMBINATIONEN, WELCHE MINDESTENS EINE UNGÜNSTIGE (FARNE, HIMBEERE ODER ANDERE RUBUS-ARTEN, REITGRÄSER UND HOCHSTAUDEN) GRUPPE ENTHÄLT. KOMBINATIONEN, WELCHE AUF MEHR ALS 50% DER PROBEPUNKTE VORKAMEN, WURDEN ALS SEHR HÄUFIG EINGESTUFT; JENE ZWISCHEN 25-50% ALS WENIGER HÄUFIG, 5-25% ALS EHER SELTEN UND UNTER 5% ALS SELTEN.	61
TABELLE 10. ALLE AUFTRETENDEN GRUPPENKOMBINATIONEN AUF DER VERSUCHSFLÄCHE IN LAUTERBRUNNEN. KOMBINATIONEN, WELCHE AUF MEHR ALS 50% DER PROBEPUNKTE VORKAMEN, WURDEN ALS SEHR HÄUFIG EINGESTUFT; JENE ZWISCHEN 25-50% ALS WENIGER HÄUFIG, 5-25% ALS EHER SELTEN UND UNTER 5% ALS SELTEN. GELB MARKIERT SIND DIE GRUPPENKOMBINATIONEN, WELCHE AUF MINDESTENS 11 PROBEPUNKTEN (>5%) VORKOMMEN.	63
TABELLE 11. ALLE IN LAUTERBRUNNEN AUFTRETENDE GRUPPENKOMBINATIONEN, WELCHE MINDESTENS EINE UNGÜNSTIGE (FARNE, HIMBEERE ODER ANDERE RUBUS-ARTEN, REITGRÄSER UND HOCHSTAUDEN) GRUPPE ENTHÄLT. KOMBINATIONEN, WELCHE AUF MEHR ALS 50% DER PROBEPUNKTE VORKAMEN, WURDEN ALS SEHR HÄUFIG EINGESTUFT; JENE ZWISCHEN 25-50% ALS WENIGER HÄUFIG, 5-25% ALS EHER SELTEN UND UNTER 5% ALS SELTEN.	64
TABELLE 12. GESAMTARTENLISTE ALLER IN LAUTERBRUNNEN SOWIE IN SAGOGR GEFUNDENEN ARTEN MIT DEM VORKOMMEN IN DEN VERSCHIEDENEN TEILFLÄCHEN.	82
TABELLE 13. GESAMTARTENLISTE ALLER IN SAGOGR GR GEFUNDENEN ARTEN. AUFGELISTET NACH IHRER HÄUFIGKEIT AUF DEN PROBEFLÄCHEN DER VEGETATIONSAUFNAHME, WOBEI N=27.	84
TABELLE 14. GESAMTARTENLISTE ALLER IN LAUTERBRUNNEN BE GEFUNDENEN ARTEN. AUFGELISTET NACH IHRER HÄUFIGKEIT AUF DEN PROBEFLÄCHEN DER VEGETATIONSAUFNAHME, WOBEI N=27.	85
TABELLE 15. ROHDATEN DER GESAMTARTENLISTEN INKL. DECKUNGSGRADEN IN 5 ARTMÄCHTIGKEITSGRUPPEN (MIT ENTSPRECHENDEN MITTLEREN DECKUNGSGRADEN BEI 1=2.5%, 2=15%, 3=37.5%, 4=62.5%, 5=87.5%) AUF DEN UNGERADEN PROBEFLÄCHEN IN LAUTERBRUNNEN BE.	88
TABELLE 16. ROHDATEN DER GESAMTARTENLISTEN INKL. DECKUNGSGRADEN IN 5 ARTMÄCHTIGKEITSGRUPPEN (MIT ENTSPRECHENDEN MITTLEREN DECKUNGSGRADEN BEI 1=2.5%, 2=15%, 3=37.5%, 4=62.5%, 5=87.5%) AUF DEN UNGERADEN PROBEFLÄCHEN IN SAGOGR GR.	89
TABELLE 17. PH-WERTE AUS DEN LABORMESSUNGEN FÜR DIE PROBEN AUS LAUTERBRUNNEN BE.	91
TABELLE 18. PH-WERTE AUS DEN LABORMESSUNGEN FÜR DIE PROBEN AUS SAGOGR GR.	93

Anhang

Anhang A

Tabelle 12. Gesamtartenliste aller in Lauterbrunnen sowie in Sagogn gefundenen Arten mit dem Vorkommen in den verschiedenen Teilflächen.

	Lauterbrunnen			Sagogn		
	stark	Kontrolle	schwach	schwach	Kontrolle	stark
<i>Aquilegia vulgaris</i>				x	x	
<i>Athyrium filix-femina</i>	x					
<i>Avenella flexuosa</i>		x	x			
<i>Blechnum spicant</i>	x	x	x			
<i>Bromus ramosus</i>				x	x	x
<i>Campanula rotundifolia</i>					x	
<i>Carex alba</i>				x	x	x
<i>Carex flacca</i>				x	x	x
<i>Cicerbita alpina</i>	x	x				
<i>Clinopodium vulgare</i>				x	x	x
<i>Convallaria majalis</i>				x	x	
<i>Cynoglossum officinale</i>		x				
<i>Digitalis grandiflora</i>			x			
<i>Dryopteris carthusiana</i>	x	x	x			
<i>Dryopteris filix-mas</i>	x	x	x		x	
<i>Epipactis atrorubens</i>					x	
<i>Epipactis helleborine</i>	x	x				
<i>Fragaria vesca</i>			x	x	x	x
<i>Galeobdolon luteum</i>	x					
<i>Galium odoratum</i>				x	x	
<i>Galium rotundifolium</i>	x	x		x	x	x
<i>Gymnocarpium robertianum</i>				x	x	x
<i>Helianthemum nummularium subsp. Glabrum</i>						x
<i>Hepatica nobilis</i>				x	x	x
<i>Hieracium murorum agg.</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Homogyne alpina</i>	x	x	x			
<i>Knautia dipsacifolia</i>	x	x			x	x
<i>Lactuca muralis</i>				x	x	x
<i>Lathyrus vernus</i>					x	x
<i>Linnea borealis</i>	x					
<i>Luzula sylvatica</i>	x	x	x			
<i>Maianthemum bifolium</i>	x		x	x	x	x
<i>Melampyrum sylvaticum</i>		x	x	x	x	x

<i>Moose</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Oreopteris limbosperma</i>			x			
<i>Orthilia secunda</i>						x
<i>Oxalis acetosella</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Paris quadrifolia</i>				x	x	
<i>Petasites albus</i>	x		x			
<i>Phyteuma spicatum</i>	x	x	x			
<i>Pimpinella major</i>				x	x	x
<i>Platanthera bifolia</i>				x	x	x
<i>Polygonatum verticillatum</i>	x		x			
<i>Potentilla erecta</i>					x	
<i>Prenanthes purpurea</i>	x	x	x			
<i>Prunella vulgaris</i>				x		x
<i>Ranunculus lanuginosus</i>	x					
<i>Ranunculus platanifolius</i>	x	x				
<i>Ranunculus tuberosus</i>				x	x	x
<i>Rubus idaeus</i>			x			
<i>Rubus saxatilis</i>				x	x	x
<i>Senecio ovatus</i>					x	
<i>Solanum dulcamara</i>					x	
<i>Solidago virgaurea</i>	x	x	x			
<i>Tussilago farfara</i>					x	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	x	x	x	x		x
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>		x	x			x
<i>Veronica chamaedrys</i>				x		
<i>Veronica urticifolia</i>	x	x	x		x	x
<i>Viola hirta</i>				x	x	
<i>Viola reichenbachiana</i>				x	x	x

Anhang B

Tabelle 13. Gesamtartenliste aller in Sagogn GR gefundenen Arten. Aufgelistet nach ihrer Häufigkeit auf den Probeflächen der Vegetationsaufnahme, wobei n=27.

Art	Totale Anzahl
<i>Carex alba</i>	27
<i>Moose</i>	27
<i>Oxalis acetosella</i>	27
<i>Carex flacca</i>	25
<i>Hepatica nobilis</i>	25
<i>Maianthemum bifolium</i>	25
<i>Viola reichenbachiana</i>	25
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	24
<i>Hieracium murorum</i> agg.	23
<i>Fragaria vesca</i>	21
<i>Galium rotundifolium</i>	21
<i>Bromus ramosus</i>	21
<i>Rubus saxatilis</i>	17
<i>Ranunculus tuberosus</i>	9
<i>Pimpinella major</i>	8
<i>Clinopodium vulgare</i>	7
<i>Lathyrus vernus</i>	7
<i>Helianthemum nummularium</i> subsp. <i>Glabrum</i>	5
<i>Platanthera bifolia</i>	5
<i>Vaccinium myrtillus</i>	5
<i>Aquilegia vulgaris</i>	4
<i>Gymnocarpium robertianum</i>	4
<i>Knautia dipsacifolia</i>	4
<i>Lactuca muralis</i>	4
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	4
<i>Viola hirta</i>	4
<i>Epipactis atrorubens</i>	3
<i>Galium odoratum</i>	3
<i>Orthilia secunda</i>	3
<i>Paris quadrifolia</i>	3
<i>Prunella vulgaris</i>	3
<i>Veronica urticifolia</i>	3
<i>Dryopteris filix-mas</i>	3
<i>Convallaria majalis</i>	2
<i>Solanum dulcamara</i>	2
<i>Campanula rotundifolia</i>	1
<i>Veronica chamaedrys</i>	1
<i>Potentilla erecta</i>	1
<i>Senecio ovatus</i>	1
<i>Tussilago farfara</i>	1

Tabelle 14. Gesamtartenliste aller in Lauterbrunnen BE gefundenen Arten. Aufgelistet nach ihrer Häufigkeit auf den Probeflächen der Vegetationsaufnahme, wobei n=27.

Art	Totale Anzahl
<i>Moose</i>	27
<i>Luzula sylvatica</i>	25
<i>Hieracium murorum</i> <i>aggr.</i>	22
<i>Vaccinium myrtillus</i>	21
<i>Prenanthes purpurea</i>	20
<i>Oxalis acetosella</i>	18
<i>Melampyrum</i> <i>sylvaticum</i>	16
<i>Dryopteris filix-mas</i>	11
<i>Homogyne alpina</i>	9
<i>Blechnum spicant</i>	7
<i>Dryopteris carthusiana</i>	7
<i>Maianthemum bifolium</i>	7
<i>Phyteuma spicatum</i>	7
<i>Solidago virgaurea</i>	7
<i>Veronica urticifolia</i>	7
<i>Petasites albus</i>	6
<i>Galium rotundifolium</i>	5
<i>Avenella flexuosa</i>	5
<i>Epipactis helleborine</i>	4
<i>Galeobdolon luteum</i>	4
<i>Knautia dipsacifolia</i>	3
<i>Ranunculus lanuginosus</i>	3
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	3
<i>Cicerbita alpina</i>	2
<i>Polygonatum</i> <i>verticillatum</i>	2
<i>Ranunculus</i> <i>platanifolius</i>	2
<i>Athyrium filix-femina</i>	1
<i>Cynoglossum officinale</i>	1
<i>Digitalis grandiflora</i>	1
<i>Linnea borealis</i>	1
<i>Oreopteris limbosperma</i>	1
<i>Rubus idaeus</i>	1
<i>Fragaria vesca</i>	1

Lauterbrunnen

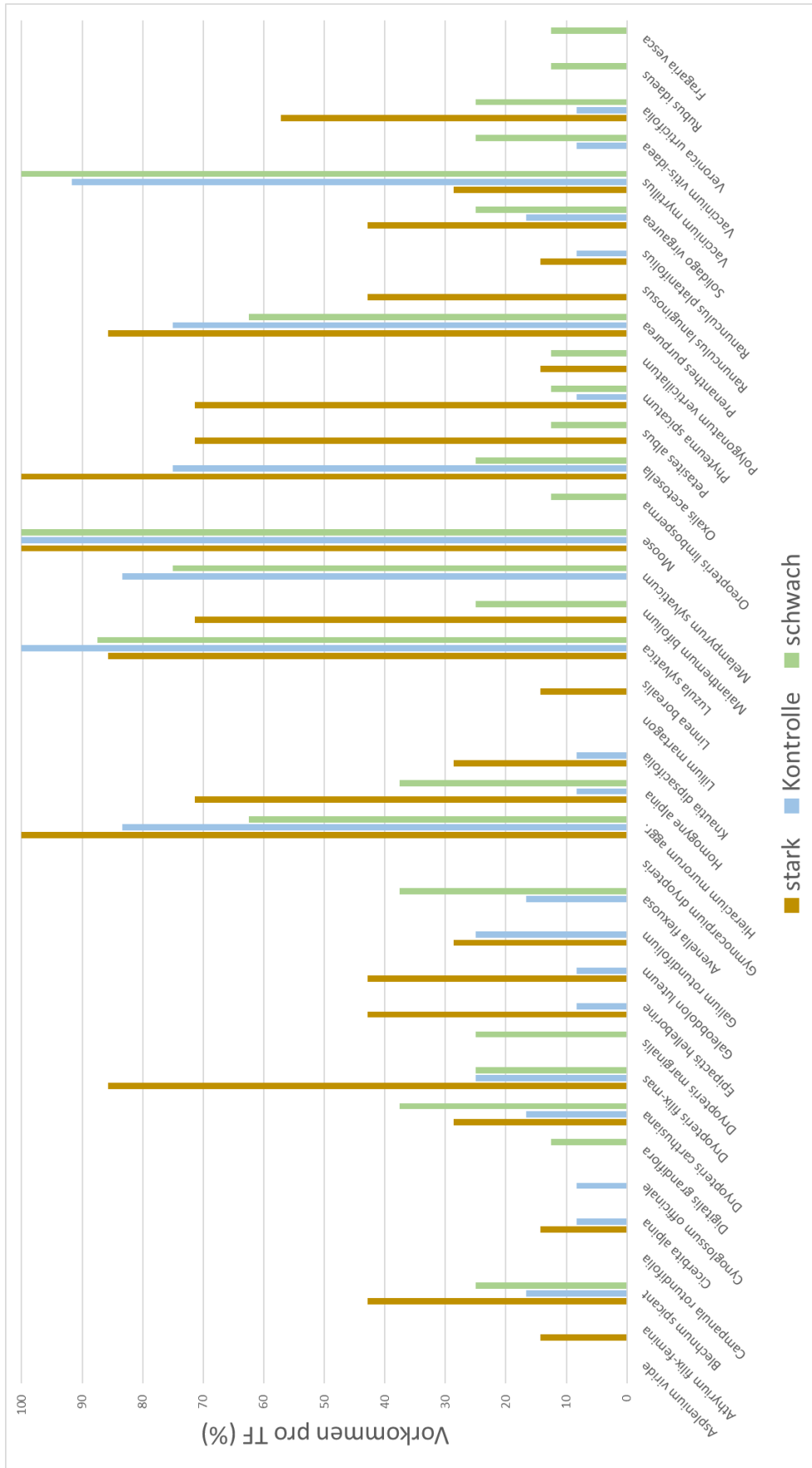


Abb. 52. Relative Verteilung aller vorkommenden Arten in Lauterbrunnen BE auf den drei Teilflächen.

Anhang D

Tabelle 15. Rohdaten der Gesamtartenlisten inkl. Deckungsgrade in 5 Artmächtigkeitsgruppen (mit entsprechenden mittleren Deckungsgraden bei 1=2.5%, 2=15%, 3=37.5%, 4=62.5%, 5=87.5%) auf den ungeraden Probeflächen in Lauterbrunnen BE.

Art	PF 1	PF 3	PF 5	PF 7	PF 9	PF 11	PF 15	PF 25	PF 27	PF 29	PF 31	PF 33	PF 35	PF 37	PF 39	PF 41	PF 43	PF 45	PF 47	PF 49	PF 51	PF 53	PF 55	PF 57	PF 67	PF 69	PF 71	
<i>Asplenium viride</i>																												
<i>Athyrium filix-femina</i>						2																						
<i>Blechnum spicant</i>	3			1		1			1								1						1			1		
<i>Campanula rotundifolia</i>																												
<i>Cicerbita alpina</i>							1							2														
<i>Cynoglossum officinale</i>														1														
<i>Digitalis grandiflora</i>																						1						
<i>Dryopteris carthusiana</i>						2	2											1	1				1	1			1	
<i>Dryopteris filix-mas</i>	1	2	3	2	1	1		1							1	1						1	1					
<i>Epipactis helleborine</i>		1		1				1										1										
<i>Galeobdolon luteum</i>			1	1		1								1														
<i>Galium rotundifolium</i>					1	1						1		1						1								
<i>Avenella flexuosa</i>								2	2															1			1	1
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>																												
<i>Hieracium murorum aggr.</i>	1	2	2	1	1	2	2	1	2	3	1	1	1	2	2		1		2		1		1		1	2	2	
<i>Homogyne alpina</i>	1	2			1	3	2							1												1	1	1
<i>Knautia dipsacifolia</i>		1				1								1														
<i>Linnea borealis</i>		1																										
<i>Luzula sylvatica</i>	3	3		1	2	2	2	3	3	3	2	2	1	3	3	2	3	3	3		2	2	1	3	1	3	2	
<i>Maianthemum bifolium</i>	2	1	2		3		1																1			1		
<i>Melampyrum sylvaticum</i>								2	1	3	1			2	1	2	3	3	1		2	1	1	1	1	2	1	
<i>Moose</i>	4	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	5	5	5	4
<i>Oreopteris limbosperma</i>																												
<i>Oxalis acetosella</i>	4	4	3	4	4	4	3	2	1				1	2	2	1	1	2	2			1			1			
<i>Petasites albus</i>		3		3	1	3	2																					3
<i>Phyteuma spicatum</i>		1		2	1	2	1							1														1
<i>Polygonatum verticillatum</i>						2																		1				
<i>Prenanthes purpurea</i>	4	3		1	2	2	1	1	1	2	1	1		2	1		2		2		1	1	2		1		1	
<i>Ranunculus lanuginosus</i>		1		1		3																						
<i>Ranunculus platanifolius</i>							1							1														
<i>Solidago virgaurea</i>			1			1	1						1					1						1				1
<i>Vaccinium myrtillus</i>	3	3						3	1	4	5		1	1	1	5	1	3	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>											2										2	1						
<i>Veronica urticifolia</i>		1		1		1	1							2												1		1
<i>Rubus idaeus</i>																						1						
<i>Fragaria vesca</i>																										1		

Tabelle 16. Rohdaten der Gesamtartenlisten inkl. Deckungsgrade in 5 Artmächtigkeitsgruppen (mit entsprechenden mittleren Deckungsgraden bei 1=2.5%, 2=15%, 3=37.5%, 4=62.5%, 5=87.5%) auf den ungeraden Probeflächen in Sagogn GR.

Art	PF 1	PF 3	PF 5	PF 7	PF 9	PF 11	PF 13	PF 15	PF 17	PF 19	PF 21	PF 23	PF 25	PF 27	PF 29	PF 31	PF 33	PF 35	PF 37	PF 39	PF 41	PF 43	PF 45	PF 47	PF 49	PF 51	PF 53	
<i>Aquilegia vulgaris</i>							1			1	1						1											
<i>Campanula rotundifolia</i>										1																		
<i>Carex alba</i>	3	3	3	3	4	3	2	4	3	4	4	3	3	3	2	4	4	1	2	3	2	1	1	4	3	3	1	
<i>Carex flacca</i>	2	2	2	2	2		1	1	2		1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	3	3	
<i>Clinopodium vulgare</i>	1						1			1	2						1					1				1		
<i>Convallaria majalis</i>									1		1																	
<i>Epipactis atrorubens</i>										1	1						1											
<i>Fragaria vesca</i>	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1		1			2	1	1			2	1		
<i>Galium odoratum</i>					2					1	1																	
<i>Galium rotundifolium</i>	1	1	1	1	1	2	1	2		1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1					
<i>Gymnocarpium robertianum</i>								1					1				2				1							
<i>Helianthemum nummularium subsp. Glabrum</i>																			2	2		1	1				1	
<i>Hepatica nobilis</i>	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Hieracium murorum agg.</i>	2	1	1	1		2	1		1	1		1	1	1		1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
<i>Knautia dipsacifolia</i>										1									1				1			1		
<i>Lactuca muralis</i>		1								1					1							1						
<i>Lathyrus vernus</i>										1			1	1					1	2	1	1						
<i>Maianthemum bifolium</i>	3	2	3	4	3	2	1	2	2	1	1	2	3	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2		
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	3	1	1	2	3	2	1	2	2		1	1	1	1	2	3	3	3	1	1	1				3	2	1	2
<i>Moose</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5
<i>Orthilia secunda</i>																				1		1	1					
<i>Oxalis acetosella</i>	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	3	3	4	4	3	3	2	3	2	2	4	3	2	2	4	3	3	
<i>Paris quadrifolia</i>	1												2		1													
<i>Pimpinella major</i>			1				1	1		1									1	1	1	2						
<i>Platanthera bifolia</i>	1	2			1												1		1									
<i>Bromus ramosus</i>	2		2	1	1	2	3	1	1	3	4	1		1	1	2	3		2	1	1	1	1			2		
<i>Prunella vulgaris</i>	2																						1			1		
<i>Ranunculus tuberosus</i>	1									1	1	1							1	1	1	1				1		
<i>Rubus saxatilis</i>		1	2	3					1	1	1	2	1	2	2	1			1	1	1	1	1			1		
<i>Solanum dulcamara</i>									1	1																		
<i>Vaccinium myrtillus</i>			1				2												4							1	2	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>																			1	1						1	1	
<i>Veronica chamaedrys</i>	1																											
<i>Veronica urticifolia</i>										1	1											1						
<i>Viola hirta</i>	1			1	1						1																	
<i>Viola reichenbachiana</i>	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2		1	1	1	2	1	1		1	1	
<i>Potentilla erecta</i>											1																	
<i>Dryopteris filix-mas</i>										1			1					1										
<i>Senecio ovatus</i>																	1											

Anhang F

Tabelle 17. pH-Werte aus den Labormessungen für die Proben aus Lauterbrunnen BE.

Probefläche	Quadrant	Tiefe	pH-Wert
1	N	0	3.89
1	N	11	3.67
1	E	0	3.43
1	E	11	3.16
2	N	0	3.06
2	N	11	3.17
2	E	0	3.26
2	E	11	3.11
3	N	0	3.48
3	N	11	3.67
3	E	0	3.56
3	E	11	3.68
4	N	0	4.05
4	N	11	4.04
4	E	0	4.21
4	E	11	4.67
5	N	0	3.33
5	N	11	3.55
5	E	0	4.15
5	E	11	4.38
6	N	0	3.18
6	N	11	3.05
6	E	0	3.6
6	E	11	3.53
7	N	0	3.49
7	N	11	3.63
7	E	0	3.51
7	E	11	3.15
8	N	0	3.55
8	N	11	3.18
8	E	0	3.86
8	E	11	3.49
9	N	0	3.71
9	N	11	3.9
9	E	0	3.45
9	E	11	3.31
10	N	0	3.63
10	N	11	3.4
10	E	0	3.57
10	E	11	3.39
11	N	0	3.47
11	N	11	3.52
11	E	0	3.76
11	E	11	3.51
12	N	0	3.62
12	N	11	3.53
12	E	0	3.31
12	E	11	3.22
13	N	0	3.22
13	N	11	3.54
13	E	0	3.58
13	E	11	3.42
14	N	0	3.22
14	N	11	3.24
14	E	0	3.11
14	E	11	3.23
15	N	0	3.44
15	N	11	3.49
15	E	0	3.76
15	E	11	3.64
25	N	0	3.52
25	N	11	3.38
25	E	0	3.5
25	E	11	3.21
26	N	0	3.76
26	N	11	3.36
26	E	0	3.54
26	E	11	3.17
27	N	0	3.41
27	N	11	3.48
27	E	0	3.84
27	E	11	3.39
28	N	0	3.85
28	N	11	3.7
28	E	0	3.42
28	E	11	3.33
29	N	0	3.32
29	N	11	3.39
29	E	0	3.13
29	E	11	3.19
30	N	0	3.54
30	N	11	3.3
30	E	0	3.09
30	E	11	3.26
31	N	0	3.29
31	N	11	3.31
31	E	0	3.43
31	E	11	3.17
32	N	11	3.39
32	E	0	3.51
32	E	0	3.29
32	E	11	3.25
33	N	0	4.15
33	N	11	3.36
33	E	0	3.88
33	E	11	3.39
34	N	0	3.29
34	N	11	3.48
34	E	0	3.25
34	E	11	3.78
35	N	0	3.35
35	N	11	3.36
35	E	0	3.54
35	E	11	3.36
36	N	0	3.37
36	N	11	3.19
36	E	0	3.36

36	E	11	3.29
37	N	0	3.44
37	N	11	3.22
37	E	0	4.18
37	E	11	3.65
38	N	0	3.28
38	N	11	3.47
38	E	0	3.54
38	E	11	3.6
39	N	0	3.57
39	N	11	3.42
39	E	0	3.29
39	E	11	3.57
40	N	0	3.67
40	N	11	3.39
40	E	0	4.21
40	E	11	4.24
41	N	0	3.07
41	N	11	3.11
41	E	0	3.25
42	N	0	3.41
42	N	11	3.44
42	E	0	3.14
42	E	11	3.39
43	N	0	2.91
43	N	11	2.95
43	E	0	4.45
43	E	11	4.35
44	N	0	2.9
44	N	11	2.83
44	E	0	3.12
44	E	11	3.21
45	N	0	3.1
45	N	11	3.01
45	E	0	3.07
45	E	11	3.09
46	N	0	3.2
46	N	11	3.13
46	E	0	3.14
46	E	11	3.22
47	N	0	3.23
47	N	11	3.38
47	E	0	3.57
47	E	11	3.58
48	N	0	3.46
48	N	11	3.48
48	E	0	3.27
48	E	11	3.25
49	N	0	3
49	N	11	3.05
49	E	0	2.88
49	E	11	2.94
50	N	0	4.49
50	N	11	3.8
50	E	0	3.59
50	E	11	3.32
51	N	0	3.36
51	N	11	3.72
51	E	0	3.42
51	E	11	3.31
52	N	0	3.34
52	N	11	3.74
52	E	0	3.38
52	E	11	3.35
53	N	0	3.16
53	N	11	3.19
53	E	0	3.24
53	E	11	3.24
54	N	0	4.35
54	N	11	4.67
54	E	0	3.1
54	E	11	3.1
55	N	0	3.22
55	N	11	3.24
55	E	0	4.36
55	E	11	4.04
56	N	0	3.48
56	N	11	3.52
56	E	0	3.19
56	E	11	3.51
57	N	0	2.81
57	N	11	2.85
57	E	0	2.84
57	E	11	2.86
67	N	0	3.2
67	N	11	3.52
67	E	0	3.06
67	E	11	2.94
68	N	0	3.1
68	N	11	3
68	E	0	3.37
68	E	11	3.35
69	N	0	3.46
69	N	11	3.49
69	E	0	3.44
69	E	11	3.51
70	N	0	3.19
70	N	11	3
70	E	0	3.27
70	E	11	3.31
71	N	0	3.67
71	N	11	3.64
71	E	0	3.17
71	E	11	3.41
72	N	0	3.23
72	N	11	3.4
72	E	0	3.16
72	E	11	2.96

Tabelle 18. pH-Werte aus den Labormessungen für die Proben aus Sagogn GR.

Probefläche	Quadrant	Tiefe	pH-Wert
1	N	0	6.53
1	N	11	6.73
1	E	0	6.78
1	E	11	6.95
2	N	0	6.54
2	N	11	6.37
2	E	0	4.73
2	E	11	5.3
3	N	0	6.48
3	N	11	6.94
3	E	0	6.7
3	E	11	6.76
4	N	0	6.7
4	N	11	6.64
4	E	0	6.55
4	E	11	7.04
5	N	0	4.9
5	N	11	4.26
5	E	0	6.53
5	E	11	6.72
6	N	0	6.86
6	N	11	6.33
6	E	0	6.48
6	E	11	6.89
7	N	0	6.15
7	N	11	6.93
7	E	0	6.03
7	E	11	7.03
8	N	0	6.83
8	N	11	7.03
8	E	0	6.63
8	E	11	6.76
9	N	0	6.53
9	N	11	6.76
9	E	0	6
9	E	11	6.26
10	N	0	6.67
10	N	11	6.66
10	E	0	5.49
10	E	11	6.62
11	N	0	6.27
11	N	11	6.89
11	E	0	4.63
11	E	11	6.5
12	N	0	6.73
12	N	11	6.96
12	E	0	6.53
12	E	11	6.98
13	N	0	6.7
13	N	11	6.94
13	E	0	6.45
13	E	11	6.95
14	N	0	5.08
14	N	11	5.72
14	E	0	5.1
14	E	11	6.61
15	N	0	6.34
15	N	11	6.88
15	E	0	6.08
15	E	11	6.83
16	N	0	6.23
16	N	11	6.82
16	E	0	6.36
16	E	11	6.03
17	N	0	4.85
17	N	11	6.8
17	E	0	5.73
17	E	11	6.18
18	N	0	6.4
18	N	11	7.16
18	E	0	5.61
18	E	11	5.93
19	N	0	6.7
19	N	11	6.89
19	E	0	6.91
19	E	11	6.71
20	N	0	6.53
20	N	11	6.66
20	E	0	4.77
20	E	11	6.31
21	N	0	6.52
21	N	11	6.43
21	E	0	6.7
21	E	11	6.75
22	N	0	6.58
22	N	11	6.12
22	E	0	6.13
22	E	11	6.54
23	N	0	5.71
23	N	11	6.64
23	E	0	5.58
23	E	11	6.99
24	N	0	6.2
24	N	11	6.9
24	E	0	6.94
24	E	11	6.91
25	N	0	6.55
25	N	11	6.99
25	E	0	6.59
25	E	11	6.45
26	N	0	6.19
26	N	11	6.94
26	E	0	6.61
26	E	11	6.7
27	N	0	6.03
27	N	11	6.64
27	E	0	6.69
27	E	11	6.91
28	N	0	6.42
28	N	11	7.05

28	E	0	6.75
28	E	11	7.23
29	N	0	5.35
29	N	11	6.3
29	E	0	6.31
29	E	11	5.93
30	N	0	6.67
30	N	11	6.87
30	E	0	6.53
30	E	11	7.03
31	N	0	5.17
31	N	11	6.38
31	E	0	4.41
31	E	11	5.69
32	N	0	6.25
32	N	11	4.63
32	E	0	6.8
32	E	11	6.77
33	N	0	6.1
33	N	11	6.85
33	E	0	6.46
33	E	11	6.66
34	N	0	4.64
34	N	11	4.26
34	E	0	4.45
34	E	11	5.35
35	N	0	3.78
35	N	11	4.62
35	E	0	5.33
35	E	11	6.69
36	N	0	5.26
36	N	11	6.49
36	E	0	5.04
36	E	11	5.96
37	N	0	6.92
37	N	11	6.93
37	E	0	6.52
37	E	11	6.86
38	N	0	6.6
38	N	11	7.09
38	E	0	6.9
38	E	11	7.2
39	N	0	7.01
39	N	11	7.01
39	E	0	6.79
39	E	11	7.15
40	N	0	6.73
40	N	11	7.06
40	E	0	6.54
40	E	11	6.73
41	N	0	7.02
41	N	11	7.08
41	E	0	6.44
41	E	11	6.81
42	N	0	4.56
42	N	11	5.86
42	E	0	6.61
42	E	11	7.07
43	N	0	6.41
43	N	11	7.21
43	E	0	6.83
43	E	11	6.93
44	N	0	6.47
44	N	11	7.12
44	E	0	6.87
44	E	11	7.12
45	N	0	6.56
45	N	11	7.27
45	E	0	6.56
45	E	11	6.05
46	N	0	6.74
46	N	11	6.85
46	E	0	6.67
46	E	11	6.73
47	N	0	6.46
47	N	11	6.81
47	E	0	6.47
47	E	11	6.8
48	N	0	6.86
48	N	11	6.77
48	E	0	6.57
48	E	11	6.95
49	N	0	6.79
49	N	11	6.67
49	E	0	6.17
49	E	11	6.66
50	N	0	5.29
50	N	11	5.86
50	E	0	6.71
50	E	11	6.58
51	N	0	6.25
51	N	11	6.59
51	E	0	6.2
51	E	11	6.84
52	N	0	4.87
52	N	11	6.54
52	E	0	6
52	E	11	6.87
53	N	0	5.41
53	N	11	6.28
53	E	0	5.61
53	E	11	6.19
54	N	0	6.24
54	N	11	7.3
54	E	0	6.29
54	E	11	6.91