



UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN  
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna

# Masterarbeit

## Erfassung des Verjüngungszustands und des Wildeinflusses auf Vaia-Windwurfflächen in Südtirol

verfasst von

Simon FEICHTER, BSc

im Rahmen des Masterstudiums  
Forstwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur

Wien, Oktober 2022

Betreut von:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Harald Vacik  
Institut für Waldbau  
Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Mitbetreut von:

Assoc. Prof. Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Ursula Nopp-Mayr  
Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft  
Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wien, Oktober 2022

Simon FEICHTER

## Danksagung

Nach einer schönen und ereignisreichen Studienzeit möchte ich hiermit noch zu einigen Personen, welche mich rund um die Studienzeit begleitet und unterstützt haben, danke sagen.

Ein erster Dank gilt dem Amt für Forstplanung und dort vor allem an Marco und Julia. Dank Marco war es möglich, eine Diplomarbeit zu diesem Thema zu schreiben und die Daten in Südtirol aufzunehmen. Auch Herr Agreiter vom Amt für Jagd und Fischerei war bei der Besprechung mit dabei, um Ideen für etwaige wildökologischen Themen zu sammeln. Ein Dank gilt auch Francesco, der mir bei den Erhebungen im Gelände zur Seite stand und mich sehr unterstützte. Julia war in weiterer Folge meine Ansprechpartnerin und hatte während der Erhebungen und bei den Auswertungen auch immer ein offenes Ohr für mich.

Weiters bedanken möchte ich mich bei meinem Hauptbetreuer Harald Vacik und der Mitbetreuerin Ursula Nopp-Mayr. Ohne die Zustimmung für Ihre Betreuung wäre diese Diplomarbeit nicht möglich gewesen. Wir standen in ständigem Kontakt und Sie gaben mir Tipps, Verbesserungsvorschläge und zeigten mir, dass das alles schaffbar ist. Sie haben bestimmt eine Menge an Zeit investiert, um meine Arbeit immer wieder durchzulesen und mir Rückmeldungen zu geben und alles kritisch zu hinterfragen.

Der Dank am Schluss gilt all meinen Studienkollegen\*innen an der BOKU und den Heimkollegen\*innen des Bokuheims, die ich im Laufe der Zeit kennenlernen durfte, denn ohne Euch wäre eine solche Zeit bestimmt nur schwer schaffbar gewesen. Die gemeinsame Vorbereitung auf Prüfungen und das Besuchen der Lehrveranstaltungen war mit euch besonders viel wert. Nicht zu vergessen ist aber auch das Leben außerhalb der Studienzeit, wo wir eine Menge gemeinsam erlebt haben und die Zeit miteinander genießen konnten. Auch ein Dank geht an meine Freunde zu Hause, weil wir immer wieder gemeinsame Sachen erlebten, Zeit miteinander verbrachten und das als Ausgleich zur Studienzeit viel Wert war.

Nicht zu vergessen und besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Familie, denn ohne Eure Unterstützung und Euren Rückhalt wäre das alles nicht möglich gewesen. Ich bin sehr dankbar darüber, dass ich diesen Abschnitt habe erleben dürfen.

DANKE, Euer Simon!

# Abkürzungsverzeichnis

%...Prozent

BHD...Brusthöhendurchmesser

cm...Zentimeter

dm...Dezimeter

m. ü. M...Meter über dem Meeresspiegel

m...Meter

N/ha...Stammzahl pro Hektar

N...Stammzahl

n...Stichprobenanzahl

Sig...Signifikanz

Stabw...Standardabweichung

Vfm...Vorratsfestmeter

WWF...Windwurffläche

## Kurzfassung

Sturmereignisse, wie jene durch Sturmtief Vaia im Herbst 2018, verursachen große Schäden und werden laut Vorhersagen in Zukunft häufiger auftreten. Auf diesen Windwurfflächen soll sich möglichst rasch Naturverjüngung entwickeln, damit sich wieder ein geschlossener, vitaler Bestand bilden kann. In dieser Arbeit wurde der Einfluss von unterschiedlichen Windwurfgrößen auf die Verjüngungszahlen analysiert, wobei auf 30 Transekten die Bedingungen im „Zentrum des Windwurfs“, am „Rand des Windwurfs“ und im „Bestand“ miteinander verglichen wurden. Auf 94 Stichprobenpunkten konnten Standorts-, Bestandes- und Verjüngungsmerkmale entlang der Transekte auf allen drei Lokalitäten im Sommer 2020 erhoben werden. Die Fichte dominierte in der Verjüngung, Lärchenverjüngung kam vor allem auf mittleren/großen Windwurfflächen beim Vorhandensein von Samenbäumen gut auf. Der relative Verjüngungsanteil der Tanne nahm mit zunehmender Überschirmung zu und war im Bestand in der Nähe von Samenbäumen der Tanne am höchsten. Die Vogelbeere kam im Zentrum über mehrere Höhenklassen relativ häufig vor. Die mittleren Verjüngungszahlen/ha zwischen dem Zentrum und dem Rand bzw. dem Zentrum und dem Bestand unterschieden sich signifikant. Im Zentrum von kleinen und mittleren Windwürfen gab es zwischen den Klassen mit unterschiedlichem Schlagrücklass signifikante Unterschiede. Keine signifikanten Unterschiede in den Verjüngungszahlen/ha traten bei den Faktoren Bestandesdichte, Lokalität\*Windwurfgröße, Dichte der Bodenvegetation und dem Vorhandensein von Samenbäumen auf. Es konnten Unterschiede in den Verjüngungszahlen/ha zwischen Zentrum und Rand im hoch- und tiefsubalpinen Bereich festgestellt werden. Der Wildverbiss wurde aufgrund des geringen Wertes von 5 % nicht weiter analysiert. Der Anteil der Losungshaufen war im Zentrum am geringsten und am Rand am höchsten, wobei die Werte zwischen den Flächengrößen variierten.

**Schlagwörter:** Naturverjüngung, Windwurffläche, Flächengröße, Losungshaufen, Verbiss, Schlagrücklass, Samenbaum, Überschirmung, Kleinstandort

## Abstract

Storm events, such as those caused by Storm Vaia in autumn 2018, cause major damages and are predicted to occur more frequently in the future. Natural regeneration should allow to restore these windthrow areas as quickly as possible, so that a closed, vital stand can develop again. In this thesis, the influence of different windthrow sizes on the amount of regeneration was analysed, comparing conditions in the "centre of the windthrow", at the "edge between windthrow and closed stand" and in the "forest stand" on 30 transects. On 94 sample points, site, stand and regeneration characteristics could be surveyed on all three localities along the transects in summer 2020. Spruce dominated regeneration, larch regeneration occurred especially on medium/large windthrow areas in the presence of seed trees. The relative proportion of fir regeneration increased with increasing canopy cover and was highest on the plots in the stand near seed trees of fir. Rowan was relatively common on the plots in the centre over several height classes. The mean numbers/ha of the natural regeneration between the centre and the edge or the centre and the stand differed significantly. In the centre of small and medium windthrows, there were significant differences of the mean numbers/ha of the natural regeneration between different classes with slash. No significant differences in regeneration numbers/ha occurred for the factors stand density, locality\*windthrow size, density of ground vegetation and presence of seed trees. Differences in the amount of natural regeneration between the centre and the edge in the high and low subalpine areas were found. Game browsing was not analysed further due to the low value of 5 %. The proportion of loose piles was lowest in the centre and highest at the edge, with values varying between the plot sizes.

**Keywords:** natural regeneration, windthrow area, plot size, loose piles, browsing, amount of slash, seed tree, canopy cover, micro site conditions

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	1
1.1	Überblick über den Wald in Südtirol.....	1
1.2	Die Wildsituation.....	3
1.3	Herausforderungen durch Vaia-Sturmschäden.....	4
1.3.1	Sturmtief Vaia 2018 .....	4
1.3.2	Folgeschäden und Probleme durch Vaia .....	5
1.3.3	Ziele für die Wiederbewaldung .....	7
1.4	Stand des Wissens zur Waldentwicklung nach Sturmereignissen .....	8
1.5	Problemstellung und Zielsetzung.....	10
2.	Material und Methoden .....	14
2.1	Das Untersuchungsgebiet .....	14
2.1.1	Waldstandorte .....	14
2.1.2	Jagdsituation .....	15
2.1.3	Auswahl der Untersuchungsgebiete .....	16
2.2	Erhebungsdesign und Aufnahmen.....	18
2.2.1	Stichprobenanzahl.....	18
2.2.2	Auffinden der Stichprobenpunkte.....	19
2.2.3	Erhebungsparameter .....	19
2.2.4	Datenerhebung und Markierung der Stichprobenpunkte .....	25
2.3	Datenverarbeitung.....	26
2.4	Datenauswertung .....	27
2.4.1	Blow-up-Faktoren .....	27
2.4.2	Höhenermittlung nach Pollanschütz (1974) .....	28
2.4.3	Stammzahl .....	28
2.4.4	Grundfläche.....	28
2.4.5	Volumen .....	29
2.5	Statistische Auswertung .....	30
3.	Ergebnisse .....	32
3.1	Standortsanalyse.....	32

3.1.1	Höhenstufe .....	32
3.1.2	Neigung, Exposition und Geländeform .....	33
3.1.3	Störungen.....	34
3.2	Bestandesanalyse .....	35
3.2.1	Bestandesparameter .....	35
3.3	Vorkommen und Analyse der Verjüngung .....	38
3.3.1	Bestandesdichte .....	38
3.3.2	Höhenstufe .....	40
3.3.3	Pflanzenhöhe .....	44
3.3.4	Kleinstandorte der Verjüngungspflänzchen.....	48
3.3.5	Mittlere Verjüngungszahlen/ha auf den Lokalitäten.....	51
3.3.6	Vergleich der Lokalität und Windwurfgröße .....	52
3.3.7	Bodenvegetation.....	55
3.3.8	Bodenbedeckung durch Schlagrücklass .....	56
3.3.9	Samenbaum .....	60
3.4	Wildeinfluss .....	64
3.4.1	Auswertungen des Wildverbisses .....	64
3.4.2	Verteilung der Losungshaufen .....	64
4.	Diskussion.....	66
4.1	Stichprobendesign und Datenauswertung .....	66
4.2	Bestandessituation .....	68
4.3	Einfluss der Höhenstufe .....	69
4.4	Pflanzenhöhe und Baumartenverteilung.....	70
4.5	Bedeutung des Kleinstandorts.....	72
4.6	Einfluss der Lokalität bzw. Flächengröße auf die Naturverjüngung.....	74
4.7	Schlagrücklass .....	76
4.8	Bodenvegetation .....	77
4.9	Samenbäume.....	78
4.10	Wildeinfluss .....	80
5.	Schlussfolgerung.....	84



6.	Literaturverzeichnis .....	86
7.	Abbildungsverzeichnis .....	93
8.	Tabellenverzeichnis .....	95
9.	Anhang .....	98

# 1. Einleitung

In den vergangenen Jahrzehnten häuften sich Unwetterstürme und richteten in den Waldbeständen immer wieder große Schäden an. In der Folge findet auf den geschädigten Flächen eine Wiederbewaldung statt. Die örtlichen Zustände unterschiedlicher Flächen hinsichtlich des Aufkommens und der Diversität der Naturverjüngung sowie der Einfluss des Wildes, sind schwer abzuschätzen. Durch empirische Erhebungen können genauere Daten über den Zustand des Waldes erhoben und ausgewertet werden, welche einen besseren Überblick über die Verjüngungssituation bieten.

## 1.1 Überblick über den Wald in Südtirol

Die Gesamtfläche Südtirols beträgt ca. 739.997 ha und davon sind 50 % als Wald ausgewiesen. Diese Waldfläche wird zu 88 % von Nadelhölzern dominiert, wobei 60 % die Fichte einnimmt. Die Lärche ist mit knapp 20 % die am zweithäufigsten vorkommende Baumart, vor der Kiefer mit 10 %, der Zirbe mit 6 % und der Tanne mit 3 % (siehe Abbildung 1). Der Wald in Südtirol setzt sich aus 88 % Nadelwald, 5 % Laubwald und 8 % Mischwald zusammen. Die Laubhölzer stocken hauptsächlich in der collinen und submontanen Stufe und werden von Buchen, Mannaeschen, Flaumeichen und der Hopfenbuche geprägt (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021b).

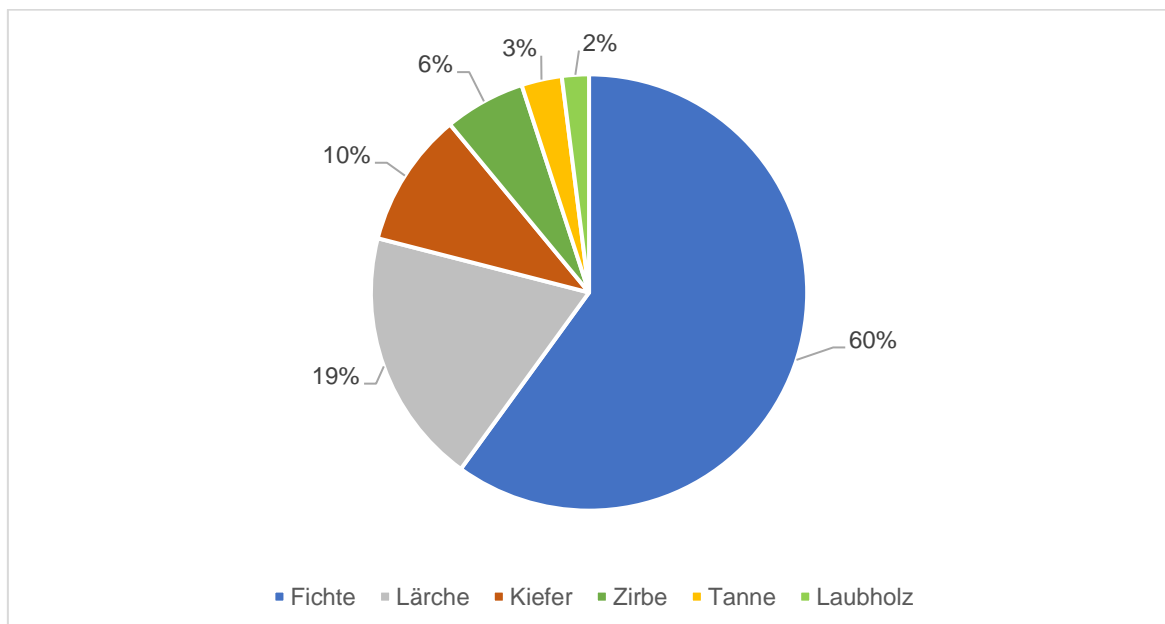


Abbildung 1: Baumartenverteilung in Südtirol (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021b)

Der größte Anteil des Waldes (1/3) stockt auf einer Meereshöhe zwischen 1.501 und 1.800 m. ü. M. Zwischen 1.201 und 2.100 m. ü. M stocken 75 % des Waldes (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021b). Über 85 % des Waldes befinden sich über 500 m. ü. M. (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010). Darüber hinaus sind 95 % des gesamten Waldes Hochwald, welcher sich zu 62 % aus gleichaltrigen Beständen zusammensetzt.

Die Südtiroler Wälder werden zu 60 % privat bewirtschaftet und die meisten Betriebe (40%) haben eine Waldflächengröße zwischen 0 und 2,5 ha. Nur 1,5 % der Betriebe besitzen eine Waldfläche, welche größer als 100 ha ist.

Durch den hohen Fichtenanteil bestimmen 52 % reine Fichtenwälder die Landschaft Südtirols. Weitere 27 % werden von Lärchen-Zirbenwälder durchzogen und den letzten größeren Teil machen mit 11 % Weißkiefernwälder aus (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021b). Das sind die drei häufigsten Waldgesellschaften in Südtirol.

Wegen der unterschiedlichen Standorte und klimatischen Bedingungen in Südtirol gibt es eine Vielzahl an Waldtypen. Diese wurden im Zuge der Waldtypisierung von 2001 – 2009 beschrieben, um die Waldbewirtschaftung in Zukunft möglichst gut auf die verschiedenen Waldstandorte abstimmen zu können. Die Bewirtschaftung der Wälder ist für die Aufrechterhaltung der unterschiedlichen Funktionen des Waldes von bedeutender Rolle. Vor allem die Schutzfunktion ist, in einem Gebiet wie Südtirol, besonders wichtig, um Gefahren wie z.B. Lawinen und Steinschlag in ihrem Auftreten und ihrer Wirkung einschränken zu können. Um diesen Schutz dauerhaft gewährleisten zu können, muss der Wald nachhaltig bewirtschaftet werden (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010). Mit ca. 201.000 ha haben 27 % des gesamten Waldes die Funktion als Schutzwald (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a).

Südtirol kann in drei Wuchsgebiete unterteilt werden:

- Zentrales Inneralpines Fi-Waldgebiet 1.1
- Randliches Inneralpines Fi-Waldgebiet 1.2
- Südliches Zwischenalpines Fi-Ta-Waldgebiet 3.3

Diese Wuchsgebiete (siehe Abbildung 2) gliedern sich wiederum in 9 verschiedene Wuchszonen (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010).



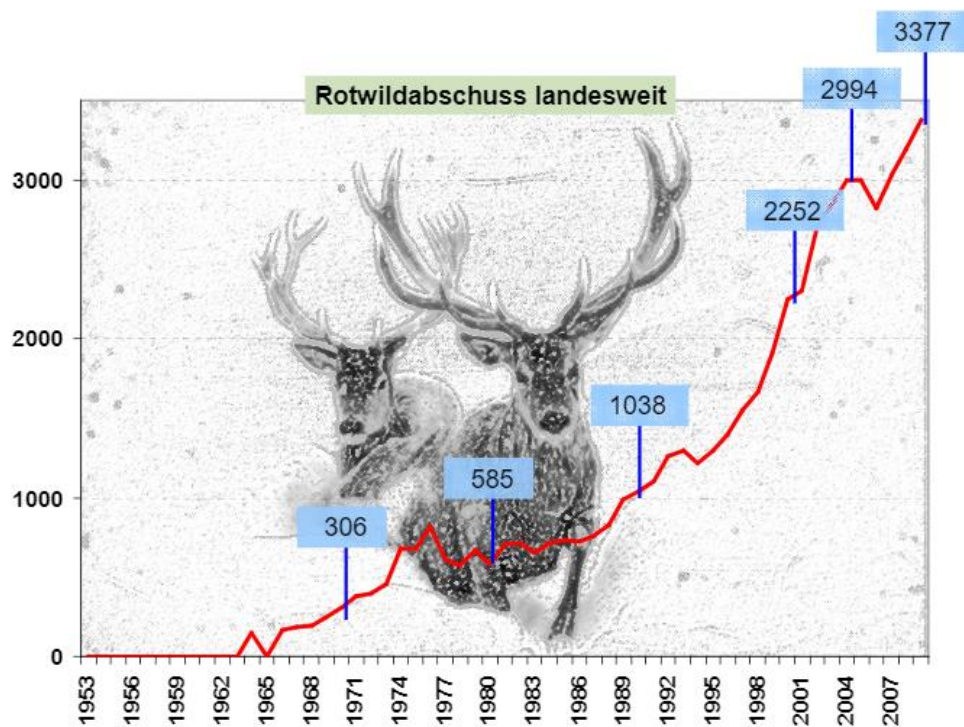
**Abbildung 2: Wuchsgebiete (braun, grün, blau) und Wuchszonen (Zahlen-Buchstabenkombination) Südtirols (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021a)**

## 1.2 Die Wildsituation

In Südtirol kann auf einer Fläche von 623.277 ha die Jagd ausgeübt werden. Das sind ca. 85 % der Gesamtfläche Südtirols, wobei die Flächen des Nationalparks Stilfser Joch (ca. 53.495 ha) und jede der Domänen- Wildschutzgebiete (ca. 75.000 ha) noch dazugerechnet werden müssen. Diese Fläche ist unterschiedlich großen Jagdrevieren (145) und Eigenjagdrevieren (51) zugeordnet, welche von insgesamt 6.150 Jägern bejagt werden. Die Jagd verfolgt in Südtirol die Zielsetzung, die Lebensräume zu schützen und zu verbessern sowie die Mannigfaltigkeit der Wildtiere zu erhalten. Mit jährlich angepassten Abschussplänen für die einzelnen Reviere sollen diese erreicht werden (AMT FÜR JAGD UND FISCHEREI 2021).

Als Grundlage für die Abschussplanung dienen die seit dem Jahr 2000 jährlich durchgeführten Rotwildzählungen im Frühjahr, welche landesweit an einem bestimmten Wochentag in der Nacht mittels Scheinwerfern stattfinden (AMT FÜR JAGD UND FISCHEREI 2009). Das Rotwild ist mittlerweile in vielen Bezirken stark vertreten und die Population steigt flächendeckend weiter an, obwohl das Rotwild in Südtirol erst wieder vor etwas mehr als 100 Jahren in Südtirol Fuß fasste, da es im 19. Jahrhundert in den gesamten Südalpen kein Rotwild mehr gab.

Vom Jahr 1970 bis 2009 stieg die Rotwildpopulation landesweit von anfangs ca. 300 Stück bis auf über 3.300 Stück, wobei etwas mehr als 1/3 allein im Vinschgau erlegt wurden (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3: Abschussentwicklung des Rotwilds von 1953 bis 2007 (AMT FÜR JAGD UND FISCHEREI 2009)**

Im Jahr 2020, 11 Jahre später, wurden auf der für die Jagd ausgewiesenen Flächen 15.318 Stück Schalenwild erlegt. Das Rehwild wurde landesweit mit 7.887 Stücken am stärksten bejagt, gefolgt vom Rotwild mit 4.261 Stücke (vgl. 2009, + 883 Stück) (SÜDTIROLER JAGDVERBAND o. D.).

## 1.3 Herausforderungen durch Vaia-Sturmschäden

### 1.3.1 Sturmtief Vaia 2018

Im Herbst 2018, genauer gesagt vom 29. auf den 30. Oktober, fegte der Sturm Vaia mit bis zu 130 km/h über Südtirol hinweg und verursachte große Schäden am Wald (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2019). Von den insgesamt 105.188.527 Mio. Vorratsfestmetern (Vfm) in Südtirols Wälder (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2018) fielen ungefähr 1,5 Mio. Vfm, verteilt auf einer Fläche von 5.918 ha, innerhalb dieses kurzen Zeitraumes dem Sturm zum Opfer (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2019). Sturmholz, welches in exponierten Gebieten anfiel, oder auch Streuschäden

konnten wegen der Zugänglichkeit teilweise nicht aufgearbeitet werden. Diese Flächen wurden zu diesen Zahlen auch nicht hinzugefügt bzw. nicht erhoben (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a). Der Großteil der Windwurfflächen (WWF) lag in der montanen-subalpinen Höhenstufe von 1.300 bis 1.700 m. ü. M. Durch Vaia entstanden innerhalb dieser Höhenlage 76 % der gesamten WWF in Südtirol (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2019). Am meisten Schäden waren in den vier Forststationen Welschnofen, Deutschnofen, Kaltenbrunn und St. Vigil in Enneberg anzutreffen. Von den insgesamt 1,5 Mio. Vfm mussten ca. 2/3 dieser Menge auf den Waldflächen dieser vier Stationen aufgearbeitet werden. Wie groß die angefallene Menge des Sturmholzes war, lässt sich am besten anhand des jährlichen Hiebsatzes erkennen. So entsprachen die 1,5 Mio. geschädigten Vfm dem zweijährigen Hiebsatz des gesamten Landes und im Gebiet Latemar, wo die meisten Erhebungen dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden, entsprach die Sturmholzmenge sogar jener des 16-jährigen Hiebsatzes. Die am meisten betroffenen Baumarten (bezogen auf die Holzmasse), waren die Fichte mit 62 % und die Kiefer mit 24 %. Lärchenholz fiel noch zu rund 12 % an. Unter die Einteilung „andere Baumarten“ fiel unter anderem auch die Tanne, welche mit 2 % angefallen war (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2019). Mit den Aufräumarbeiten wurde unmittelbar nach dem Ereignis begonnen (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2018). Um auch die WWF erreichen zu können, mussten im ganzen Land knapp 250 km Straßentrassen freigelegt werden. Die Sturmflächen wurden teilweise von den Waldbesitzern selbst aber auch mit Hilfe von über 200 Schlägerungsunternehmen mittels Harvester und Forwarder aufgearbeitet (AMT FÜR FORSTPLANUNG 2019). Unter diesem großen Einsatz waren nach 2,5 Monaten ungefähr 14 % des Schadholzes aufgearbeitet (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2019). Bis zum Sommer 2019 wurden über 50 % des Schadholzes (Bevölkerungsschutz Südtirol 2019) und bis zum Dezember 2020 das ganze geschätzte Sturmholz aufgearbeitet (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020b), wobei auch aufgrund der geringen Schneemengen und der geeigneten Witterung die Aufräumarbeiten gut vorangetrieben werden konnten (AMT FÜR FORSTPLANUNG 2019).

### **1.3.2 Folgeschäden und Probleme durch Vaia**

Durch den Sturm entstanden unter anderem wirtschaftliche Folgen für die Waldeigentümer, weil das Holz wegen des Überhangs nicht abgesetzt werden konnte und die Holzpreise sanken. Aus diesem Grund und um das Holz lagern zu können wurden mehrere verschieden große Nasslager mit Kapazitäten von bis zu 100.000 Festmetern errichtet (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a).

Ein Grund warum das Sturmholz so schnell wie möglich aufgearbeitet wurde und auf den Flächen nur das Astmaterial und die Wurzelstöcke zurückgelassen wurden, war der Borkenkäfer (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2019). Vor allem der Buchdrucker kann in kürzester Zeit bei geeignetem Brutmaterial auch noch die verbliebenen, gesunden Bestände stark befallen (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a). Vor allem die Fichten an den Rändern sind nach dem Windwurf stärker der Sonne ausgesetzt. Die Fichte reagiert wegen der dünnen Borke darauf empfindlich und es kann zu einem Rindenbrand kommen. Das bedeutet wiederum, dass der Baum unter Stress steht und geschwächt ist, wodurch der Borkenkäfer diese bevorzugt befällt (AMT FÜR FORSTPLANUNG 2019). Die Entwicklung der Forstschädlinge, hauptsächlich des Borkenkäfers, wurde über ein Monitoringsystem mittels mehrerer Fallen in den vor allem stark getroffenen Gebieten vom Forstpersonal kontrolliert und aufgenommen. Die Universität Padua hat das Monitoring und vor allem die Untersuchung über die Entwicklung der Borkenkäfer auf den WWF wissenschaftlich betreut (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2019). Durch die schnellen Aufräumarbeiten und durch ungünstige Witterungsverhältnisse trat der Borkenkäfer in einem nicht hohen Schadausmaß auf (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a).

Durch Vaia entstanden WWF, welche von nun an nicht mehr durch ein Kronendach geschützt wurden. Somit herrschten bessere Lichtverhältnisse vor, welche das Aufkommen der Bodenvegetation stärker fördern. Diese offenen Flächen bieten den Wildtieren wie Reh- und Rotwild vor allem im Sommer gute Äsungsmöglichkeiten. Auf den WWF wird sich eine hohe, nicht einsehbare Vegetation einstellen. Deshalb bedarf es auf großen WWF einer integralen Planung, um Ziele wie die Wiederbewaldung oder den Schutz vor Naturgefahren auf der Fläche erreichen zu können. Es sollten Schussschneisen und Pflegewege errichtet werden, damit das Wild innerhalb der höher werdenden Schlagvegetation bejagt werden kann (REIMOSER 2019). Aus diesem Grund müssen die Wildbestände in den nächsten Jahren möglichst genau erfasst und daraufhin reguliert werden, um den Wilddruck auf die Verjüngung möglichst zu minimieren. Für die Wildregulierung wurden bereits Reviereinrichtungen an geeigneten Orten installiert (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a).

Auch stellen Lücken für die verbliebenen Bestände eine erhöhte Windwurfgefahr dar, weil die verbliebenden Bestände nun nicht mehr so stabil wie der Gesamtbestand sind und schon viel geringere Windgeschwindigkeiten Schäden anrichten können (AMT FÜR FORSTPLANUNG 2019). Auf Windwurfflächen sind die Pflanzen anderen Standortsbedingungen ausgesetzt als im Bestand. Die Tanne muss, wegen deren geringeren Frosthärte gegenüber der Fichte, unter erschwerten Wuchsbedingungen auf der Windwurffläche aufkommen (KOHLE et al. 2011). Viele Pflanzen können durch die Frosttrocknis geschädigt werden. Hauptsächlich tritt sie in schneearmen Gebieten im

Spätwinter auf (STEYRER 2011). Ein weiteres Problem beim Verjüngungsaufkommen ist die Trockenheit. Je nach Lückengröße und Kleinstandort kann die Trockenheit die Entwicklung der Verjüngung beeinträchtigen (BRANG 1996). Der Bestandesschirm hingegen schützt die Verjüngung bei deren Entwicklung vor Frost und Hitze (LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2000).

Vor allem in Bestandesöffnungen sind erhöhte Schäden durch den Schneeschimmel zu erwarten, weil dort mehr Schnee als im Waldbestand liegen bleibt (BRANG 1996). Der Schneeschimmel ist für einen Großteil der gepflanzten Verjüngungspflanzen für deren Mortalität verantwortlich. Der Pilz trat auf den Nordhängen stärker auf als auf den Südhängen, wo der Schnee im Frühjahr weniger lang liegen bleibt (FREHNER 2002). Auch können fehlende Samenbäume die Entwicklung von Naturverjüngung auf den Windwurfflächen beeinträchtigen. Die Keimlingsanzahl jeder Baumart nimmt mit fortschreitender Entfernung zu einem Samenbaum ab (GÄUMANN 2019). Hauptsächlich bei schwersamigen Baumarten auf großen Windwurfflächen wirkt sich das Samengewicht stark auf deren Ausbreitung aus (SCHÖNEBERGER et al. 2003). Durch den Mangel an Samenbäumen kann es längere Zeit dauern, bis auf großen Flächen eine Ansamung stattfindet (WOLGEMUTH et al. 2002).

### **1.3.3 Ziele für die Wiederbewaldung**

Von den 6000 ha an Sturmflächen wurden 1000 ha als Objektschutzwald und weitere 1000 ha als Standortschutzwald taxiert. Auf diesen 2/3 der Windwurfflächen sollen die ersten Arbeiten und Maßnahmen für die Wiederbewaldung stattfinden (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2018). Die Objektschutzwälder sollen noch früher als die Standortschutzwälder „wiederhergestellt“ werden. Dort wird hauptsächlich auf eine Kombination von technischen Schutzmaßnahmen und Aufforstungen gesetzt, um die Schutzwirkung möglichst rasch wieder herstellen zu können. Der Standortschutzwald wird künstlich und die restlichen Flächen sollen allein durch die Naturverjüngung verjüngt werden, damit in einigen Jahrzehnten wieder ein geschlossener Bestand stockt, welcher in Zukunft wieder die wichtigen Funktionen (Nutz-, Schutz-, Wohlfahrts-, und Erholung) ausüben kann (AMT FÜR FORSTPLANUNG 2019). Wegen des verbliebenen Restbestandes, der Samenbanken im Boden und auch der Tatsache, dass sich die Fichte in dieser montanen bis subalpinen Stufe im Optimum befindet, wird sich laut ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2020) wieder ein Fichtenbestand entwickeln. Durch die Aufforstungsarbeiten wird versucht Mischbaumarten einzubringen, damit am Ende statt den windwurfgefährdeten Waldbeständen stabilere und strukturierte Bestände stocken (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020b). Dabei wäre eine reichliche Vorverjüngung unter dem Altbestand wichtig gewesen, weil diese bei einem



solchen Ereignis gleich „aktiviert“ wird und sich schneller entwickeln kann als Verjüngung, die erst nach dem Windwurf aufkommt (WOHLGEMUTH und KRAMER 2015). Solche stabile und strukturierte Bestände sollen vor allem mit der Lärche, welche auf allen Standorten eingesetzt werden kann, aber auch der Tanne und einigen Laubbaumarten wie der Vogelbeere, der Vogelkirsche und dem Bergahorn, begründet werden (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020b). Die Lärche hat im Gegensatz zu den anderen Mischbaumarten die geringste Verbissenssensitivität und ist in einem nicht hohen Maß verbissemppfindlich (FEHR et al. 2019). Gemeinsam mit der Vogelbeere wird sie aber am beliebtesten verlegt (REIMOSER und REIMOSER 2002).

## **1.4 Stand des Wissens zur Waldentwicklung nach Sturmereignissen**

Größere Sturmereignisse wie Vivian im Jahr 1990 oder auch Lothar im Winter 1999 führten in Teilen Europas bereits vor der Jahrtausendwende zu erheblichen Windwurfschäden (BRANG und WOHLGEMUTH 2013). Für die Bewerkstelligung solcher Ereignisse und speziell für die anstehende Wiederbewaldung war noch keine Erfahrung vorhanden und es fehlte an wissenschaftlichen Erkenntnissen, ob oder in welchem Ausmaß Windwurfflächen geräumt werden sollten, ob mit Kunst- oder Naturverjüngung gearbeitet werden sollte und wie sich solche Flächen im Laufe der Zeit entwickeln würden (SCHWITTER et al. 2015). Im Anschluss dieser zwei Sturmereignisse wurden unter anderem von BRANG und WOHLGEMUTH (2013) Forschungsarbeiten initiiert, um verschiedene Flächen und deren Verjüngungszustand zu vergleichen. In jener Studie wurden sowohl Flächen mit belassenem Sturmholz als auch geräumte Flächen untersucht. Eine wichtige Frage dabei ist, ob Windwurfflächen vollständig geräumt oder sich der Natur selbst überlassen werden sollten. Maßgebend dabei ist zu eruieren, ob ein Massenbefall durch den Borkenkäfer auf den Flächen wahrscheinlich ist oder ob die Flächen möglicherweise auf einer Höhenlage liegen, wo ein Befall nahezu ausgeschlossen werden kann (SCHWITTER et al. 2015).

Dieser Frage wurde auch nach den Vaia-Windwürfen nachgegangen. Aus phytosanitären Gründen wurden die Windwurfflächen nach Vaia schlussendlich vollkommen geräumt. Nur die Wurzelstöcke und der Schlagabraum durften auf den Windwurfflächen zurückgelassen werden. Die beschädigten Bäume von Streuschäden und jene auf kleineren Windwurfflächen in höheren Lagen, welche exponiert waren, durften auf den Flächen belassen werden (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a). Besonders hervorzuheben ist laut SCHWITTER et al. (2015) auch die Maßnahmenfindung auf Schutzwaldflächen. Solche Flächen benötigen eine stärkere Aufmerksamkeit, da diese Standorte als Schutzfunktion dienen. Dort sollte die Schutzfunktion wieder möglichst schnell gegeben

sein. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten rund um Vivian und Lothar durch SCHWITTER et. al. (2015) verdeutlichen, dass solche Flächen geräumt, technisch verbaut und bepflanzt werden sollten. Durch die Pflanzung können entscheidende Jahre gewonnen werden und die Fläche kann wieder früher und schneller die Schutzfunktion erfüllen. Dieses Ziel, der schnelleren Zurückgewinnung der Schutzfunktion, kann jedoch bei einem zu hohen und für die Entwicklung der Verjüngung nicht angepassten Wildbestand verfehlt werden. Natürlich muss auch auf die Standortsgegebenheiten Rücksicht genommen werden, denn auf langsam wüchsigen Standorten kann im Vergleich mit gut wüchsigen auch nicht dasselbe Ergebnis erwartet werden (SCHWITTER et al. 2015). Die durchschnittliche Flächengröße bei Vaia betrug 4 ha (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a). BRANG und WOLGEMUTH (2013) untersuchten ausschließlich Flächen größer 3 ha in der Schweiz und konnten aufzeigen, dass 20 Jahre nach dem Sturmereignis Vivian der größte Teil der Bäume eine Höhe von 3 m noch nicht erreicht hat. Mit Blick auf die Stammzahlen kamen auf geräumten Flächen je nach Baumart auch doppelt so viele Individuen auf als auf belassenen Flächen, wobei sich vor allem die Lärche auf belassenen Flächen wohler fühlte. Unmittelbar nach dem Sturm nimmt die Verjüngungsdichte auf den Flächen stark zu, und nach ca. 10 Jahren ist eine deutlich sichtbare Abflachung zu beobachten. Fichtenverjüngung und auch die Tanne nehmen mit zunehmender Dauer stärker zu, die Lärche hingegen kann auch wieder verschwinden. Die Baumartendiversität war auf geräumten Flächen nahezu identisch. Auch die Bedeutung des Moderholzes dürfte für die Verjüngung erst im Laufe der Zeit zunehmen, da das Totholz anfangs noch zu wenig zersetzt ist. Der Verbiss der Fichte ist auf belassenen Flächen sehr gering, hingegen wird die Tanne vor allem auf geräumten Flächen mit einem Median von knapp 40 % sehr stark verbissen. (BRANG und WOHLGEMUTH 2013).

Auf den Sturmflächen gilt nicht immer die Regel, dass zuerst wie vermutet die Pionierbaumarten Weide, Birke und Vogelbeere die Flächen besiedeln und sich erst nach einigen Jahren die Schlussbaumarten Fichte und auch Tanne etablieren. So wie Studien zeigen, wurden auf den Windwurfflächen in der Schweiz bereits schon am Anfang hauptsächlich die Schlussbaumarten auf den Flächen vorgefunden, welche auch vom vorherigen Bestand geprägt wurden (BRANG und WOHLGEMUTH 2013). Andere Studien vom Bayrischen Wald wiederum zeigen, dass sich auf geräumten Flächen zuerst vor allem die Birke als Pionierbaumart etabliert und die Fichte erst im Laufe einiger Jahre verstärkt auftritt (FISCHER und FISCHER 2010).

## 1.5 Problemstellung und Zielsetzung

In Südtirol wurden durch das Sturmtief Vaia über das ganze Land verteilt Schäden unterschiedlichen Ausmaßes durch großflächige Windwürfe in Waldbeständen vor allem an Fichten und Fichten-Tannenbeständen festgestellt. Das Sturmtief VAIA im Oktober 2018 verursachte an der Alpennordseite in Österreich und in der Schweiz sowie an der Alpensüdseite in der Südschweiz und in Südtirol großflächige Windwürfe in den Waldbeständen. In Südtirol wurden dadurch über das ganze Land verteilt Schäden unterschiedlichen Ausmaßes vor allem an Fichten und Fichten-Tannenbestände festgestellt (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2019). Das Gebiet um Welschnofen ist eines der am schwerst betroffenen in ganz Südtirol (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020b). Aufgrund dieses Ereignisses war die Verjüngungssituation auf den Flächen für das Amt für Forstplanung in Bozen von besonderem Interesse.

Durch bereits vergangene Windwurfereignisse wie „Lothar“ und „Kyrill“ mussten Entscheidungen hinsichtlich der Wiederbewaldung getroffen werden. Es musste bestimmt werden, welchen Baumarten im Folgebestand stocken sollten (ODENTHAL-KAHABKA 2020), damit dieser in Zukunft möglichst stabil, strukturreich und ertragsreich ist (LEDER 2007). Auf geeigneten Standorten sollte mit Naturverjüngung gearbeitet werden, weil Windwurfflächen über ein großes Verjüngungspotential verfügen (LEDER 2007). Lichtbaumarten, welche natürlich vorkommen, sollten gefördert werden (ODENTHAL-KAHABKA 2020). Naturverjüngung stellte sich bereits nach 3 - 5 Jahren nach dem Ereignis ein. 75 % der Naturverjüngung samte sich bereits innerhalb der 4. Verjüngungsperiode nach dem Windwurfereignis an. Zusätzlich sollte für eine möglichst gute Wiederbewaldung auch die vorhandene Verjüngung (Vorverjüngung) miteinbezogen werden (LEDER 2007). Probleme beim Verjüngungsaufkommen können allerdings durch nachstehende Faktoren auftreten:

*Samenverfügbarkeit:* Die Naturverjüngung entwickelt sich aus Sameneinträgen durch den Bestand, aus den vorhandenen Samenspeichern im Boden und auch durch die bereits vorhandene Verjüngung (LÄSSIG und MOTSCHALOW 2000). Auf großen WWF stellen fehlende Samenbäume ein Problem dar und können für das nicht Vorhandensein von Naturverjüngung verantwortlich sein (LÄSSIG und SCHÖNEBERGER 1997). Im Gegensatz dazu stellt sich mehr Verjüngung auf kleineren WWF und auf Flächen ein, welche von drei Bestandesrändern umgeben sind (SCHÖNEBERGER et al. 2003). Die Diversität an Baumarten ist unmittelbar nach dem Ereignis auf WWF höher, weil viele Samen anfliegen, durch Tiere auf die Flächen gelangen (LÄSSIG und SCHÖNEBERGER 1997), oder bereits im Boden Jahrzehnte bis Jahrhunderte überdauert haben (FISCHER und FISCHER 2010). Das Vorhandensein von Samenbäumen bei unterschiedlicher

Flächengröße könnte bei der Verwendung von Naturverjüngung eine große Rolle spielen. Aufgrund der immer größeren Distanz zum Bestandesrand nehmen die Samenanzahlen auf WWF ab (LÄSSIG et al. 1995). Laut BRANG und WOHLGEMUTH (2013) konnte aber keine Korrelation zwischen dem Auftreten von Verjüngung und dem Abstand zum Bestandesrand auf WWF, auf denen Fichten bzw. Fichten-Tannen-Bestände stockten, nachgewiesen werden. Vom Sturm nicht geschädigte Samenbäume sollten zur Samenproduktion auf WWF stehengelassen werden (SCHÖNEBERGER et al. 2003).

*Konkurrenz durch die Bodenvegetation:* Durch die auf WWF besseren Lichtverhältnisse kommen viele Gräser, Kräuter und Sträucher auf (FISCHER und FISCHER 2010). Die Himbeere kommt auf Freiflächen für einige Jahre sehr stark vor (FISCHER und FISCHER 2010), aber auch die Drahtschmiele, das Reitgras und die Blaubeere fügen sich von den geschlossenen Beständen bis hin zu den offenen Windwurfflächen in die Bodenvegetation ein (MARTENS und EISENHAUER 2008). Das Aufkommen von Naturverjüngung kann bis zu 50 % von der Bodenvegetation gehemmt werden (SCHODTERER und SCHADAUER 1997), welche eine starke Konkurrenz zur Fichtenverjüngung darstellt (Brang et al. 2017). Die Bodenvegetation stellt ein Hindernis für die Keimung der Samen im Boden dar und lässt auch weniger Licht für die bereits etablierte kleine Naturverjüngung durch (BRANG und WOHLGEMUTH 2013).

*Wildeinfluss:* Wildverbiss kann die Naturverjüngung bei ihrer Entwicklung um bis zu 25 % schädigen (SCHODTERER und SCHADAUER 1997). In der An- und Aufwuchsphase der Naturverjüngung spielen das Reh-, Rot- und Gamswild eine bedeutende Rolle (LÄSSIG et al. 1995) und können Verjüngungsschäden hinsichtlich der Quantität und Qualität der Bäumchen verursachen. Die Verjüngung wird durch den Verbiss in ihrer Höhenentwicklung zurückgeworfen und somit verlängert sich der Zeitraum der Waldentwicklung (SENN und HÄSLER 2005). Große Wildpopulationen können das Aufkommen von Naturverjüngung derart hemmen, dass die Umsetzung der Waldfunktionen infolgedessen zu einer schweren Aufgabe werden kann (RÜEGG und SCHWITTER 2002). Auf geräumten Flächen kann vor allem das Rehwild zum Problem werden, da die Pflänzchen ungeschützt aufkommen und somit problemlos gefressen werden können (LEDER 2007), aber auch das Rotwild bevorzugt geräumte Flächen stärker als mit Sturmholz belassene, weil sich ihnen weniger Hindernisse in Form von umgefallenen Bäumen in den Weg stellen (BAFU 2010). Der Wildverbiss hat in Beständen und auf WWF unterschiedliche Auswirkungen, da der Verbiss in dichten Beständen mit nur geringen Verjüngungszahlen schwerer zu ertragen ist als auf offenen, lichten Flächen mit hohen Verjüngungszahlen. Durch den Wildverbiss nimmt vor allem die Baumartenzusammensetzung ab, d.h., dass verbissemphindliche Baumarten wie

die Tanne ausfallen und im Folgebestand nicht mehr vertreten sind (REICH et al. 2010). Vor allem der Tanne wird aber eine stabilisierende Funktion nachgewiesen und dessen Fehlen wirkt sich negativ auf die Schutzfunktion des Waldes aus. Auch die Verjüngungspflänzchen der Vogelbeere zählen zu den verbissanfälligen Pflanzen in der Initialphase (SENN und HÄSLER 2005). Fichten werden im Gegensatz zur Tanne und Vogelbeere weniger häufig verbissen, was aber auch stark von der Baumartenverfügbarkeit abhängig ist (BAFU 2010). WOHLGEMUTH und KRAMER (2015) beschrieben in ihrer Studie, dass der Verbiss auf Flächen ohne Schlagrücklass höher war.

*Standörtliche Bedingungen:* Die kleinstandörtliche Verjüngung spielt auf WWF auch eine große Rolle. Durch die zurückgebliebenen Wurzelteller und die Räumungsarbeiten entstehen vegetationsfreie Flächen, auf denen der Boden geöffnet ist (SCHÖNEBERGER et al. 2003). Auf und um den Wurzeltellern stellt sich eine große Anzahl an Naturverjüngung ein (LÄSSIG und MOTSCHALOW 2000). Vor allem die Fichte findet geeignete Ansamlungsbedingungen auf solch offenen Flächen vor und kommt dort verstärkt auf (SCHÖNEBERGER et al. 2003). Ein höherer Moderholzanteil kann auch ein besseres Verjüngungsaufkommen bewirken, da die Naturverjüngung vor der Bodenvegetation, dem Verbiss sowie auch vor Erosion besser geschützt sein kann und dieser Ort schneller ausapert (SCHODTERER und SCHADAUER 1997). Die Moderholzverjüngung spielt hauptsächlich bei der Fichte eine bedeutendere Rolle. Dort wird sie im Vergleich zum Aufkommen am Boden auch weniger häufig verbissen (KEMPTER 2006). Ob Verjüngung aufkommt und Flächen wieder bewaldet werden hängt stark von der Zusammensetzung dieser Faktoren ab (BRANG et al. 2017). Auch das Zurücklassen von Schlagrücklass auf den WWF kann positive und negative Effekte hervorrufen. Schlagabraum auf den Flächen kann einerseits günstige Wuchsbedingungen hervorrufen, aber andererseits auch das Aufkommen von Naturverjüngung hemmen und den Wildtieren das Betreten erschweren. (ODENTHAL-KAHABKA 2020). Die Vaia-Windwurfflächen wurden, so wie auch der Großteil der von Vivian und Lothar geschädigten Flächen, geräumt, um einen Sekundärbefall durch den Borkenkäfer vorbeugen zu können (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2019).

Die Ziele dieser Arbeit sind: (1) einen Überblick über die aktuelle Verjüngungssituation nach dem Vaia Ereignis auf den Windwurfflächen (WWF), an dessen Rändern und im angrenzenden, vom Wind unbeschädigten Bestand zu erhalten; (2) Vergleiche zwischen diesen Teilbereichen anzustellen und (3) Auswirkungen der unterschiedlich großen Kalamitätsflächen auf das Verjüngungsaufkommen und den Wildverbiss zu analysieren.

Anhand der Zielsetzung werden in dieser Arbeit folgende Forschungsfragen behandelt:

- Sind Unterschiede beim Verjüngungsaufkommen zwischen stammzahlreicheren und stammzahlärmeren Beständen in den verschiedenen Teilbereichen einer Windwurffläche (Freifläche, Bestandesrand und Bestand) zu erkennen?
- Wie sehen die Baumartenverteilung und das Verjüngungsvorkommen in der Verjüngung in Abhängigkeit der Größe der Windwurffläche, der Lokalität und der Höhenstufe aus?
- Gibt es im Zentrum, am Rand oder im Bestand Unterschiede zwischen den Baumarten hinsichtlich der Pflanzhöhe und wie ist die Baumartenverteilung in den unterschiedlichen Höhenklassen?
- Auf welchen Kleinstandorten kommt die Verjüngung auf? Sind dort Differenzen hinsichtlich des Aufkommens der Baumarten im Zentrum, am Rand oder im Bestand erkennbar?
- Sind auf und zwischen den Lokalitäten bei unterschiedlicher Flächengröße Unterschiede in den Verjüngungszahlen bei unterschiedlicher/m Bodenvegetation, Schlagrücklass oder beim Vorhandensein von Samenbäumen nachweisbar?
- Unterscheidet sich der Wildverbiss zwischen den Teilbereichen einer Windwurffläche (Freifläche, Bestandesrand und Bestand) und der Flächengröße?
- Auf welchen Flächen (Zentrum, Rand, Bestand) kommen indirekte Wildnachweise (Losungshaufen) mit welcher Häufigkeit vor? Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Flächengröße?

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Das Untersuchungsgebiet

#### 2.1.1 Waldstandorte

Das Untersuchungsgebiet rund um Welschnofen (siehe Abbildung 4) ist im Osten vom Rosengarten und im Süden vom Latemar, zwei Gebirgserhebungen, umgeben. In Richtung Südosten befindet sich der Karerpass, welcher die Grenze zum Trentino, der Nachbarprovinz Südtirols, bildet. Angrenzende Gemeinden sind im Norden Tiers und im Westen Deutschnofen und Karneid. Das Gebiet liegt inmitten einer Hügellandschaft, welche fast gänzlich vom Wald bewachsen ist. Unterhalb des Rosengartens grenzen die Waldflächen an einer Vielzahl an Wiesen an, welche touristisch stark als Erholungsgebiet genutzt werden. Die Waldflächen im Untersuchungsgebiet weisen charakteristisch unterschiedliche Eigenschaften auf und reichen von ebenen und steilen bis hin zu trockenen und frischen Standorten unterschiedlicher Expositionen. Diese Waldstandorte wurden im Zuge der im Jahr 2010 durchgeführten Waldtypisierung Südtirols beschrieben. Das Erhebungsgebiet liegt im Wuchsgebiet 3.3 und in der Fichten-Tannen-Buchen-Wuchszone. Das Buchenvorkommen ist auf die tieferen Lagen beschränkt (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010). Auf den südlicher exponierten Standorten kommen die Waldkiefer und die Lärche vermehrt auf. Auf rund 81 % der Erhebungsflächen können die drei Waldtypen (Typ Fs1 (Subalpiner Silikat-Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere), FT 1 (Silikat-Wollreitgras-Fichten-Tannenwald mit Rohrreitgras), Waldtyp FT 11 (Silikat-Wollreitgras-Fichten-Tannenwald mit Wachtelweizen)) zugeordnet werden.



**Abbildung 4: Übersicht über das Projektgebiet mit den angrenzenden Katastralgemeinden (rote Linien), den Wuchszonen (Zahlen-Buchstaben-Kombination) und den Waldtypen (farbliche Einfärbung) (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021a)**

Die Baumartenzusammensetzung und Verjüngungsökologie, wie sie in der Waldtypisierung für ausgewählte Waldtypen beschrieben wurde, sieht im Projektgebiet folgendermaßen aus: Die Fichte bildet die Hauptbaumart und die Tanne ist oft nicht vorhanden bzw. teilweise nur eingesprengt oder lokal vertreten. Die Lärche kommt vermehrt beigemischt vor, kann aber auch nur eingesprengt auf den Flächen stocken. Die Vogelbeere kommt nur örtlich eingesprengt vor, so wie auch die Birke und die Grünerle. Die Verjüngung wird durch die Bodenvegetation von vor allem dem Wollreitgras und der Heidelbeere gehemmt. Dadurch spielen Verjüngungsstandorte, welche von der Bodenvegetation herausragen (Moderholz) bzw. wo diese nicht so stark aufkommt (bei Rotten oder Fichten mit einer tiefen Kronenausprägung), für das Aufkommen der Naturverjüngung eine wichtige Rolle. Die Tanne fällt häufig durch den Wildverbiss aus und infolgedessen entstehen reine Fichtenwälder, welche gegenüber Windwürfen nicht besonders resistent sind (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010). Diese Charakterisierung beschreibt die Bedingungen auf den erhobenen Flächen sehr gut, wobei durch den Sturm Vaia ein Großteil dieser Bestände zerschnitten wurde und daraufhin unterschiedlich große Lücken als Folge der starken Windwürfe entstanden.

### **2.1.2 Jagdsituation**

Die Jagdfläche in der Gemeinde Welschnofen, wo der Großteil der Erhebungen aufgenommen wurde, beträgt 3.455 ha (SINNER 2020). Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die bewilligten und die am Ende auch getätigten Abschüsse von Reh- und Rotwild im Jagdrevier Welschnofen in den Jahren 2016 bis 2020. Außerdem wird die Differenz zwischen erlegten und bewilligten Stücken aufgezeigt. Es ist zu erkennen, dass die bewilligten Rehwildabschüsse seit 2016 immer im Bereich um 60 Stück waren und diese Zahl im Jahr 2020 erhöht wurde. Aus den gleichbleibenden bis leicht erhöhten, bewilligten Rehwildabschüssen kommen jedoch stark zurückgegangene Abschusszahlen heraus. Seit dem Jahr 2018, in dem auch Sturmtief Vaia auftrat, gingen die erlegten Stücke um bis zu 30/Jahr zurück. Das bedeutet, dass teilweise nur die Hälfte oder 2/3 der bewilligten Rehe erlegt wurden.



**Tabelle 1: Bewilligtes und erlegtes Reh- und Rotwild zwischen 2016 und 2020 im Jagdrevier Welschnofen (Ewald 2020)**

Jahr	Rehwild			Rotwild		
	insgesamt bewilligt	insgesamt erlegt	+/-	insgesamt bewilligt	insgesamt erlegt	+/-
2016	58	58	0	20	34	14
2017	60	62	2	31	34	3
2018	60	30	-30	39	35	-4
2019	60	48	-12	42	51	9
2020	64	40	-24	44	44	0

Ein anderes Bild ist bei der Betrachtung der Rotwildzahlen zu erkennen. Die bewilligten Abschüsse stiegen vom Jahr 2016 mit 20 Stück bis zum Jahr 2020 mit 44 Stück Rotwild um mehr als die Hälfte an was auch bedeutet, dass sich mehr Rotwild im Jagdrevier eingestellt hat. Außer im Jahr 2018, wurde meistens mehr Rotwild erlegt als bewilligt und 2020 wurde genauso viel erlegt wie bewilligt. Die Windwurfereignisse im Herbst 2018 könnten ein möglicher Grund für die deutliche Nichterfüllung des Abschussplanes jenes Jahres beim Rehwild und jene knapp verfehlten Abschüsse des Rotwildes sein.

### **2.1.3 Auswahl der Untersuchungsgebiete**

Vom Sturmtief „Vaia“ waren in Südtirol v.a. die vier Forststationen Welschnofen, Deutschnofen, St. Vigil in Enneberg und Kaltenbrunn sehr stark betroffen, 2/3 des Schadholzes fielen auf den Flächen dieser Gebiete an (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020b). Zusammen mit dem Amt für Forstplanung, dem Amt für Jagd und Fischerei und den Betreuer\*innen der Masterarbeit wurde beschlossen, dass anhand diverser Auswahlkriterien das Projektgebiet rund um Welschnofen und dem Karerpass, untersucht werden sollte. Die meisten untersuchten WWF befanden sich im Gemeindegebiet von Welschnofen, einige wenige im Gemeindegebiet von Karneid, Tiers und Deutschnofen (siehe Abbildung 5). Dieses Gebiet wird hauptsächlich vom Forstinspektorat Bozen II verwaltet. Zwei größere Flächen befanden sich auch noch knapp hinter der Gemeindegrenze von Welschnofen Richtung Deutschnofen und werden vom Forstinspektorats Bozen I verwaltet.



**Abbildung 5: Das Untersuchungsgebiet mit den Polygonen der Windwurfflächen und den Erhebungsstandorten (rote Punkte) (QGIS Development Team 2020)**

Für die Auswahl der Flächen wurden mehrere Kriterien herangezogen, nach denen die Aufnahmeflächen ausgewählt worden sind:

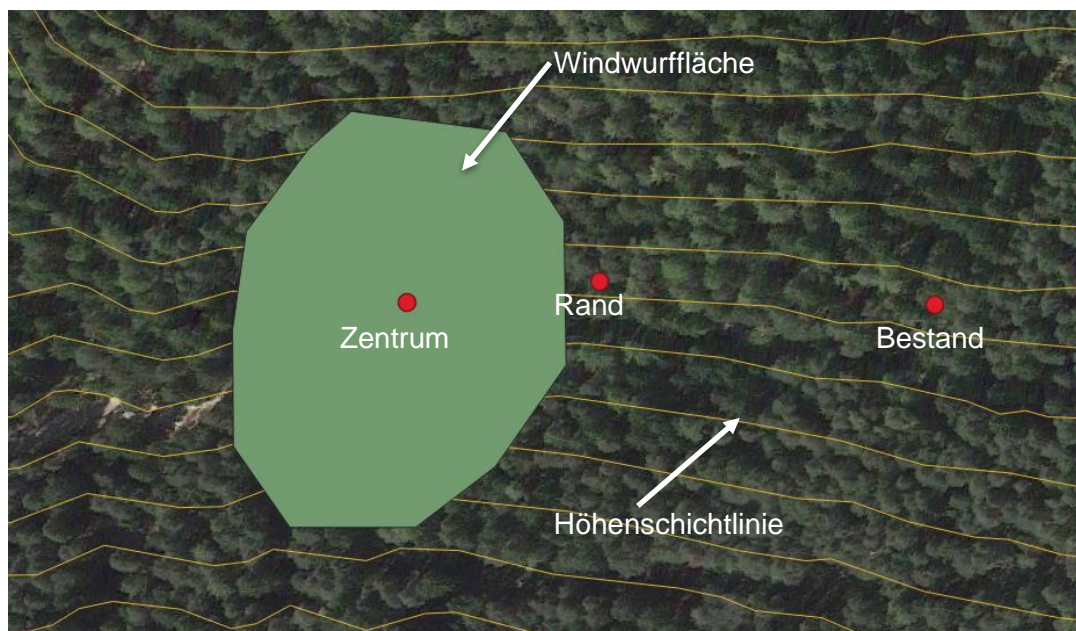
- *Flächengröße:* es sollten sowohl unterschiedliche Flächengrößen in die Erhebung einfließen und es sollte eine Aufnahme von mindestens drei Stichprobenpunkten (Zentrum, Rand, Bestand) im Zusammenhang mit einer Windwurffläche möglich sein
- *Lage der Flächen zueinander:* Die WWF sollten möglichst in der Nähe zueinander und ähnlichen Störungen (v.a. Tourismus, Wege) ausgesetzt sein
- *Nachbarschaft zu Grünland:* WWF mit direkt angrenzenden Grünlandflächen sollten vermieden werden, um den Einfluss des Wildes nicht zu verzerren. Das Wild würde auf den Grünlandflächen mehr und qualitativ hochwertigere Nahrung vorfinden und wäre vermehrt auf solchen Flächen vorzufinden als auf z.B. den Bestandesflächen. Somit würde das Wild stärker gelenkt werden und die Bestandes- und Windwurfflächen häufiger verlassen.

Anhand dieser Kriterien und der vom Amt für Forstplanung bereitgestellten Shape-Files der WWF-Flächen-Polygone wurden die Erhebungsflächen für die Masterarbeit mittels QGIS festgelegt. Die im Vorhinein anhand von QGIS ausgewählten Flächen wurden vor Ort kontrolliert und evaluiert, um sicherzugehen, dass alle Kriterien eingehalten werden konnten.

## 2.2 Erhebungsdesign und Aufnahmen

### 2.2.1 Stichprobenanzahl

In Absprache mit dem/der Betreuer\*in der Masterarbeit wurde beschlossen, mindestens 90 Stichprobenpunkte zu erheben, um für die Auswertung eine genügend große Anzahl an Punkten für die einzelnen Straten zur Verfügung zu haben. Die Anzahl der Stichprobenpunkte sollte einerseits eine statistische Auswertbarkeit sichern und andererseits die ökologische Variabilität der Flächen widerspiegeln. Die 90 Stichprobenpunkte wurden so aufgeteilt, dass 30 Punkte im Zentrum der jeweiligen WWF liegen sollten, 30 am Bestandesrand und 30 im angrenzenden, unbeschädigten Bestand. Auf 4 großen Windwurfflächen wurde noch ein zusätzlicher Punkt im Zentrum mit mindestens 60 m Abstand erhoben, um die Datenmenge zu erhöhen und somit weitere Erkenntnisse auf den WWF erhalten zu können. Am Ende wurden für diese Arbeit 94 Punkte aufgenommen und für die Auswertung herangezogen (siehe Abbildung 6).



**Abbildung 6:** Das Polygon einer Windwurffläche (grün) mit den Erhebungspunkten im Zentrum, am Rand und im Bestand (jeweils rote Punkte) auf der Höhenschichtlinie (braune Linien) (QGIS Development Team 2020)

### 2.2.2 Auffinden der Stichprobenpunkte

Nach der Auswahl der Windwurfflächen (siehe 2.2.1) wurde zunächst per QGIS zufällig ein Mittelpunkt in jeder Sturmfläche festgelegt (= Punkt „Zentrum“). Eine Veränderung dieser Vorauswahl (= Verlegung der Stichprobenpunkte) bei der Begehung vor Ort erfolgte nur in jenen Fällen, wo die Polygone in QGIS nicht mit dem realen Windwurf übereinstimmten oder wo sich der Stichprobenpunkt auf einer Rückegasse befand. Ausgehend von diesem Punkt im Zentrum und dessen geografischer Höhe wurde zuerst anhand der Orthofotokarte bestimmt, auf welcher Seite der WWF die restlichen zwei Punkte (Rand und Bestand) am besten aufgenommen werden können. Vor Ort, beim jeweiligen Punkt, wurde entschieden, ob die Punkte für eine Aufnahme geeignet sind, ansonsten wurden sie auf die gegenüberliegende Seite der WWF verlegt. Kriterien für eine Verlegung des Punktes waren:

- *zu große Bestandeslücken*: Diese würden das Bestandesklima wieder stärker verändern und auch die Bodenvegetation würde stärker aufkommen
- *zu nahe an der nächsten WWF*: die Bestände sind dann lichter und wiederum ändert sich das Klima (Temperatur, Wind, Sonneneinstrahlung) im Bestandesinneren
- *nicht begehbar*: zu steile oder felsige Erhebungsflächen, welche keine gute und sichere Erhebung zulassen würden, wurden vermieden.

Für das Auffinden der Stichprobenpunkte am Rand einer WWF (= Punkt „Rand“) und im Bestand (= Punkt „Bestand“) wurden die Höhengichtlinien zu Hilfe genommen. Die Punkte Zentrum, Rand und Bestand einer WWF lagen somit alle auf einer Höhengichtlinie, um eine bestimmte Kontinuität bei der Aufnahme haben zu können. Der Randpunkt wurde unmittelbar hinter der Grenze zwischen Windwurffläche und Bestand aufgenommen.

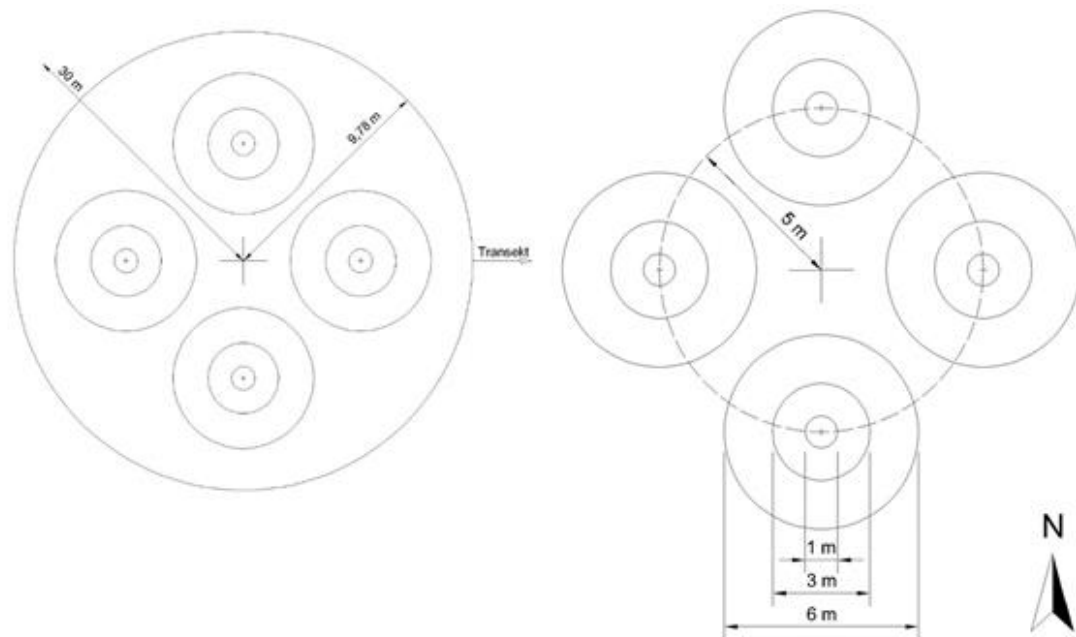
### 2.2.3 Erhebungsparameter

Das Erhebungsdesign wurde in Anlehnung an das Konzept von Feichter Stefan (2011) in dessen Diplomarbeit „Die Weißtanne (*Abies alba* Mill.) und ihre Verjüngungssituation im Hochpustertal, Südtirol“ entwickelt.

Pro Stichprobenpunkt gab es drei verschiedene Erhebungslevels:

- i: Erhebungen der Standortparameter
- ii: Erhebungen der Bestandesparameter
- iii: Erhebungen der Verjüngungsparameter

Alle Parameter dieser drei Kategorien wurden anhand unterschiedlicher Radien aufgenommen (siehe Abbildung 7).



**Abbildung 7: Erhebungsdesign und dazugehörige Radien bzw. Durchmesser für die Aufnahme der Standorts- (links, 30 m), Bestandes- (links, 9,78 m) und Verjüngungsparameter (rechts)**

(i) 30 m Radius:

Das Erhebungsblatt „Standort“ wurde nicht nur für die Aufnahme der flächenspezifischen Parameter verwendet, sondern auch für die Skizzierung des Stichprobenpunktes, um diesen dauerhaft auffinden zu können.

Innerhalb des 30 m Radius` wurden all jene Parameter erhoben, welche am geeignetsten für eine großflächigere Aufnahme waren:

- Seehöhe in Höhenmeter [hm]
- Höhenstufe: Diese wurde aus dem Geokatalog der Autonomen Provinz Bozen im Bereich „Forstwirtschaft“: Höhenstufen (Walddtypisierung) entnommen.
- Geländeform: konvex, konkav, intermediär
- Hangneigung in Prozent (%)
- Exposition: Es wurde die genaue Himmelsrichtung, nach welcher die Fläche ausgesetzt ist, bestimmt.
- Baumartenzusammensetzung: Die vorgefundenen Baumarten wurden in /10 angegeben.
- Störungen:
  - Wege (gering, mittel, hoch)
  - Straßen (gering, mittel, hoch)
  - sonstige Infrastruktur (gering, mittel, hoch)

(ii)

9,78 m Radius:

Mit dem Bestandesformular wurden die Bestandesparameter sowie auch die vegetativen Merkmale und die Losungshaufen aufgenommen.

- *Baumart*
- *Brusthöhendurchmesser (BHD) in Zentimeter [cm]:* Von allen stehenden Individuen, welche innerhalb des 9,78 m Radius waren und einen Durchmesser von größer als 6 cm aufwiesen, wurde der BHD in 1,3 m Höhe gemessen.
- *Höhe in Meter [m]:* Die Baumhöhe, welche für die Berechnung des Volumens und des Vorrats von Bedeutung ist, wurde immer vom 2. stärksten Baum je Baumart gemessen, um mögliche Wipfelbrüche vermeiden zu können, welche durch den Sturm vermehrt auf Oberhöhenstämmen vermutet wurden. Außerdem weicht die Höhe des zweitstärksten Stammes auch nicht viel vom Oberhöhenstamm ab.
- *Alter:* Das genaue Alter des 2. stärksten Baumes je Baumart wurde mittels Zuwachsbohrer gemessen.
- *Zuwachs:* Der Zuwachs der letzten 10 Jahre wurde im Zuge der Messung des Alters in Richtung des Stichprobenmittelpunkts vom 2. stärksten Baum je Baumart gemessen.
- *Samenbäume:* Auf jeden der Stichprobenpunkte wurden Samenbäume anhand einer Strichliste aufgenommen. Das wichtigste Kriterium für deren Aufnahme in den Windwurfflächen war eine maximale Distanz von 60 m. Außerdem galten nur jene Bäume als Samenbäume, welche mannbar waren (bereits das ausreichende Alter für die Fruktifikation aufwiesen).
- *Schichtung:* einschichtig, zweischichtig oder mehrschichtig
- *Überschirmung in 10tel*
- *Bodenbedeckung durch Schlagrücklass:* Der zurückgebliebene Schlagrücklass auf den Flächen wurde in 10tel der Bodenbedeckung innerhalb der 300 m<sup>2</sup> abgeschätzt.
- *Totholz:* Stehendes und liegendes Totholz sowie dessen Richtung wurden aufgenommen und die Position, Anzahl und Menge in Vfm abgeschätzt.
- *Bodenvegetation in Prozent [%]:* Hierfür wurde in Prozent abgeschätzt, wie viele Gräser, Kräuter und/oder Sträucher auf der Probefläche wuchsen.

- *Bodenbegrünung in Prozent [%]*: Diese wurde als Indikator für das Äsungsangebot herangezogen. Damit ist die generelle Bedeckung des Bodens durch Gräser, Kräuter und Sträucher gemeint.
- *Ø Höhe der Sträucher [cm] und deren Verbissklasse*: Die Sträucher wurden in die Klassen (< 50 cm, 50-130 cm und > 130 cm) eingeteilt. Darüber hinaus wurden auch die vorhandenen Straucharten bestimmt und denen eine Verbissklasse (kein Verbiss, verbissen bis zu 50 %, auffällig stark verbissen von 52-90 % oder Totalverbissen mit > 90 %) zugeordnet.
- *Losungshaufen*: Im Umkreis der 9,78 m wurden Losungshaufen aufgesucht, welche indirekte Nachweise von Wild aufzeigen sollten. Die Losungshaufen wurden in Rot-, Reh-, und Gamswild unterschieden, wobei auch die verschiedenen Kombinationen aufgestellt wurden. Die Anzahl der Losungshaufen wurden in Klassen (keine, 1-3, 4-10 und > 10) eingeteilt.

(iii) 0,5 m, 1,5 m, 3 m Radius (4 Satelliten/Erhebungspunkt):

Ausgehend vom Erhebungsdesign, waren die Pflanzenhöhe und Lage der Verjüngungspflänzchen die Grundlage für die Entscheidung, ob das Bäumchen aufgenommen wurde oder nicht. Bei der Ansprache der Verjüngungspflanzen wurden folgende Parameter für alle Pflänzchen < 6 cm BHD aufgenommen:

- *Art der Naturverjüngung*: Hier wurde zwischen Kunst- und Naturverjüngung unterschieden.
- *Konkurrenz durch Bodenvegetation*: Anhand der vier Verjüngungsflächen wurde mit ja oder nein bestimmt, ob die Bodenvegetation als Konkurrenz für die Pflänzchen vorhanden war oder nicht.
- *Baumart*: Es wurde die Baumart eines jeden Pflänzchens erhoben.
- *Pflanzenhöhe*: Die Größe des Pflänzchens wurde mittels Lineal an der Hangoberseite vermessen. Das diesjährige Triebwachstum wurde nicht miteinbezogen, da die Wachstumsphase noch nicht abgeschlossen war.

Für die sechs höchsten Pflänzchen je Baumart und Teilfläche (insgesamt vier je Erhebungsmittelpunkt) wurden zusätzlich die nachfolgenden Charakteristika aufgenommen, da jene sechs die höchste Wahrscheinlichkeit haben in die nächste Bestandesphase hineinzuwachsen:

- *Verbisshäufigkeit der letzten 3 Jahre*: Der Verbiss des Terminaltriebes einer Pflanze wurde von den drei vorhergegangenen Jahren aufgenommen, um eine größere Spannweite haben zu können, da bei der Verbisserhebung nur eines Jahres bestimmte, zufällige Faktoren mit hineingespielt haben könnten.
- *Terminaltriebverbiss*: Diese Aufnahme galt dem frisch gebildeten Terminaltrieb, um auch einen Überblick über den Verbiss im Erhebungsjahr erhalten zu können, auch wenn die Aufnahmen bereits zwischen Juli und August stattgefunden haben.
- *Ersatztrieb vorhanden*: Durch den frühen Verbiss des frischen Terminaltriebes kann noch im selben Jahr ein Ersatztrieb gebildet werden.
- *Ersatztrieb verbissen*: Diese Erhebung zielt darauf ab, ob der frisch gebildete Ersatztrieb, also das Pflänzchen, zum 2. Mal verbissen wurde.
- *Verbissart*: Der Verbiss wurde genau untersucht und entweder in Wiederkäuerverbiss oder Verbiss durch Hasen/Nager differenziert.
- *Leittriebanzahl*: Anhand der Leittriebanzahl ist zu erkennen, ob der Verbiss einen Einfluss auf die Bildung der Leittriebe hat.
- *Fegeschaden*: Diese Schäden sind an Verjüngungspflanzen, vor allem bei Lärchen, vorzufinden und können ein Grund für den Ausfall der Pflanze sein.
- *sonstiger Schaden*: War kein Verbiss oder Fegeschaden vorhanden so wurde das Pflänzchen auch noch auf weitere Schäden wie Schäl-, Ernte oder abiotische Schäden untersucht.
- *Vitalität*: Anhand der Vitalität wurde die Gesundheit des Bäumchens in 3 verschiedenen Klassen unterteilt. Klasse 1 (sehr gut; Farbe intensiv grün und dichte Nadeln), Klasse 2 (mittel; stellenweise fahlgrün und weniger dichte Nadeln) sowie



Klasse 3 (schlecht; Farbe der Nadeln fahlgrün – gelblich und Nadeln weniger dicht bzw. schütter).

- *Verjüngungsort*: Um eine Übersicht über den genauen Ort des Verjüngungsaufkommens zu erhalten, wurde dieser genau bestimmt und in „unter Schirm“, „Freifläche“, „Wurzelteller“ oder „Moderholz“ eingeteilt. Kombinationen zwischen den Verjüngungsorten wurden nicht aufgenommen.

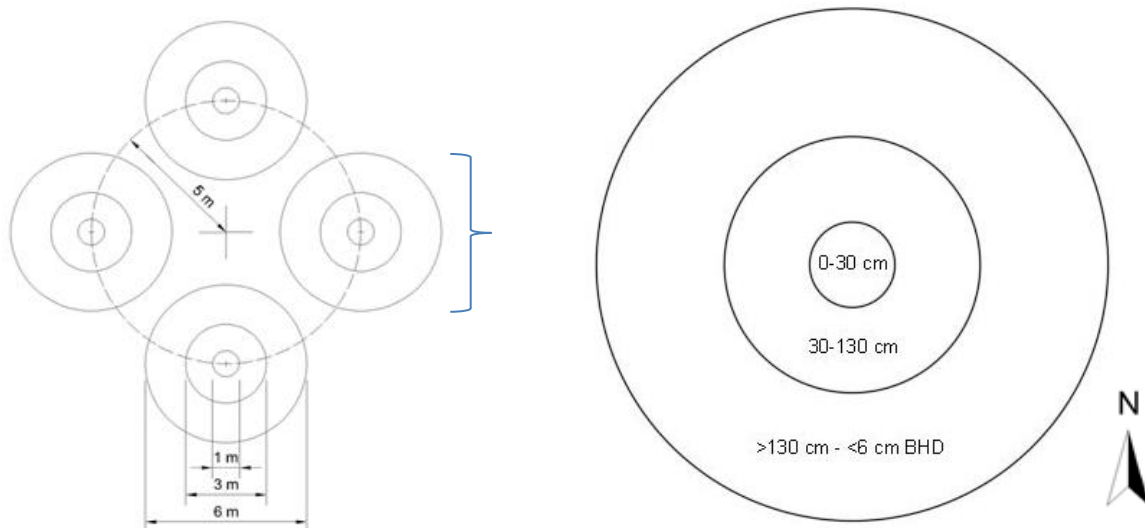
In die Kategorie „*unter Schirm*“ wurde alle jene Naturverjüngung mit aufgenommen, welche unter einem Kronendach eines Baumes aufwuchs. Auch kleine Bestandeslücken zählten noch dazu.

Zur „*Freifläche*“ zählten jene Pflänzchen dazu, sobald diese auf der WWF oder an dessen Rändern nicht mehr unter Schirm standen, also von keiner Baumkrone mehr überschirmt wurden.

Die Verjüngung wurde zur Kategorie „*Wurzelteller*“ gezählt, sofern sie auf einem Wurzelteller oder auf den dadurch aufgerissenen bzw. geöffneten Boden aufwuchs.

Als Verjüngung auf „*Moderholz*“ wurden jene Pflänzchen bezeichnet, welche auf Holz im Zersetzungsstadium aufkamen.

Die Verjüngung wurde pro Stichpunkt auf vier Satellitenstichprobenflächen aufgenommen, deren Mittelpunkte sich jeweils 5 m vom Stichprobenmittelpunkt entfernt in jeder Himmelsrichtung (Nord, Ost, Süd, West) befanden. Die Stichprobenflächen waren im 90° Winkel angeordnet. Diese Mittelpunkte der Satellitenstichprobenfläche waren der Ausgangspunkt für alle drei Probeflächen, mit den Radien von 0,5 m, 1,5 m und 3 m.



**Abbildung 8: Erhebung der Naturverjüngung mit den vier Satellitenflächen und den dazugehörigen Radien (links) und die drei Höhenklassen für die Aufnahme pro Radius je Satellit**

Ob nun eine Verjüngungspflanze aufgenommen wurde oder nicht, hing von der Lage und der Höhe der Pflanze ab. Pflanzen zwischen 0 und 30 cm Höhe wurden innerhalb eines Radius von 0 und 50 cm aufgenommen. Jene zwischen 30 cm und 1,3 m Höhe wurden zwischen 0 und 1,5 m Radius und die Pflanzen ab 1,3 m Höhe bis < 6 cm BHD wurden im äußersten Radius zwischen 0 und 3 m erhoben (siehe Abbildung 8).

#### **2.2.4 Datenerhebung und Markierung der Stichprobenpunkte**

Mit dem Abschluss der Flächenauswahl, dem ausgearbeiteten Erhebungsdesign und der anschließenden Fertigstellung der nötigen Erhebungsblätter wurden im Sommer 2020 zwischen Juli und August die Geländeerhebungen durchgeführt. Für die Aufnahme der Daten wurden pro Stichprobenpunkt drei Aufnahmeformulare herausgearbeitet, welche sich jeweils auf ein Erhebungslevel beziehen.

Damit die Stichprobenpunkte in einigen Jahren wieder für eine Folgerhebung aufgefunden werden können, wurden diese dauerhaft markiert: Am Stichprobenmittelpunkt wurde ein Eisenpflock (ca. 30 cm lang, 1,5 cm breit) mit einer gelben Kappe gänzlich in den Boden geschlagen, sodass nur mehr die gelbe Kappe sichtbar war. Zusätzlich wurden die GPS-Koordinaten der Punkte aufgenommen und anhand der zwei markantesten bzw. naheliegendsten Strukturen wie z.B. große Steinblöcke, Bäume oder gut erhaltene Wurzelstöcke eingemessen (Polarkoordinaten). Hierfür wurden die Distanz und der Azimut zu diesen markanten Stellen hin aufgenommen. Von den zwei nächsten Bäumen zum

Punkt wurden die Baumart und der BHD erhoben sowie der Stammfuß mit jeweils einer kleinen rechteckigen Eisenplakette und einem Nagel gekennzeichnet. Wurzelstöcke wurden vor allem im Zentrum der WWF für die Einmessung der Stichprobenpunkte verwendet. In Richtung Stichprobenmittelpunkt wurde der Durchmesser des Stocks mittels Kluppe, wenn möglich ohne Rinde aufgenommen, um in Zukunft nicht größere Abweichungen des Durchmessers durch den eintretenden Zerfall der Rinde zu erhalten. In den Stockfuß wurden wiederum eine kleine Eisenplakette und ein Nagel eingeschlagen. Die Distanz zu den Bäumen auf den Windwurfflächen wurde mittels Vertex und Transponder auf Brusthöhe gemessen. Zur Ermittlung der Distanz der Wurzelstöcke auf den WWF und den Bäumen am Rand und im Bestand wurde die Strecke von der Eisenplakette am Stamm- bzw. vom Stockfuß aus, gemessen. Der Azimut wurde von der gedachten Mitte der markanten Struktur Richtung des Stichprobenmittelpunktes bestimmt. Damit die Punkte in Zukunft schneller aufgefunden werden können, wurden die vermessenen Strukturen auch noch mittels eines leuchtenden Forstsprays markiert. Die Maße und Lage der markanten Stellen zum Mittelpunkt wurden in einer Skizze im „Erhebungsblatt 1“ (siehe Anhang) dargestellt. Darüber hinaus wurde die Lage des Stichprobenmittelpunktes noch fotografisch aus zwei Richtungen mit den markanten Strukturen oder anderen wiedererkennbaren Zeichen in der Natur dokumentiert. Die vier Mittelpunkte der Satelliten wurden jeweils mit langen Nägeln und einer ca. 8x8 cm quadratischen Eisenplakette oder einer gelben Ohrmarke für das visuelle Auffinden markiert.

## **2.3 Datenverarbeitung**

Die Daten, welche im Gelände schriftlich aufgenommen wurden, wurden im Anschluss sorgfältig digitalisiert, überprüft, Übertragungsfehler behoben und mehrfach abgespeichert. Für die tabellarische Auswertung und die grafische Darstellung der Ergebnisse wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 365<sup>®</sup> verwendet. Die statistischen Auswertungen wurden mithilfe des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics 26<sup>®</sup> und die Zeichnungen des Erhebungsdesigns mittels AutoCAD<sup>®</sup> 2020 durchgeführt.

Für die Auswahl der Flächen, die Vorbereitung für die Geländeerhebungen, die Erstellung von Orthofotokarten sowie für die Visualisierung des Untersuchungsgebiet und der Erhebungspunkte wurde die Geoinformationssoftware QGIS Version 3.10.7 verwendet.

Für die Verwaltung und das Zitieren der gesamten Literatur wurde in der vorliegenden Arbeit das Programm Citavi Version 6.11.0.0 zur Hilfe genommen.

## 2.4 Datenauswertung

### 2.4.1 Blow-up-Faktoren

Für die Berechnung der Hektarwerte des Bestandes und der Naturverjüngung wurden Blow-up-Faktoren ermittelt. Dabei wurde von der Fläche der jeweiligen Probefläche auf die Fläche von 1 ha hochgerechnet (siehe Formel 1):

$$\text{Blow-up-Faktor} = \frac{10.000}{A} \quad (\text{Formel 1})$$

$A = \text{Probefläche in m}^2$

In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt vier verschiedene Blow-up-Faktoren berechnet. Einer für die 300 m<sup>2</sup> der Bestandesanalyse und drei für die Auswertung der Verjüngung, da innerhalb der Verjüngungssatelliten drei unterschiedliche Radien verwendet wurden. In jedem Radius wurde nur die entsprechende Verjüngungskategorie (0–30 cm; 30–130 cm; 130 cm- < 6 cm BHD) aufgenommen (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Bestandes- und Verjüngungsradien mit den dazugehörigen, repräsentierten Stammzahlen/ha**

Bestand		Verjüngung		
Radius	repräsentierte N/ha	Radius in cm	Höhe in cm	repräsentierte N/ha
9,78 m	33	50	0 - 30	3.183
		150	30 - 130	354
		300	130 - < 6 cm BHD	88

Die Hektarwerte wurden ermittelt, indem die Pflanzzahl mit dem Blow-up-Faktor multipliziert wurde (siehe Formel 2):

$$N/ha = \sum_{i=1}^n * BF \quad (\text{Formel 2})$$

$N/h = \text{Stammzahl pro Hektar}$

$N = \text{Anzahl der Stämme auf der Probefläche}$

$BF = \text{Blow-up-Faktor}$

## 2.4.2 Höhermittlung nach Pollanschütz (1974)

Bei der Aufnahme des fixen Probekreises wurden zwar innerhalb dessen alle BHDs größer 6 cm aufgenommen, jedoch wurde immer nur der zweitstärkste Baum je Baumart für die Höhenmessung herangezogen. Darum wurden die Höhen für die restlichen Individuen über die Höhenkurve nach Pollanschütz (1974) ermittelt (siehe Formel 3)

$$h = e^{a + \frac{b}{BHD}} + 1,3 \quad (\text{Formel 3})$$

$h$  = Höhe [m]

$a$  = Regressionskoeffizient  $a$

$b$  = Regressionskoeffizient  $b$

$BHD$  = Brusthöhendurchmesser in [cm]

## 2.4.3 Stammzahl

Im ersten Schritt wurden die Stammzahlen pro Erhebungspunkt und Baumart ermittelt und mittels des Blow-up-Faktors von 33,33 auf die Hektarwerte hochgerechnet (siehe Formel 4):

$$N_{\text{Teilfläche}/ha} = n * \text{Blow-up-Faktor} \quad (\text{Formel 4})$$

$N/ha$  = Stammzahl pro Hektar

$n$  = Anzahl der Individuen je Baumart

Um Vergleiche zwischen den Straten (Zentrum, Rand, Bestand) durchführen zu können, wurden die Stammzahlen je Stratum baumartenunabhängig zusammengefasst und gemittelt.

## 2.4.4 Grundfläche

Die Grundfläche wurde getrennt nach Baumarten pro Erhebungspunkt ermittelt und anschließend für die unterschiedlichen Straten auf Hektarwerte hochgerechnet (siehe Formel 5):

$$G/ha = g * \text{Blow-up-Faktor} \quad (\text{Formel 5})$$

$G/ha$  = Grundfläche pro Hektar

$g$  = Kreisfläche

### 2.4.5 Volumen

Zur Bestimmung des mittleren Bestandesvorrats wurde das Einzelbaumvolumen getrennt nach Baumarten pro Stichprobenpunkt errechnet und anschließend auf mittlere Hektarwerte für das jeweilige Stratum hochgerechnet. Für die Berechnung des Volumens wurden auch die wenigen Individuen (35 von 1.058) mit Wipfelbrüchen mit hineinbezogen. Das Baumvolumen jener Bäume mit Wipfelbrüchen wurde allerdings einheitlich um 1/3 reduziert und mit nur 2/3 des Volumens in die Berechnungen einbezogen. Das Volumen eines Baumes wurde mittels folgender Formel 6 errechnet:

$$v = g * h * f \quad (\text{Formel 6})$$

$v$  = Volumen

$g$  = Grundfläche

$h$  = Höhe [m]

$f$  = Formzahl

Für die Ermittlung der Formzahl wurde die Schaftholzformzahlfunktion von Pollanschütz (1974) verwendet, welche sich wie folgt berechnen lässt (siehe Formel 7):

$$f_{SmR} = b_1 + b_2 \ln^2 d + b_3 \frac{1}{h} + b_4 \frac{1}{d} + b_5 \frac{1}{d^2} + b_6 \frac{1}{ah} + b_7 \frac{1}{d^2 h} \quad (\text{Formel 7})$$

$f_{SmR}$  = Formzahl für Schaftholz mit Rinde

$d$  = Brusthöhendurchmesser [dm]

$h$  = Höhe [dm]

$\ln$  = natürlicher Logarithmus

$b_{(i)}$  = baumartenspezifische Koeffizienten

Für alle vorgefundenen Baumarten wurden die Koeffizienten von Pollanschütz (1974) verwendet (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3: Steigungskoeffizienten  $b_i$  der österreichischen Schaftholzformzahlfunktion von Pollanschütz (1974)**

Baumart	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
<b>Fichte</b>	0,4682	-0,01392	-28,213	0,3747	-0,2887	28,28	0
<b>Tanne</b>	0,5802	-0,03074	-17,15	0,0899	-0,0806	19,66	-2,458
<b>Lärche</b>	0,6094	-0,04557	-18,663	-0,2487	0,1266	36,98	-14,204
<b>Kiefer</b>	0,4359	-0,01491	5,2109	0	0,0287	0	0
<b>Buche</b>	0,6863	-0,03715	-31,067	-0,3863	0,2195	49,61	-22,372

## 2.5 Statistische Auswertung

Für die Bestimmung der mittleren Streuung der Ergebnisse wurde die Standardabweichung (Stabw.) verwendet (Formel 8).

$$s_x = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Formel 8})$$

$s_x$ ...Standardabweichung

$x$ ...Variable

$\bar{x}$ ...Mittelwert

Die Variablen für die Auswertung hatten sowohl nominal als auch ordinal und metrisch skalierte Skalenniveaus. Somit mussten für die statistischen Auswertungen unterschiedliche Tests angewendet werden. Für die Auswertung der kategoriellen Variablen wurde der Chi-Quadrat-Test herangezogen, da dieser Test durch die Erstellung von Kreuztabellen und der dadurch guten Übersicht und optimalen Analyse geeignet ist. Von der Stichprobengröße und der erwarteten Zelhäufigkeiten hing je Auswertung ab, welcher Chi-Quadrat-Test angewandt wurde (Pearson, Test nach Fisher). Kategoriale Variablen, welche in Kombination mit einer metrischen, abhängigen Variablen ausgewertet werden mussten, wurden je nach zu erfüllende Voraussetzungen mittels Kruskal-Wallis-Test oder einer Varianzanalyse durchgeführt.

1. *Pearson Chi-Quadrat-Test*: Bei einer Stichprobengröße größer als 50 und erwartete Zellhäufigkeiten von größer 5 wurde dieser Test angewendet. Um signifikante Unterschiede in den Zellen ermitteln zu können, wurde der Post-hoc-Test nach Bonferroni durchgeführt.

2. *Exakter Test nach Fisher*: Wurde bei einer Stichprobengröße kleiner als 20 oder bei erwarteten Zellhäufigkeiten kleiner 5 eingesetzt. Post-hoc-Tests wurden nach Bonferroni durchgeführt.

3. Der *Kruskal-Wallis-Test* wurde für die Hypothesenüberprüfung zwischen ordinalen und metrischen Daten verwendet, wenn keine Normalverteilung der Daten vorlag. Bei signifikanten Unterschieden wurde auch noch der Dunn-Bonferroni-Post-hoc-Test durchgeführt, um Unterschiede zwischen Gruppen ausfindig machen zu können.

4. Eine *Varianzanalyse* wurde bei Voraussetzungen (u.a. Varianzhomogenität, Normalverteilung) für parametrische Tests bei einer abhängigen, metrischen Variable und kategorialen, festen Faktoren verwendet. Für die Post-hoc-Tests wurde der Test nach Tukey-HSD herangezogen, um Unterschiede zwischen den Gruppen erkennen zu können.

Bei allen angewandten Tests wurde die Nullhypothese ab einem Signifikanzniveau  $< 0,05$  abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen.

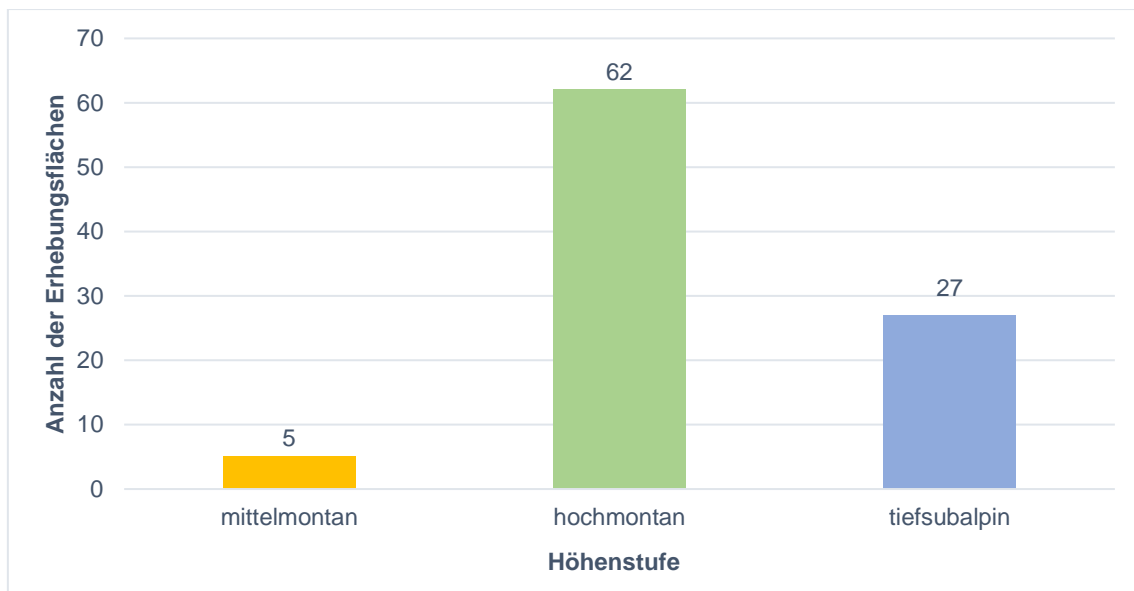


## 3. Ergebnisse

### 3.1 Standortanalyse

Die nachstehenden Tabellen und Grafiken zeigen einen Überblick über die aufgenommenen Erhebungsflächen und repräsentieren das Waldgebiet rund um das Latemargebiet. Wenn nicht anders erwähnt, beziehen sich die Angaben auf alle Probeflächen im Zentrum der WWF, am Bestandesrand und im angrenzenden, nicht beschädigten Bestand. Alle Standortparameter wurden auf den 94 Probeflächen (bezogen auf den 30 m Probekreis) auf einer Fläche von 26,58 ha angesprochen.

#### 3.1.1 Höhenstufe



**Abbildung 9: Übersicht über die Anzahl und Lage der Erhebungsflächen in den drei Höhenstufen (mittelmontan, hochmontan, tiefsubalpin)**

Der Großteil der erhobenen Aufnahmepunkte (62 Punkte) lag in der hochmontanen Stufe. 27 Punkte befanden sich in der für diese Erhebungen am höchst gelegenen, tiefsubalpinen Stufe und nur 5 Punkte lagen im mittelmontanen Bereich (siehe Abbildung 9). Die Punkte lagen auf einer Seehöhe von 1.197 bis 1.764 Meter über dem Meer, wobei die Mehrheit zwischen 1.500 m und 1.700 m über dem Meer aufgenommen wurden.

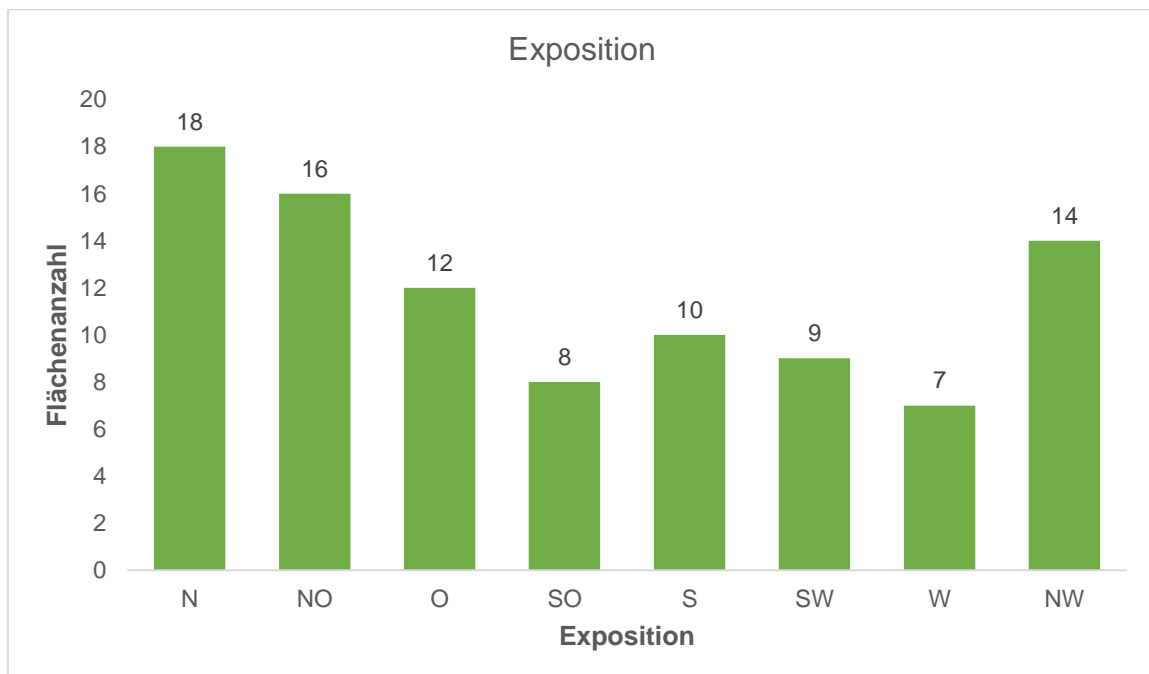
### 3.1.2 Neigung, Exposition und Geländeform

Von insgesamt 94 Erhebungspunkten betrug die **Neigung** von 44 Flächen zwischen 26 und 50 %. Weitere 29 Flächen waren bis zu 75 % geneigt und 18 Flächen wiesen eine Neigung von 1 bis 25 % auf. Aufgrund des vorwiegend nur mäßig steilen Geländes war die Anzahl der Flächen mit > 75 % Neigung (n = 3) sehr gering (siehe Tabelle 4).

**Tabelle 4: Kategorien der Hangneigungsprozente und die dazugehörige Flächenanzahl**

Hangneigungsprozente (%)	Flächenanzahl
1-25	18
26-50	44
51-75	29
76-100	3
Summe	94

Die Anzahl der Erhebungsflächen je **Exposition** war im Westen mit 7 am geringsten und im Norden mit 18 am höchsten. Wie in der Abbildung 10 ersichtlich wurden die meisten Flächen (66 %) von Nord-West über Nord bis Nord-Ost aufgenommen. 28 der 94 Flächen waren in südlichere Richtungen exponiert.

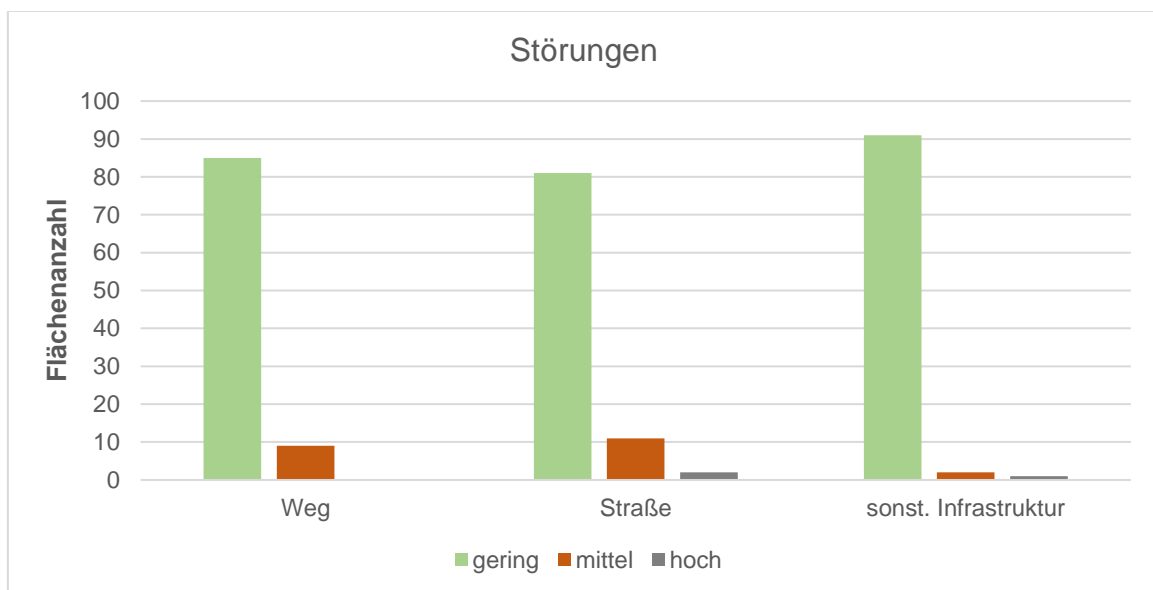


**Abbildung 10: Übersicht über die Anzahl der Erhebungsflächen bei unterschiedlicher Exposition (n = 94)**

Bei der **Geländeform** wurde zwischen konkav, konvex und intermediär unterschieden. Die meisten Punkte (56) fielen in die Kategorie „intermediär“. 32 Punkte waren im konvexen und 6 im konkaven Gelände vorzufinden.

### 3.1.3 Störungen

Ein Auswahlkriterium der Flächen war die Störung, welche möglichst ähnlich sein sollte. Dabei wurde zwischen den Klassen „gering“, „mittel“ und „hoch“ unterschieden. Entscheidende Kriterien waren die Distanz zu den Flächen und die Frequenz möglicher Störungen. Bei einer Fläche mit geringer Störung war, im Vergleich mit den Klassen „mittel“, und „hoch“, die Distanz zur Infrastruktur größer und die Frequentierung geringer. Wie in Abbildung 11 aufgezeigt, wurde in die drei Störungskategorien Wege, Straßen und sonstige Infrastruktur unterteilt. Dabei ist zu erkennen, dass die Flächen nur in geringem Maße Störungen ausgesetzt waren und nur auf ungefähr 10 Flächen mittlere Störeinflüsse durch Wege oder Straßen erhoben werden konnten. Sonstige Infrastrukturen wie jene für jagdliche Zwecke konnten nur vereinzelt vorgefunden werden.



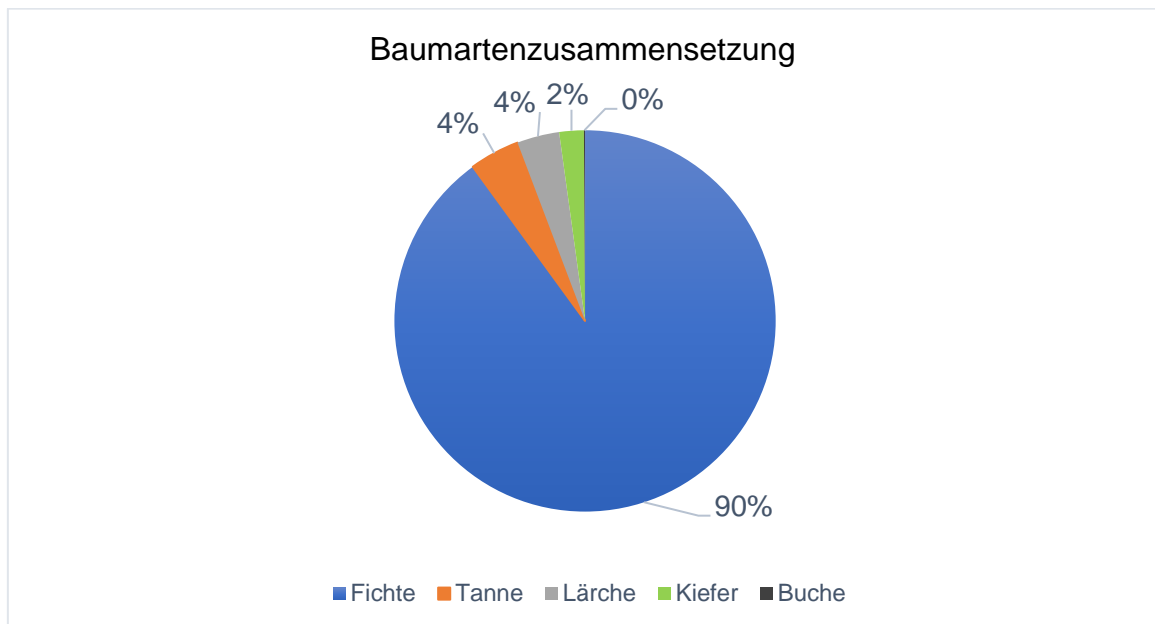
**Abbildung 11: Störungseinflüsse aufgeteilt in drei Kategorien (Weg, Straße, sonstige Infrastruktur) mit der jeweiligen Flächenanzahl (n = 94)**

## 3.2 Bestandesanalyse

### 3.2.1 Bestandesparameter

#### 3.2.1.1 Baumartenverteilung

Mit den Daten des fixen Probekreises ( $r = 9,78 \text{ m}$ ) wurden auf einer Gesamtfläche von über 2,8 ha die Baumartenanteile in Prozent erhoben. Abbildung 12 zeigt die Baumartenzusammensetzung über die Flächen mit einem stockenden Baumbestand ( $n = 61$ ). Der verbliebene Baumbestand setzte sich vorwiegend aus 90 % Fichte und 4 % Tanne zusammen. Auf trockenen, sonnigeren Standorten kamen auch noch die Lärche (4 %) und vor allem auf in Richtung Süden exponierten Flächen, die Kiefer mit 2 % hinzu. Eine Buche konnte ausschließlich auf einer Fläche in der mittelmontanen Stufe aufgenommen werden.



**Abbildung 12: Baumartenanteile in Prozent auf Erhebungsflächen mit Baumbestand ( $n = 61$ )**

#### 3.2.1.2 Grundfläche, Stammzahl und Vorrat

Für die jeweiligen drei Lokalitäten (Zentrum, Rand und Bestand) wurden die durchschnittliche Grundfläche, die Stammzahl und der Vorrat der Individuen  $> 6 \text{ cm BHD}$  ermittelt und in Tabelle 5 dargestellt. Für die Auswertung wurden sämtliche Erhebungspunkte herangezogen, auf welchen vitale Bäume aufgenommen werden konnten.

**Tabelle 5: Mittlere/r Grundfläche (m<sup>2</sup>/ha), Stammzahl (N/ha) und Vorrat (Vfm/ha) im Zentrum, am Rand und im angrenzenden Bestand von Windwurfflächen**

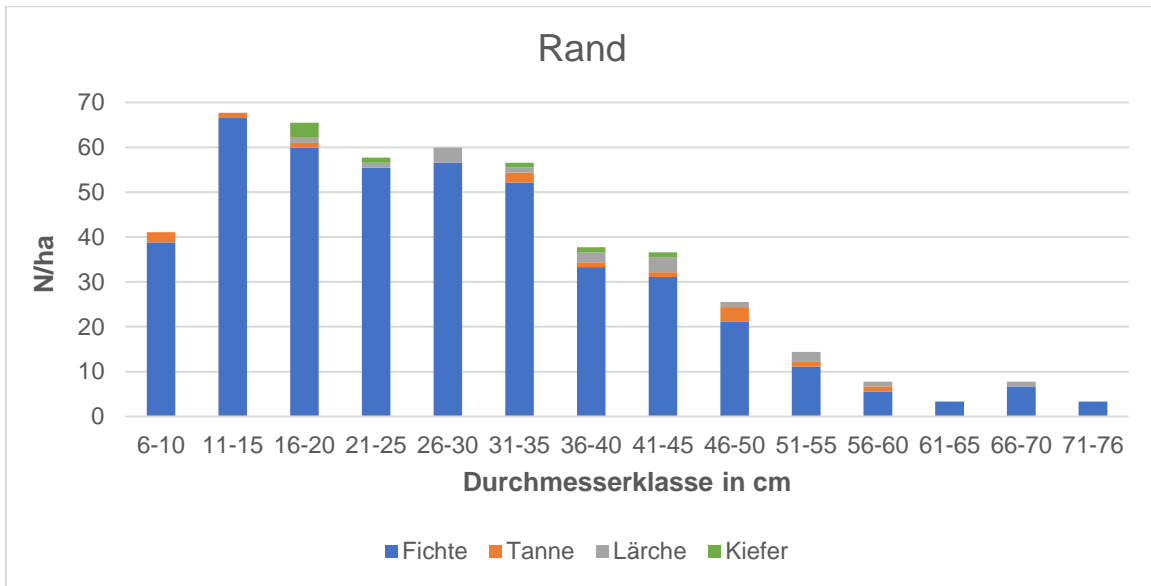
	<b>Zentrum</b> (n = 3)	<b>Rand</b> (n = 30)	<b>Bestand</b> (n = 30)
<b>Grundfläche</b> (m <sup>2</sup> /ha)	9	39	50
<b>Stammzahl</b> (N/ha)	55	485	683
<b>Vorrat</b> (Vfm/ha)	122	440	577

Im Zentrum konnte im Mittel für jede Erhebungsfläche eine Grundfläche von 9 m<sup>2</sup>/ha, eine Stammzahl/ha von 55 und ein Vorrat von 122 Vfm/ha ermittelt werden.

Die Grundfläche am Rand betrug durchschnittlich 39 m<sup>2</sup>/ha. Der Vorrat von 440 Vfm/ha verteilte sich auf 485 Individuen/ha. Im geschlossenen, durch Sturm Vaia nicht geschädigten Bestand, stockte durchschnittlich eine Stammzahl von 683 N/ha mit einem Vorrat von 577 Vfm/ha auf einer Grundfläche von 50 m<sup>2</sup>/ha.

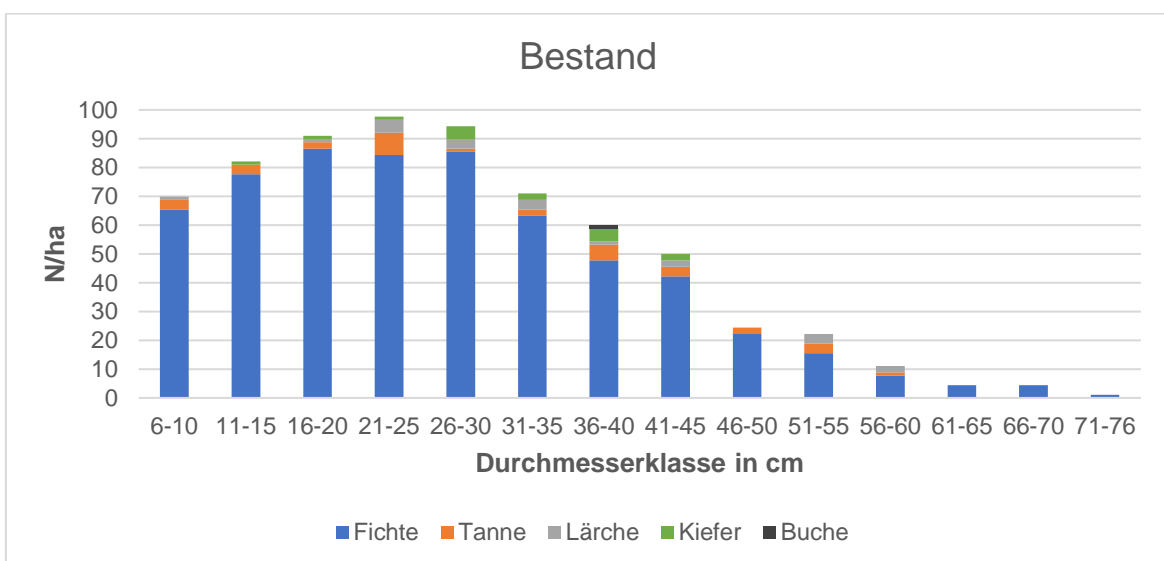
### **3.2.1.3 Durchmesservertelung**

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die Durchmesservertelung der verschiedenen Baumarten bezogen auf die mittlere Baumstammzahl/ha am Rand (siehe Abbildung 13) und im Bestand (siehe Abbildung 14). Im Zentrum der WWF konnte keine Auswertung durchgeführt werden, da die Anzahl der aufgenommenen Baumindividuen zu gering war. In der Klasse bis 10 cm konnte eine Baumstammzahl/ha von ca. 40 N/ha erhoben werden. Ab dieser Klasse bis hin zu 20 cm Durchmesser wurden Stammzahlen über 60 N/ha ermittelt, welche ausschließlich von der Fichte als Hauptbaumart gebildet wurden. Die Stammzahlen/ha sanken anschließend allmählich und erst ab 35 cm BHD ist eine größere Abnahme bei den mittleren Stammzahlen/ha zu erkennen. Lärchen kamen ab einer Durchmesserklasse von 16 - 20 cm hinzu und waren bis hin zu 56 – 60 cm BHD, nicht aber in den kleineren Klassen, vertreten. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der Kiefer, welche nur bis zur Durchmesserklasse 41 - 45 cm BHD vorkam. Die Tanne war mit wenigen Ausnahmen in allen Durchmesserklassen mit geringen Baumstammzahlen/ha vorzufinden.



**Abbildung 13: Durchmesserverteilung (5 cm Klassen) der Baumarten mit den entsprechenden mittleren Baumstammzahlen/ha am Rand**

In den Durchmesserklassen im Bestand (siehe Abbildung 14) zeigt sich im Gegensatz zum Rand eine stetige Zunahme der gesamten, mittleren Baumstammzahlen/ha bis zur Klasse 21 – 25 cm. Danach ist eine stärkere Abnahme zu erkennen. Die Fichte dominierte in allen Klassen und vor allem in den ersten vier Klassen kam die Tanne als zweitstärkste Baumart vor. Bis zu einem Durchmesser von 60 cm war die Tanne in jeder Klasse vertreten. Ab der Klasse 21 – 25 cm kamen die Lärche und die Kiefer dazu und blieben bis in die höheren Klassen erhalten, wobei die Kiefer bereits ab einem BHD zwischen 41–45 cm nicht mehr vorhanden war.



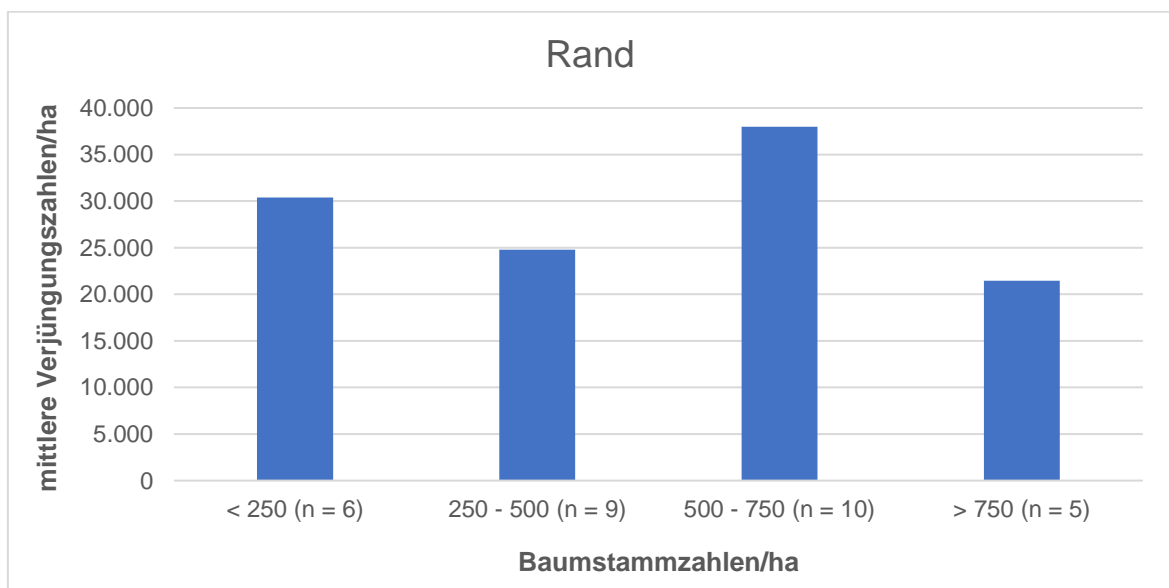
**Abbildung 14: Durchmesserverteilung (5 cm Klassen) der Baumarten mit den entsprechenden mittleren Baumstammzahlen/ha im Bestand**

Die mittleren Baumstammzahlen/ha im Bestand waren im Vergleich zum Rand sichtbar höher und näherten sich erst ab der Durchmesserklasse 56 – 60 cm allmählich einander an. Im Bestand waren beim Vergleich mit dem Rand zusammen mit der Fichte hauptsächlich die Tanne und die Kiefer stärker vertreten.

### 3.3 Vorkommen und Analyse der Verjüngung

#### 3.3.1 Bestandesdichte

Naturverjüngung konnte auf insgesamt 77 Probeflächen und somit auf einer Fläche von 0,9 ha (insgesamt 1,06 ha) erhoben werden. Abbildung 15 zeigt die Anzahl der mittleren Verjüngung/ha für vier unterschiedliche Kategorien von Baumstammzahlen pro Hektar am Rand. Die Verjüngungszahlen/ha lagen in allen Kategorien zwischen 20.000 und 40.000 N/ha. Bei Baumstammzahlen von 500 – 750 Individuen/ha konnte am Bestandesrand mit durchschnittlich knapp 40.000 Pflänzchen/ha der höchste Wert ermittelt werden. Die Werte der anderen drei Kategorien waren einander ähnlich und lagen im Mittel bei 20.000 bis 30.000 N/ha.



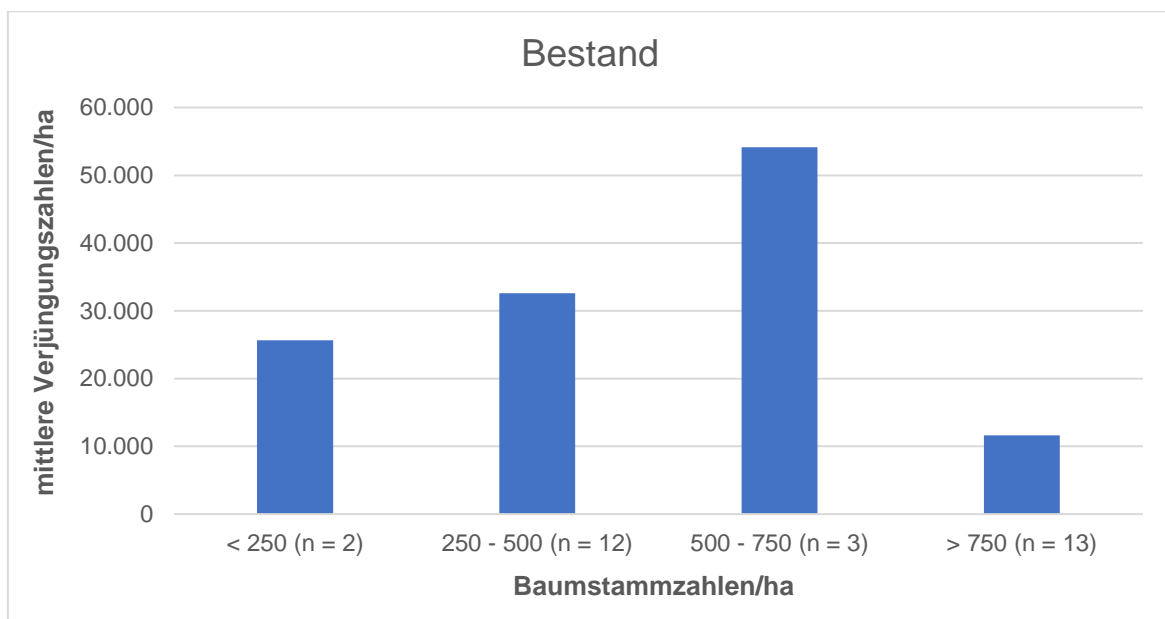
**Abbildung 15: Übersicht über die mittleren Verjüngungszahlen/ha aufgeteilt auf vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha am Rand (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30)**

Mittels Kruskal-Wallis-Tests wurde geprüft, ob Unterschiede in den Verjüngungszahlen/ha zwischen den vier Kategorien der Bestandesstammzahlen/ha vorhanden waren. Mit einer asymptotischen Signifikanz von 0,924 waren keine Unterschiede nachweisbar (siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests nach der Überprüfung der Unterschiede zwischen den Verjüngungszahlen/ha und den vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha am Rand**

Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	Freiheitsgrade	Asymptotische Sig.
n = 30	0,478	3	0,924

Die mittleren Verjüngungszahlen/ha im Bestand stiegen in Abhängigkeit der Bestandesdichte von 25.642 Pflänzchen/ha in der Klasse < 250 Baumindividuen/ha bis zur Kategorie 500 – 750 N/ha auf 54.113 Pflänzchen/ha an. Im dichteren Bestand bei Stammzahlen > 750 N/ha wurden nur knapp über 10.000 Pflänzchen/ha ermittelt, was im Vergleich zum Rand auch der kleinste Wert war (siehe Abbildung 16).



**Abbildung 16: Übersicht über die Verteilung der mittleren Verjüngungszahlen/ha auf die vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha im Bestand (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30)**

Der Kruskal-Wallis-Test konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Baumstammzahlen/ha und den jeweiligen Verjüngungszahlen/ha nachweisen (siehe Tabelle 7).

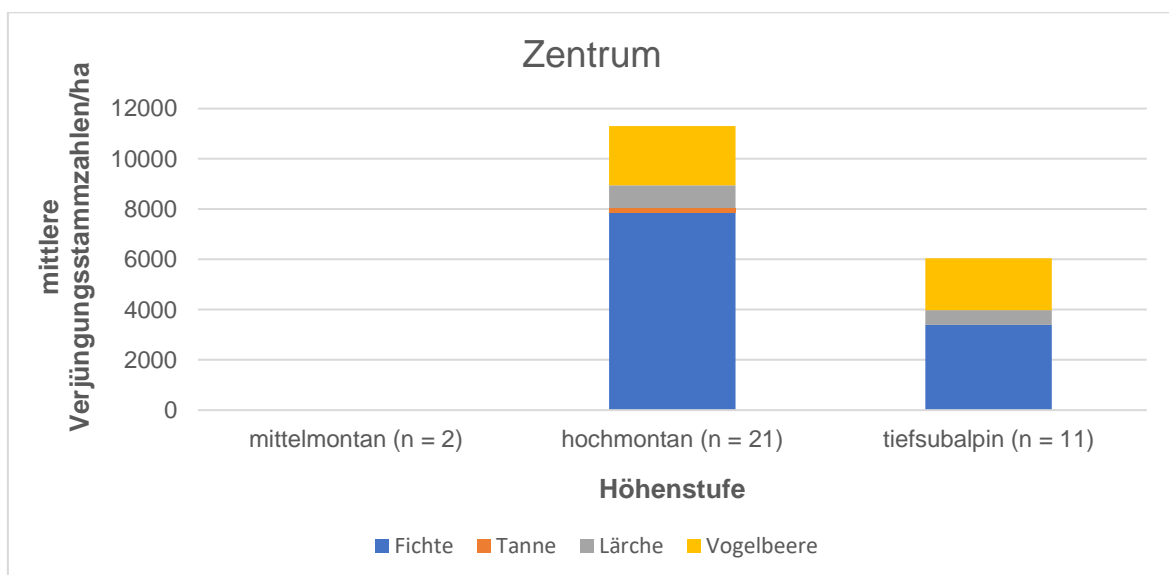


**Tabelle 7: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests nach der Überprüfung der Unterschiede zwischen den Verjüngungszahlen/ha und den vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha im Bestand**

Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	Freiheitsgrade	Asymptotische Sig.
n = 30	7,060	3	0,07

### 3.3.2 Höhenstufe

Die meisten Aufnahmepunkte wurden in der hochmontanen Stufe aufgenommen (66 %). Von den insgesamt 94 Flächen fielen 29 % in die tiefsubalpine Stufe und die verbliebenen 5 % in den mittelmontanen Bereich. Die nächsten drei Grafiken zeigen die Verteilung der mittleren Verjüngungszahlen pro Baumart und Hektar auf die drei Höhenstufen in den einzelnen Lokalisationen (Zentrum, Rand und Bestand). Die mittlere Anzahl der Naturverjüngung wurden dabei jeweils durch die Flächenanzahl der jeweiligen Höhenstufe ermittelt. Im **Zentrum** (siehe Abbildung 17) von hochmontanen Windwurfflächen kamen im Mittel knapp 12.000 Pflänzchen/ha auf. Die Fichte dominierte innerhalb der Baumarten deutlich und vor allem die Vogelbeere kam mit 2.349 Individuen/ha im hochmontanen, sowie mit 2.062 N/ha im tiefsubalpinen Bereich noch gut auf. Die Stammzahlen/ha der Fichte nahmen in der tiefsubalpinen Stufe (3.400 N/ha) im Vergleich zu der hochmontanen Stufe (7.869 N/ha) deutlich ab. Bei den mittleren Verjüngungszahlen/ha der Lärche waren keine großen Unterschiede zu erkennen (zwischen 500 und 1.000 N/ha).



**Abbildung 17: Baumarten und deren mittlere Verjüngungszahlen/ha in den drei Höhenstufen im Zentrum von Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 34)**

Mittels Kruskal-Wallis-Test wurde überprüft, ob Unterschiede in den Verjüngungszahlen/ha zwischen den drei Höhenstufen auftreten. Die Nullhypothese konnte wegen eines p-Wertes von 0,195 nicht abgelehnt werden (siehe Tabelle 8).

**Tabelle 8: Ergebnistabelle des Kruskal-Wallis-Tests beim Vergleich der mittleren Verjüngungszahlen je Höhenstufe im Zentrum**

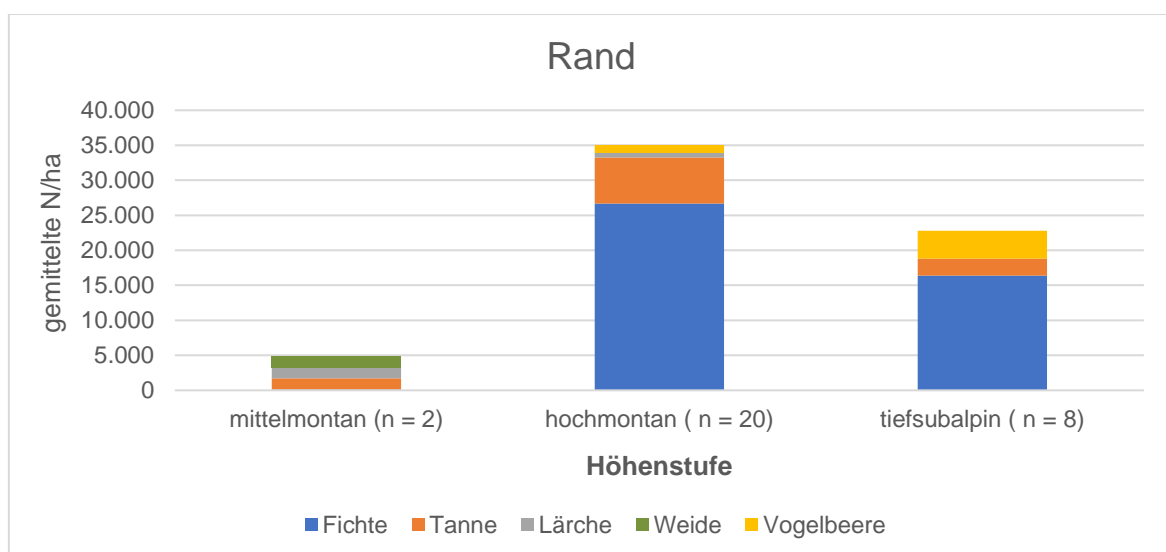
Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	Freiheitsgrade	Asymptotische Sig.
n = 34	3,271	2	0,195

Für die statistische Überprüfung der Baumartenverteilung zwischen den Höhenstufen wurde der exakte Test nach Fisher verwendet. Durch den Test konnten keine signifikanten Unterschiede ( $p = 1,000$ ) zwischen beobachteter und erwarteter Häufigkeit festgestellt werden (siehe Tabelle 9).

**Tabelle 9: Ausgabeergebnis des exakten Tests nach Fisher für den Hypothesentest der Verteilung der Verjüngungszahlen/ha je Baumart auf die unterschiedlichen Höhenstufen im Zentrum**

Exakter Test nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 120	0,500	1,000

In Abbildung 18 ist zu erkennen, dass die mittleren Verjüngungszahlen/ha am **Rand** in der mittelmontanen Stufe am geringsten waren. Im hochmontanen Bereich nahmen die Verjüngungszahlen/ha bis  $35.029 \pm 35.313$  N/ha zu und waren in dieser Höhenstufe am höchsten. In der tiefsubalpinen Stufe gingen die Werte auf  $22.779 \pm 16.383$  N/ha zurück.



**Abbildung 18: Baumarten und deren mittlere Verjüngungszahlen/ha in den drei Höhenstufen am Rand von Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30)**

Mittels Kruskal-Wallis-Hypothesentest wurde anhand der Rangordnung der Daten überprüft, ob Unterschiede in den mittleren Verjüngungszahlen/ha zwischen den Höhenstufen vorhanden waren (siehe Tabelle 10). Der Test konnte durch einen p-Wert von 0,19 keine Signifikanz nachweisen.

**Tabelle 10: Ergebnistabelle des Kruskal-Wallis-Tests bei der Überprüfung der Stammzahlunterschiede/ha in der Verjüngung zwischen den Höhenstufen am Rand**

Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	Freiheitsgrade	Asymptotische Sig.
n = 30	3,226	2	0,199

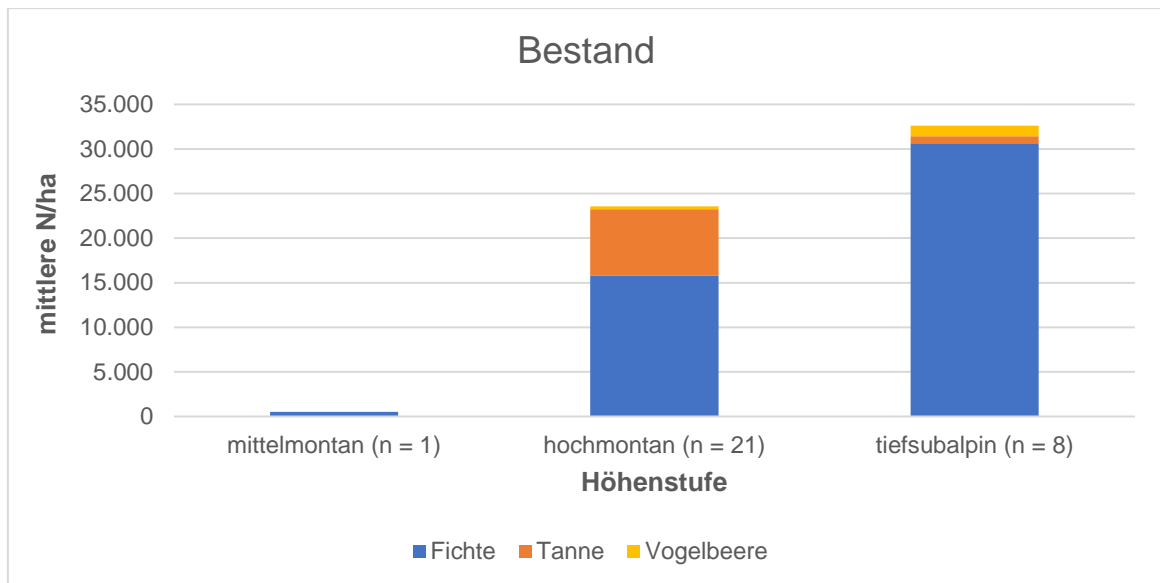
Am Bestandesrand zeigte sich, dass in der hochmontanen Stufe die Fichte mit durchschnittlich 26.667 Individuen/ha am häufigsten vertreten war. Die Tanne kam mit 6.591 N/ha stärker vor als in den tiefer bzw. höher gelegenen Stufen. Im tiefsubalpinen Bereich nahmen sowohl die mittleren Verjüngungszahlen/ha der Fichte als auch die der Tanne deutlich ab. Die Vogelbeere (3.979 N/ha) nahm im Gegensatz zu den beiden anderen genannten Baumarten leicht zu.

Der durchgeführte exakte Signifikanztest nach Fisher (siehe Tabelle 11) zur Feststellung der Unterschiede in den beobachteten und erwarteten Häufigkeiten zwischen den Baumarten und den Höhenstufen war mit  $\chi^2 = < 0,01$  höchst signifikant. Anhand des durchgeführten Post-Hoc-Tests nach Bonferroni konnte herausgefunden werden, dass in der mittelmontanen Stufe die Lärche und die Weide und in der hochmontanen und tiefsubalpinen Stufe die Vogelbeere für die signifikanten Unterschiede zwischen beobachteter und erwarteter Anzahl verantwortlich waren. Die Lärche und die Weide sowie die Vogelbeere in der tiefsubalpinen Stufe wurden häufiger beobachtet als erwartet. Vogelbeererjüngung in der hochmontanen Stufe wurde hingegen stärker erwartet.

**Tabelle 11: Ergebnis des exakten Tests nach Fisher nach der Überprüfung der Häufigkeiten der Baumarten in den unterschiedlichen Höhenstufen am Rand**

Exakter Test nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 317	31,688	<b>&lt; 0,01</b>

Abbildung 19 zeigt, dass auf Erhebungsflächen im **Bestand** im hochmontanen Bereich 23.554 Bäumchen/ha aufkamen und die mittleren Verjüngungstammzahlen/ha in Richtung der tiefsubalpinen Stufe zunahmen.



**Abbildung 19: Baumarten und deren mittlere Verjüngungszahlen/ha in den drei Höhenstufen im Bestand von Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30)**

Der Kruskal-Wallis-Test zeigt für die Unterschiede der Verjüngungszahlen/ha zwischen den Höhenstufen mit  $p = 0,542$  keinen signifikanten Wert (siehe Tabelle 12).

**Tabelle 12: Ergebnistabelle des Kruskal-Wallis-Tests bei der Überprüfung der Stammzahlunterschiede/ha in der Verjüngung zwischen den Höhenstufen im Bestand**

Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	Freiheitsgrade	Asymptotische Sig.
n = 30	1,226	2	0,542

Die Fichte kam in der hochmontanen Stufe am häufigsten vor und der Tannenanteil war mit 7.465 N/ha im **Bestand** größer als am Rand. Im Vergleich der tiefsubalpinen Stufe über alle drei Lokalitäten war im Bestand mit über 30.000 Individuen/ha das höchste Verjüngungsaufkommen vorhanden. Es wurde fast ausschließlich Fichtenverjüngung vorgefunden.

Für die möglichen Unterschiede in der Baumartenverteilung zwischen den drei Höhenstufen wurde der exakte Test nach Fisher verwendet. Der p-Wert von kleiner 0,001 zeigt, dass Unterschiede zwischen beobachteten und erwarteten Häufigkeiten vorhanden waren (Tabelle 13). Diese Unterschiede wurden anhand des Post-hoc-Tests bei der Fichte und Tanne in der hochmontanen und tiefsubalpinen Höhenstufe festgestellt. Im Gegensatz zum tiefsubalpinen Bereich wurde bei der Fichte im hochsubalpinen Bereich signifikant mehr Verjüngung beobachtet als erwartet. Bei der Tanne konnte das Gegenteil beobachtet werden.

**Tabelle 13: Ergebnis des exakten Tests nach Fisher nach der Überprüfung der Häufigkeiten der Baumarten in den unterschiedlichen Höhenstufen im Bestand**

Exakter Test nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 273	30,229	<b>&lt; 0,01</b>

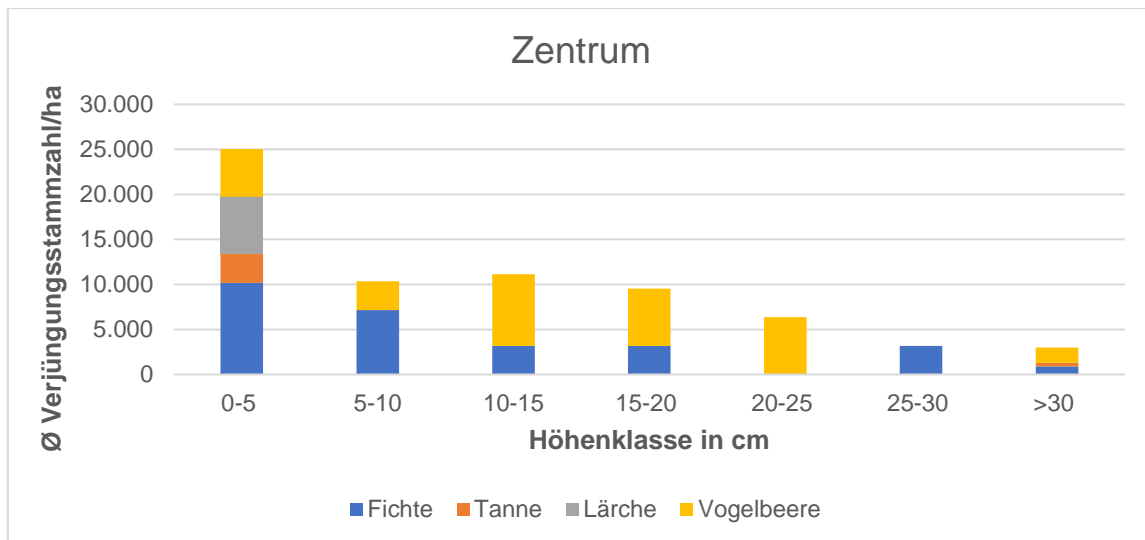
Beim Vergleich der mittleren Verjüngungszahlen/ha zwischen den drei Lokalitäten ließ sich bei unterschiedlicher Höhenstufe mittels Kruskal-Wallis-Test (siehe Tabelle 14) feststellen, dass die Verjüngungszahlen/ha im hochmontanen Bereich zwischen Zentrum ( $11.298 \pm 23.708$  N/ha) und Rand ( $35.029 \pm 35.313$  N/ha) mit  $p = 0,003$  signifikant unterschiedlich waren. Mit einem p-Wert von 0,030 konnte dieser Unterschied auch in der tiefsubalpinen Stufe zwischen dem Zentrum ( $6.041 \pm 10.366$  N/ha) und dem Rand ( $22.779 \pm 16.838$  N/ha) errechnet werden. Zwischen den restlichen Kombinationen war kein signifikanter Unterschied feststellbar.

**Tabelle 14: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests über die Häufigkeitsunterschiede zwischen den mittleren Verjüngungszahlen/ha und den Lokalitäten bei unterschiedlicher Höhenstufe**

Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	Freiheitsgrade	Standardfehler	Asymptotische Sig.
<b>mittelmontan</b> (n = 5)	3,158	2	/	0,206
<b>hochmontan</b> (n = 62)				
Lokalität				
Zentrum-Bestand	-12,262	2	5,553	0,082
Zentrum-Rand	-18,568		5,622	<b>0,003</b>
Bestand-Rand	6,306		5,622	0,786
<b>tiefsubalpin</b> (n = 27)				
Lokalität				
Zentrum-Bestand	-6,818	2	3,671	0,190
Zentrum-Rand	-9,443		3,671	<b>0,030</b>
Bestand-Rand	2,625		3,950	1,000

### 3.3.3 Pflanzenhöhe

Durch die Aufnahme der Pflanzenhöhe war es möglich, Aussagen über die Höhenverteilung zu machen, um einen Überblick über das Höhenwachstum der unterschiedlichen Baumarten je Lokalität zu bekommen.



**Abbildung 20: Baumarten- und die mittlere Stammzahlenverteilung/ha der Verjüngung in den Höhenklassen im Zentrum der Windwurfflächen**

Abbildung 20 zeigt, dass in der ersten Höhenklasse (0 - 5 cm) im **Zentrum** von WWF alle Baumarten außer die Vogelbeere die höchsten mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha aufwiesen. Die Tanne und die Lärche kamen vorwiegend nur in der kleinsten Klasse vor und verschwanden anschließend. Mit steigender Höhenklasse kamen nur noch die Fichte und Vogelbeere unterschiedlich stark vor. Die Vogelbeere kam in den Höhenklassen von 10 - 25 cm am häufigsten vor. In den Höhenklassen ab 25 cm war teilweise nur mehr je eine Baumart vertreten und auch die Verjüngungszahlen/ha waren sehr niedrig.

Die Untersuchung der Unterschiede in den Häufigkeiten der Baumarten im Zentrum in den unterschiedlichen Höhenklassen wurde mittels exaktem Test nach Fisher (siehe Tabelle 15) durchgeführt. Der Test ergab einen signifikanten Wert von  $p = < 0,001$ . Die genauen Unterschiede wurden anhand des Post-hoc-Tests nach Bonferroni ermittelt. Bei der Fichte wurden in der Höhenklasse 0 - 5 cm geringere Anzahlen erwartet als beobachtet. Die Naturverjüngung der Vogelbeere konnte in der niedrigsten Höhenklasse weniger stark beobachtet werden, in der Klasse 15 - 20 cm wurden mehr Pflänzchen erhoben als erwartet.

**Tabelle 15: Überprüfung der Baumartenverteilung bei unterschiedlichen Höhenklassen mittels exaktem Test nach Fisher**

Exakter Test nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 120	47,502	< 0,001

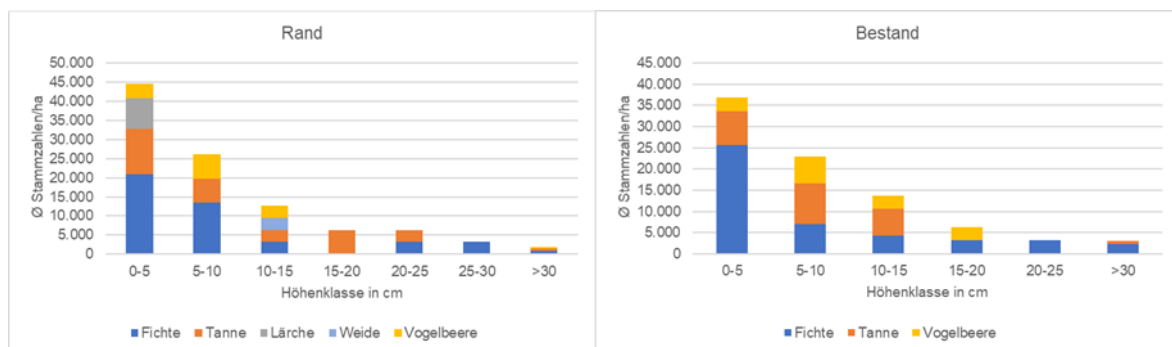
Die gesamten mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha waren am **Rand** in der Klasse 0 - 5 cm bei über 44.723 N/ha und nahmen mit steigender Höhenklasse immer weiter ab. In der Klasse 0 - 5 cm waren die Baumarten Fichte, Tanne, Lärche und Vogelbeere vertreten. Ab der Klasse 5-10 cm halbierten sich die gesamten mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha und nahmen stark ab. Die Lärche konnte nach der 1. Höhenklasse nicht mehr vorgefunden werden. Die Tanne hingegen wurde vereinzelt erst wieder ab einer Höhe von > 30 cm beobachtet (siehe Abbildung 21).

Mittels Chi<sup>2</sup>-Test wurden die Unterschiede in der Verteilung der Baumarten in der Verjüngung am Bestandesrand zwischen den Höhenklassen geprüft. Der exakte Test nach Fisher ergab eine Signifikanz von  $p = < 0,001$  was auf Unterschiede zwischen beobachteten und erwarteten Häufigkeiten hindeutet. Die genauen Unterschiede, welche mittels der Bonferroni-Korrektur ermittelt wurden, beziehen sich bei der Tanne auf die Klasse 15 - 20 cm. Die Tanne wurde häufiger beobachtet als erwartet. Die Vogelbeere wies in den Höhenklassen 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 auch signifikante Unterschiede zwischen den Häufigkeiten auf, wobei nur in der ersten Klasse mehr Vogelbeererjüngung erwartet als beobachtet wurde (siehe Tabelle 16).

**Tabelle 16: Überprüfung der Baumartenverteilung am Rand bei unterschiedlichen Höhenklassen mittels exaktem Test nach Fisher**

Exakter Test nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 311	38,004	< 0,001

Im **Bestand** nahmen im Vergleich zum Rand die Verjüngungszahlen der Fichte in der ersten Höhenklasse zu (+ 4.916 N/ha) und jene der Tanne (- 3.819 N/ha) ab. In den Höhenklassen 5 - 10 cm und 10 - 15 cm war die Tanne am stärksten vertreten und fiel in den weiteren Höhenklassen aus. In den höheren Klassen war nur mehr die Fichte in geringen Stammzahlen vertreten, alle anderen Baumarten verschwanden (siehe Abbildung 20).



**Abbildung 21: Mittlere Verteilung der Verjüngungsstammzahlen/ha je Baumart in den unterschiedlichen Höhenklassen am Rand (links) und im Bestand (rechts)**

Die Unterschiede in den Häufigkeiten in der Baumartenverteilung im Bestand wurden wiederum mittels einer Kreuztabelle verglichen und anhand des Post-hoc-Tests nach Bonferroni auf Signifikanz geprüft. Die signifikanten Unterschiede von  $p = < 0,001$  kamen bei der Fichte und Tanne jeweils in den ersten beiden Höhenklassen und bei der Vogelbeere in der 4. Höhenklasse zustande. Die beobachteten Verjüngungszahlen waren bei der Fichte in der 1. und bei der Tanne in der 2. Höhenklasse immer höher als die erwarteten (siehe Tabelle 17).

**Tabelle 17: Überprüfung der Baumartenverteilung im Bestand bei unterschiedlicher Höhenklasse mittels exaktem Test nach Fisher**

Exakter Test nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 273	74,511	< 0,001

In der Tabelle 18 sind die mittleren Baumhöhen der beobachteten Verjüngungsbäumchen und deren Streuung in Zentimeter je Baumart im Vergleich mit den drei Lokalitäten aufgezeigt. Für diese Auswertung wurde die Gesamtzahl der aufgenommenen Naturverjüngung herangezogen. Die Vogelbeere war mit durchschnittlich 24,32 cm im Zentrum am größten, gefolgt von der Tanne mit 17,2 cm und der Fichte mit 14,07 cm.

Am Rand ging das Höhenwachstum der Vogelbeere stark zurück, jenes der Fichte erreichte hingegen mit durchschnittlich 23,1 cm den höchsten Wert. Die Tanne verlor am Rand 3 cm an Höhe und auch die mittlere Höhe der Lärche ging von  $2,26 \pm 1,06$  cm auf  $1,98 \pm 0,98$  cm zurück.

Beim Vergleich der mittleren Pflanzenhöhen zwischen den teilweise und völlig überschirmten Rand- bzw. Bestandesflächen, nahmen die Werte der Fichte im Bestand im Vergleich zum Rand nur um 1 cm ab. Die Tanne verlor im Vergleich zu allen Baumarten mit 6,89 cm am meisten an Höhe. Die Vogelbeere war 0,9 cm größer als auf den Randflächen.

**Tabelle 18: Übersicht über die mittleren Baumhöhen der unterschiedlichen Baumarten mit der Stabw. im Zentrum, am Rand und im Bestand**

Baumart	Lokalität			Gesamtmittel
	Zentrum (n = 34)	Rand (n = 30)	Bestand (n = 30)	
<b>Fichte</b> (cm)	14,07 ± 23,90	23,2 ± 61,86	22,21 ± 51,36	21,49 ± 53,69
<b>Tanne</b> (cm)	17,2 ± 18,81	14,15 ± 43,44	7,26 ± 10,18	10,8 ± 31,22
<b>Lärche</b> (cm)	2,26 ± 1,06	1,98 ± 0,98	0	2,15 ± 1
<b>Weide</b> (cm)	0	10,5 ± 0	0	10,5 ± 0
<b>Vogelbeere</b> (cm)	24,32 ± 17,55	8,98 ± 10,83	9,82 ± 5,04	18,21 ± 16,59



Die Fichte war über die drei Lokalitäten hinweg im Durchschnitt mit  $21,49 \pm 53,69$  cm am größten. Die Vogelbeere ( $18,21 \pm 16,59$  cm) zeigte die zweithöchste Mittelhöhe gefolgt von der Tanne mit  $10,8 \pm 31,22$  cm. Die Lärche war in der Verjüngung nur als Sämlingspflanze unter 5 cm vorzufinden und deswegen war auch deren mittlere Höhe bei nur  $2,15 \pm 1$  cm. Für die statistischen Berechnungen in Tabelle 19 wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Es wurde ermittelt, ob die Unterschiede in den Pflanzhöhen je Baumart in den unterschiedlichen Lokalitäten signifikant auftraten.

**Tabelle 19: Kruskal-Wallis-Test der Pflanzhöhen pro Baumart bei unterschiedlicher Lokalität**

Kruskal-Wallis-Test				
Baumart	Lokalität	Teststatistik	Standardfehler	Korrigierte Sig.
Fichte	Bestand-Zentrum	55,669	20,438	<b>0,019</b>
Tanne	Rand-Bestand	-22,180	5,974	0,001
Vogelbeere	Rand-Zentrum	17,163	4,838	<b>0,001</b>

Die Pflanzhöhen der Fichte wiesen zwischen den Flächen im Bestand und jenen im Zentrum signifikante Unterschiede auf ( $p = 0,019$ ), jene der Tanne zwischen dem Rand und dem Bestand ( $p = 0,001$ ). Das Höhenwachstum der Vogelbeere zeigte zwischen dem Zentrum und dem Rand signifikante Unterschiede von ( $p = 0,001$ ).

### 3.3.4 Kleinstandorte der Verjüngungspflänzchen

Tabelle 20 zeigt die Verteilung der kleinstandörtlichen Verjüngungsbedingungen („unter Schirm“, „Freifläche“, „Moderholz“, „Wurzelteller“) der Pflänzchen in Prozent je Lokalität. Bei den Felderhebungen wurde jedem Bäumchen nur eine Kategorie zugewiesen. Hierfür wurden jene Pflänzchen (die 6 höchsten je Baumart und Teilfläche) für die Auswertung herangezogen, für welche detailliertere Parameter (unter anderem der Kleinstandort) erhoben wurden.

**Tabelle 20: Naturverjüngung und deren kleinstandörtliches Aufkommen („unter Schirm“, „Freifläche“, „Moderholz“, „Wurzelteller“) in Prozent auf den unterschiedlichen Lokalitäten**

Lokalität	Baumart	Kleinstandort				Gesamt (%)
		unter Schirm (%)	Freifläche (%)	Moderholz (%)	Wurzelteller (%)	
Zentrum	Fichte	1	41	9	49	100
	Tanne	0	11	0	89	
	Lärche	0	0	0	100	
	Vogelbeere	36	50	0	14	
Rand	Fichte	78	10	3	9	100
	Tanne	86	0	0	14	
	Lärche	0	20	0	80	
	Vogelbeere	88	6	0	6	
Bestand	Fichte	85	0	5	10	100
	Tanne	100	0	0	0	
	Vogelbeere	100	0	0	0	

Die Kategorie „Wurzelteller“ verzeichnet im **Zentrum** bei den Baumarten Fichte (49 %), Tanne (89 %) und Lärche (100) die höchsten Prozentsätze. Die Fichte kam noch mit 41 % auf dem Standort „Freifläche“ auf, die Tanne nur mehr mit 11 %. Die Vogelbeere, welche als einzige Laubbaumart häufiger vorkam, hatte unter Schirm und auf der Freifläche die höchsten Prozentwerte vorzuweisen.

Am **Rand** überwiegt das Verjüngungsaufkommen auf Kleinstandorten „unter Schirm“. Die Fichte, Tanne und Vogelbeere kamen dort mit jeweils über 75 % auf. Die restlichen Bäumchen wuchsen auf der Freifläche oder den Wurzeltellern. Die Lärche als Lichtbaumart kam am Rand hauptsächlich auf Wurzeltellern und zu 20 % noch auf der Freifläche auf. Zu fast ausschließlich 100 % kam die Verjüngung im **Bestand** unter Schirm auf. Nur die Fichte wuchs mit 10 % auch auf Wurzeltellern.

Erhoben wurde auch noch die Kategorie „Moderholz“. Der Moderholzanteil war über alle Lokalitäten hinweg sehr gering, da in den WWF nur Äste und Wurzelstöcke zurückgelassen wurden und auch in den Beständen kaum Totholz anzutreffen war.

In der Tabelle 21 wurden die Prozentwerte der Naturverjüngung auf die vier erhobenen Kategorien (unter Schirm, Freifläche, Moderholz, Wurzelteller) und die jeweiligen Lokalitäten aufgeteilt und ohne Unterscheidung zwischen den Baumarten dargestellt.

**Tabelle 21: Prozentuelle Anteile der Naturverjüngung des kleinstandörtlichen Verjüngungsaufkommens im Zentrum, am Rand und im Bestand, aufgeteilt auf die vier Verjüngungsstandorte**

Verjüngungsstandort	Lokalität		
	Zentrum (n = 34)	Rand (n = 30)	Bestand (n = 30)
<b>unter Schirm</b>	11 %	78 %	89 %
<b>Freifläche</b>	39 %	8 %	0 %
<b>Moderholz</b>	5 %	2 %	4 %
<b>Wurzelteller</b>	45 %	12 %	7 %

In Summe ist, ohne die Unterteilung nach Baumarten zu erkennen, dass die Werte des Kleinstandorts „unter Schirm“ ausgehend vom Zentrum (11 %) hin zum Rand (78 %) und dem Bestand (89 %) deutlich zunahmen. Die Verjüngungsprozente auf den Standorten „Freifläche“ und „Wurzelteller“ waren im Zentrum mit ca. 40 % am höchsten und nahmen Richtung Rand und Bestand immer weiter ab. Dies war mit Blick auf das Versuchsdesign auch zu erwarten. Die Moderholzverjüngung war über alle drei Lokalitäten verteilt sehr gering.

Mittels Chi<sup>2</sup>-Test wurde überprüft, ob beim Vergleich der Lokalität und des Kleinstandorts Unterschiede zwischen den beobachteten und erwarteten Häufigkeiten erkennbar waren. Es konnte ein hoch signifikanter Wert von  $p = < 0,001$  festgestellt werden (siehe Tabelle 22).

**Tabelle 22: Untersuchung der beobachteten und erwarteten Häufigkeiten der Kleinstandorte je Lokalität mittels Chi<sup>2</sup>-Test**

Exakter Test nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
N = 572	207,488	<b>&lt; 0,001</b>

Mittels des Post-hoc-Tests nach Bonferroni wurde ersichtlich, wo die signifikanten Unterschiede auftraten. Im Zentrum unter Schirm wurde mehr Verjüngung erwartet als vorhanden war. Auf der Freifläche und im Bereich der Wurzelteller konnte mehr Verjüngung beobachtet als erwartet werden. Am Rand traten signifikante Verjüngungsunterschiede in der Kategorie „unter Schirm“ auf, da mit 201 zu 184 deutlich mehr Pflänzchen beobachtet als erwartet wurden.

Auch im Bestand wurden unter Schirm mehr Pflänzchen erhoben als erwartet. Im Gegensatz dazu wurden auf den Kleinstandorten „Freifläche“ (0 zu 24) und „Wurzelteller“ (13 zu 28) weniger Pflänzchen vorgefunden als erwartet.

### 3.3.5 Mittlere Verjüngungszahlen/ha auf den Lokalitäten

Im Vergleich zu Punkt 3.3.6 werden in diesem Kapitel die mittleren Verjüngungszahlen/ha je Lokalität und Baumart ohne Berücksichtigung der Größe der Windwurfflächen dargestellt. Wie in Tabelle 23 dargestellt, variieren die Verjüngungszahlen/ha je Lokalität und Baumart sehr stark. Bei der Fichte und der Tanne sind zwischen den Werten im Zentrum und jenen am Rand bzw. im Bestand große Unterschiede von jeweils über 10.000 N/ha erkennbar, wobei die Differenzen zwischen dem Rand und dem Bestand geringer sind. Die Fichte war auf allen Lokalitäten am häufigsten vorzufinden. Die Pflanzenzahlen der Lärche und der Vogelbeere lagen jeweils bei ungefähr 5.000 N/ha.

**Tabelle 23: Mittlere Verjüngungszahlen/ha bei Verjüngungsvorkommen im Zentrum, am Rand und im Bestand ohne Berücksichtigung der Flächengröße des Windwurfs (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 94)**

	Zentrum n = 34	Rand n = 30	Bestand n = 30
<b>Baumart</b>	<b>Gesamtmittel</b>		
<b>Fichte</b>	11.885 ± 24.542 (n = 17)	22.927 ± 27.152 (n = 31)	23.987 ± 30.953 (n = 24)
<b>Tanne</b>	1.769 ± 2.000 (n = 2)	11.841 ± 11.801 (n = 13)	14.822 ± 12.304 (n = 11)
<b>Lärche</b>	6.366 ± 2.599 (n = 4)	7.958 ± 6.752 (n = 2)	0
<b>Weide</b>	0	3.183 ± 0 (n = 1)	0
<b>Vogelbeere</b>	8.931 ± 8.386 (n = 8)	6.808 ± 5.436 (n = 8)	5.305 ± 3.676 (n = 2)
<b>Gesamtmittel</b>	13.152 ± 22.747 (n = 23)	30.727 ± 31.059 (n = 29)	30.186 ± 32.275 (n = 25)

Der Chi<sup>2</sup>-Test, welcher durchgeführt wurde, um Unterschiede in der Baumartenverteilung der Lokalitäten zu identifizieren, wies einen x<sup>2</sup>-Wert von < 0,001 auf (Tabelle 24). Anhand der Bonferroni-Korrektur konnte festgestellt werden, dass im Zentrum bei den Baumarten Fichte, Tanne, Lärche und Vogelbeere Differenzen zwischen den Häufigkeiten vorlagen. So wurden dort mehr Fichten und Tannen erwartet. Im Bestand hingegen wurden mehr Vogelbeeren erwartet als beobachtet.

**Tabelle 24: Ergebnis des exakten-Tests nach Fisher bei der Häufigkeitsüberprüfung der Baumartenanzahl der Verjüngung auf unterschiedlichen Lokalitäten**

Exakter-Test-nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 710	104,213	< <b>0,001</b>

Die gesamten Verjüngungszahlen/ha je Lokalität waren im Zentrum mit durchschnittlich  $13.152 \pm 22.747$  N/ha am geringsten und wiesen am Rand und im Bestand ähnliche Werte auf ( $30.727 \pm 31.059$  bzw.  $30.186 \pm 32.275$  N/ha).

Um statistische Unterschiede bei den mittleren Verjüngungszahlen/ha zwischen den Lokalitäten ausfindig machen zu können, wurde ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Das Ergebnis war durch den p-Wert von 0,003 höchst signifikant. Der Post-hoc-Test nach Bonferroni zeigt die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen Zentrum-Bestand und Zentrum-Rand mit Werten von jeweils unter dem Signifikanzniveau von  $p = 0,05$  (siehe Tabelle 25).

**Tabelle 25: Bonferroni Korrektur nach einem signifikanten Ergebnis mittels des Kruskal-Wallis-Tests über die mittleren Verjüngungszahlen/ha bei unterschiedlicher Lokalität mit Verjüngungsvorkommen**

Kruskal-Wallis-Test				
Lokalität (n = 77)	Teststatistik	Freiheitsgrade	Standardfehler	Korrigierte Signifikanz
<b>Zentrum - Bestand</b>	-18,353	2	6,458	<b>0,013</b>
<b>Zentrum - Rand</b>	-19,792	2	6,241	<b>0,005</b>
<b>Bestand - Rand</b>	1,439	2	6,100	1,000

### 3.3.6 Vergleich der Lokalität und Windwurfgröße

Die Aufnahmen dieser Diplomarbeit zielten unter anderem darauf ab, Unterschiede über das Aufkommen der Verjüngung auf WWF und deren Rändern feststellen zu können. Auch die Größe des Windwurfs kann dabei eine Rolle spielen und sollte daher zusätzlich zu den Lokalitäten mit in die Auswertung hineinfließen.

Aus Tabelle 26 ist zu entnehmen, dass die Unterschiede in den mittleren Verjüngungszahlen/ha auf den unterschiedlichen Flächengrößen im **Zentrum** variieren.

**Tabelle 26: Mittlere Stammzahlen/ha bei Verjüngungsvorkommen im Zentrum von Windwurfflächen bei unterschiedlicher Flächengröße (in Klammer die jeweilige Stichprobenanzahl bei n = 34)**

Zentrum n = 34	Flächengröße		
Baumart	klein (n = 12)	mittel (n = 7)	groß (n = 15)
<b>Fichte</b>	19.566 ± 38.215 (n = 7)	3.183 ± 0 (n = 2)	7.338 ± 4.561 (n = 8)
<b>Tanne</b>	0	354 ± 0 (n = 1)	3.183 ± 0 (n = 1)
<b>Lärche</b>	3.183 ± 0 (n = 1)	6.366 ± 0 (n = 1)	7.958 ± 2.251 (n = 1)
<b>Vogelbeere</b>	9.815 ± 8.050 (n = 4)	6.366 ± 0 (n = 1)	8.606 ± 11.912 (n = 3)
<b>Gesamtmittel</b>	19.934 ± 34.640 (n = 9)	4.863 ± 3.974 (n = 4)	10.363 ± 10.380 (n = 10)

Mit durchschnittlich  $19.934 \pm 34.640$  N/ha kamen auf kleinen WWF mehr Pflänzchen auf als auf mittleren ( $4.863 \pm 3.974$  N/ha) und auf großen WWF ( $10.363 \pm 10.380$  N/ha).

Mittels eines Kruskal-Wallis-Tests wurden die Verjüngungstammzahlen/ha bei unterschiedlicher Flächengröße verglichen. Mit  $p = 0,712$  konnte kein signifikantes Ergebnis festgestellt werden (siehe Tabelle 27).

**Tabelle 27: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests bei Verjüngungsvorkommen zwischen den mittleren Verjüngungstammzahlen/ha bei unterschiedlicher Flächengröße im Zentrum der Windwurfflächen**

Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	Freiheitsgrade	Asymptotische Sig.
n = 34	0,680	2	0,712

Mittels des Chi-Quadrat-Mehrfeldertests wurde untersucht, ob Unterschiede zwischen den Häufigkeiten der Baumarten bei unterschiedlicher Flächengröße vorhanden waren. Im Zentrum wies der exakte Test nach Fisher signifikante Unterschiede von  $p = 0,002$  auf (siehe Tabelle 28). Der Post-hoc-Test nach Bonferroni zeigte, dass diese Unterschiede ausschließlich bei der Lärche auf kleinen Flächen vorzufinden waren.

**Tabelle 28: Ergebnis des exakten-Tests nach Fisher bei der Häufigkeitsüberprüfung der Baumartenanzahl bei unterschiedlicher Flächengröße im Zentrum**

Exakter-Test-nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 120	18,200	<b>0,002</b>

Die mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha zwischen den Flächengrößen waren am **Rand** annähernd gleich verteilt. Mit  $33.738 \pm 28.777$  N/ha war auf mittleren Flächen am meisten Naturverjüngung vorhanden. Auf den kleinen Flächen war der Unterschied zu den mittleren nur gering und auch auf großen Flächen kamen immer noch  $27.458 \pm 18.823$  N/ha auf. Auf allen Flächen dominierte die Fichte mit durchschnittlich  $22.927 \pm 27.152$  N/ha und die Tanne etablierte sich als zweite Baumart in der Verjüngung. Die Lärche kam erst im Zusammenhang mit großen Flächen dazu. Die Vogelbeere wurde auf kleinen und großen Flächen mit jeweils durchschnittlich  $5.432 \pm 4.669$  N/ha bzw.  $7.639 \pm 6.205$  N/ha vorgefunden. Es konnte nur auf einer Fläche eine Weide erhoben werden und dementsprechend gering waren auch deren Verjüngungsstammzahlen/ha (Tabelle 29).

**Tabelle 29: Mittlere Stammzahlen/ha bei Verjüngungsvorkommen am Rand von Windwurfflächen bei unterschiedlicher Flächengröße (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30)**

Rand n = 30	Flächengröße		
	klein (n = 12)	mittel (n = 7)	groß (n = 11)
Baumart			
<b>Fichte</b>	$25.617 \pm 37.518$ (n = 11)	$25.035 \pm 26.183$ (n = 7)	$18.777 \pm 14.762$ (n = 11)
<b>Tanne</b>	$13.705 \pm 4.904$ (n = 4)	$15.230 \pm 21.745$ (n = 4)	$7.639 \pm 17.925$ (n = 5)
<b>Lärche</b>	0	0	$7.958 \pm 6752$ (n = 2)
<b>Weide</b>	0	0	$3.183 \pm 0$ (n = 1)
<b>Vogelbeere</b>	$5.423 \pm 4.669$ (n = 3)	0	$7.639 \pm 6.205$ (n = 5)
<b>Gesamtmittel</b>	$32.080 \pm 42.775$ (n = 11)	$33.738 \pm 28.777$ (n = 7)	$27.458 \pm 18.823$ (n = 11)

Um statistische Unterschiede zwischen den mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha bei unterschiedlicher Flächengröße ausfindig machen zu können, wurde ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Das Ergebnis war durch den p-Wert von 0,747 nicht signifikant (siehe Tabelle 30).

**Tabelle 30: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests bei Verjüngungsvorkommen zwischen den mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha bei unterschiedlicher Flächengröße am Rand**

Kruskal-Wallis-Test	Teststatistik	df	Asymptotische Sig.
n = 30	0,583	2	0,747

Der Chi<sup>2</sup>-Test zeigt mit  $p = < 0,001$  signifikante Ergebnisse zwischen den beobachteten und erwarteten Häufigkeiten in der Baumart\*Flächengröße Kreuztabelle (siehe Tabelle 31). Diese Unterschiede waren bei der Lärche und der Vogelbeere auf jeweils großen Flächen erkennbar, weil höhere Zahlen beobachtet als erwartet wurden.

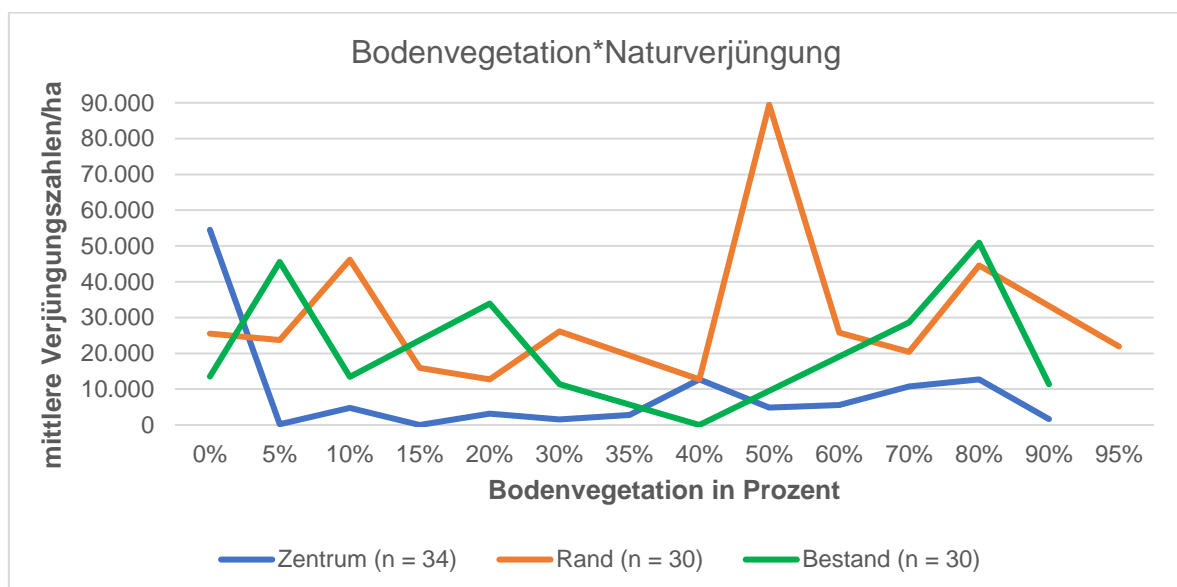
**Tabelle 31: Ergebnis des exakten-Tests nach Fisher bei der Häufigkeitsüberprüfung der Baumartenanzahl bei unterschiedlicher Flächengröße am Rand**

Exakter-Test-nach Fisher	Teststatistik	Exakte Sig.
n = 317	27,240	< 0,001

### 3.3.7 Bodenvegetation

Untersucht wurde in dieser Masterarbeit auch, inwieweit sich die Bodenvegetation auf das Verjüngungsaufkommen auswirkt. Auf insgesamt 17 der 94 Flächen konnte keine Verjüngung aufgenommen werden. Auf 6 der 17 verjüngungsfreien Flächen wurde eine starke Bodenvegetation von durchschnittlich über 70 % geschätzt. Die restlichen 11 Flächen waren verjüngungsfrei, obwohl nur geringe Anteile an Bodenvegetation vorkamen, möglicherweise aber andere Faktoren dafür verantwortlich waren.

Abbildung 22 zeigt das Aufkommen der mittleren Naturverjüngung/ha bei unterschiedlich starker Bodenvegetation auf den drei Lokalitäten.



**Abbildung 22: Übersicht über die Häufigkeit der Naturverjüngung bei unterschiedlichen Bodenvegetationsprozenten im Zentrum, am Rand und im Bestand (n = 94)**



Es ist zu erkennen, dass die mittleren Verjüngungszahlen/ha im **Zentrum** ab 0 % Bodenvegetation stark fallen und sich bei stärker werdender Bodenvegetation bei einer mittleren Verjüngungszahl/ha zwischen 0 und ca. 10.000 N/ha einpendeln.

Die Stammzahlen/ha der Verjüngung weisen am **Rand** einen unregelmäßigen Verlauf auf. Bei einem Vorkommen von 50 % Bodenvegetation wurde mit knapp 90.000 N/ha der höchste Wert an Naturverjüngung gemessen.

Die durchschnittlichen Verjüngungszahlen/ha im **Bestand** steigen bis 5 % Bodenvegetation an und schwanken anschließend, bis zu einem Wert von 40 %. Von 40 % bis 80 % ist wieder eine Steigung auf über 50.000 N/ha zu erkennen. Daraufhin gehen die Verjüngungszahlen stark zurück.

Mittels der Korrelation nach Spearman-Rho wurde überprüft, ob es Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Bodenvegetation und den mittleren Verjüngungszahlen/ha bei unterschiedlicher Flächengröße je Lokalität gab.

**Tabelle 32: Ergebnis der Korrelation nach Spearman-Rho zwischen der Bodenvegetation in Prozent und der Häufigkeit von Naturverjüngung/ha je Lokalität**

Spearman-Rho		
Lokalität	Korrelationskoeffizient	Asymptotische Sig.
<b>Zentrum</b> (n = 34)	0,128	0,471
<b>Rand</b> (n = 30)	-0,054	0,776
<b>Bestand</b> (n = 30)	0,169	0,373

Auf Erhebungsflächen im Zentrum der WWF ( $r = 0,128$ ;  $p = 0,471$ ) und im angrenzenden, nicht beschädigten Bestand ( $r = 0,169$ ;  $p = 0,373$ ) konnte bei steigender Bodenvegetation mehr Naturverjüngung/ha aufgenommen werden, jedoch waren diese Werte nicht signifikant.

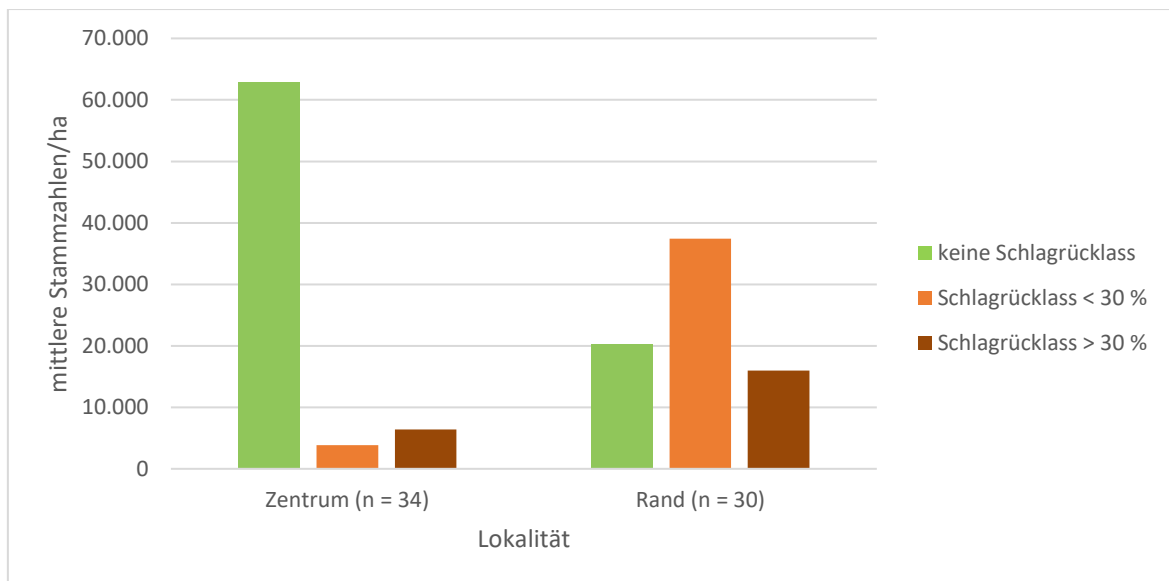
Am Rand war ein schwach negativer Zusammenhang zwischen der Bodenvegetation und den Verjüngungszahlen/ha ( $r = -0,054$ ) vorhanden, welcher mit  $p = 0,776$  nicht signifikant war (siehe Tabelle 32).

### 3.3.8 Bodenbedeckung durch Schlagrücklass

Auf 13 % der Erhebungspunkte im Zentrum (n = 2) und am Rand (n = 6) wurde keine Bodenbedeckung durch Schlagrücklass vorgefunden. 45 % der Flächen waren mit einer geringen Menge an Schlagrücklass von bis zu 30 % bedeckt. Auf Weiteren 42 % der

Flächen wurde ein Anteil durch Schlagrücklass von 40 – 70 % geschätzt. Die Klasse „stark“, welche eine Menge an Schlagrücklass zwischen 70 - 100 % umfasste, konnte auf keiner der Erhebungspunkte vorgefunden werden.

In der nachstehenden Abbildung 23 wurde keine Rücksicht auf den Zusammenhang der Lokalitäten mit den unterschiedlichen Flächengrößen genommen und nur die mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha der drei Kategorien (0, < 30 %, > 30 %) mit den Lokalitäten Zentrum und Rand ausgewertet.



**Abbildung 23: Mittlere Verjüngungsstammzahlen/ha bei unterschiedlichem Anteil an Schlagrücklass im Zentrum und am Rand (n = 64)**

Im Zentrum konnte auf den Flächen ohne Schlagrücklass die meiste Naturverjüngung vorgefunden werden. Beim Vorhandensein von Schlagrücklass waren kaum noch Verjüngungspflänzchen vorhanden. Die Randflächen zeigten keine großen Unterschiede hinsichtlich der Anzahl der Verjüngungspflanzen mit und ohne Schlagrücklass. Am meisten Naturverjüngung war bei einem Schlagrücklass < 30 % vorhanden. Ungefähr 20.000 Pflänzchen/ha waren auf Flächen ohne Schlagrücklass vertreten.  $15.975 \pm 11.310$  N/ha waren noch bei > 30 % Schlagrücklass am Rand vorzufinden. Tabelle 33 zeigt die mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha je Schlagrücklassklasse (0 %, < 30 %, > 30 %) bei unterschiedlicher Flächengröße (klein, mittel, groß) und Lokalität (Zentrum, Rand).

**Tabelle 33: Übersicht der mittleren Verjüngungszahlen ( $\pm$  Stabw) bei unterschiedlichen Kategorien (kein, < 30% > 30%) von Schlagrücklass im Zentrum und am Rand in Verbindung mit kleinen, mittleren und großen Flächen (in Klammer die Stichprobenanzahl)**

Zentrum (n = 34)	Flächengröße		
Schlagrücklass	klein (N/ha)	mittel (N/ha)	groß (N/ha)
0 %	108.667 $\pm$ 0 (n = 1)	0	16.978 $\pm$ 0 (n = 1)
< 30 %	6.484 $\pm$ 10.926 (n = 3)	3.254 $\pm$ 4.441 (n = 5)	2.122 $\pm$ 3.676 (n = 3)
> 30 %	6.411 $\pm$ 9.808 (n = 8)	1.592 $\pm$ 2.251 (n = 2)	7.299 $\pm$ 10.625 (n = 11)
Rand (n = 30)			
0 %	17.331 $\pm$ 19.187 (n = 4)	31.831 $\pm$ 0 (n = 1)	20.071 $\pm$ 0 (n = 1)
< 30 %	41.896 $\pm$ 56.115 (n = 6)	44.718 $\pm$ 34.644 (n = 4)	30.471 $\pm$ 21.365 (n = 8)
> 30 %	16.093 $\pm$ 22.758 (n = 2)	12.732 $\pm$ 0 (n = 2)	19.099 $\pm$ 9.003 (n = 2)

Im **Zentrum** ist zu erkennen, dass sich im Zusammenhang mit kleinen und großen WWF die meiste Verjüngung bei keinem vorhandenen Schlagrücklass einstellte, wobei dort jeweils nur eine Stichprobe in die Wertung fiel. Alle weiteren Kombinationen waren sich ähnlich und wiesen auch höhere Stichprobenanzahlen auf. Es fielen insgesamt nur zwei Flächen in die Erhebung mit keinem Schlagrücklass. Auf jenen Flächen konnte eine Vielzahl an Pflänzchen aufgenommen werden.

Mittels einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse wurde überprüft, ob Unterschiede zwischen den mittleren Verjüngungszahlen/ha bei unterschiedlichem/r Schlagrücklass und Flächengröße vorzufinden waren. Das gesamte Modell war im Zentrum mit  $p = < 0,001$  hoch signifikant (siehe Tabelle 34).

**Tabelle 34: Ergebnis einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit der abhängigen Variable = Verjüngungszahlen/ha und den Faktoren Flächengröße und Schlagrücklass im Zentrum**

Faktoren	Freiheitsgrade	F-Wert	Sig.
<b>Korrigiertes Modell</b>	7	18,154	<b>&lt; 0,001</b>
<b>Flächengröße</b>	2	19,196	<b>&lt; 0,001</b>
<b>Schlagrücklass</b>	2	35,916	<b>&lt; 0,001</b>
<b>Flächengröße*Schlagrücklass</b>	3	15,747	<b>&lt; 0,001</b>

Mittels des Post-hoc-Tests nach Tukey-HSD wurden die paarweisen Vergleiche der signifikanten Kategorien durchgeführt. Zwischen den Kategorien „kein Schlagrücklass“ und „Schlagrücklass < 30 %“ bzw. „kein Schlagrücklass“ und „Schlagrücklass > 30%“ wurden signifikante Ergebnisse von  $p = < 0,001$  erkannt. Im Zusammenhang der Flächengröße traten signifikante Unterschiede zwischen den kleinen und mittleren Flächen auf (siehe Tabelle 35).

**Tabelle 35: Post-hoc-Test nach Tukey-HSD der Haupteffekte Flächengröße und Schlagrücklass**

Variable	Kategorie	Mittlere Differenz	Standardfehler	Sig.
<b>Flächengröße</b>	klein/mittel	12.171,84	4.326,806	<b>0,024</b>
	klein/groß	8.042,17	3523,513	0,76
	mittel/groß	-4.129,67	4.164,348	0,589
<b>Schlagrücklass</b>	kein/< 30 %	58.996,24	6993,436	<b>&lt; 0,001</b>
	kein/> 30 %	56.405,40	6732,395	<b>&lt; 0,001</b>
	< 30 %/> 30 %	-2.590,84	3.386,096	0,727

Am **Rand** der Flächen war zu erkennen, dass beim Vergleich des Schlagrücklasses von < 30 % mit jenen von > 30 % auf gleicher Flächengröße um jeweils mehr als doppelt so viel Naturverjüngung/ha aufkam. Bei einem durch Schlagrücklass bedeckten Boden von > 30 % kam im Unterschied zu den zwei kleineren Klassen am wenigsten Verjüngung auf. Über alle Flächengrößen hinweg wurden aber ähnliche Verjüngungsstammzahlen/ha (16.093 N/ha - 12.732 N/ha - 19.099 N/ha) vorgefunden. Im Durchschnitt kamen auf den mittleren Flächen im Vergleich zu den kleineren und größeren Flächen über alle drei Schlagrücklassklassen hinweg am meisten Verjüngungspflänzchen/ha auf. Hinsichtlich statistischer Unterschiede der Haupteffekte Flächengröße und Schlagrücklasse auf die Verjüngungsstammzahlen/ha traten keine signifikanten Ergebnisse auf ( $p = > 0,05$ ; siehe Tabelle 36).

**Tabelle 36: Ergebnis einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit der abhängigen Variable Verjüngungszahlen/ha und den Faktoren Flächengröße und Schlagrücklass am Rand**

Faktoren	Freiheitsgrade	F-Wert	Sig.
<b>Korrigiertes Modell</b>	8	0,398	0,909
<b>Flächengröße</b>	2	0,53	0,948
<b>Schlagrücklass</b>	2	1,157	0,334
<b>Flächengröße*Schlagrücklass</b>	4	0,109	0,978

### 3.3.9 Samenbaum

Auf 82 von insgesamt 94 Flächen wurde mindestens ein Fichtensamenbaum vorgefunden. Die Tanne war auf 32 und die Lärche auf 30 Erhebungsflächen vorhanden. Die Fichte war, außer im Zentrum von mittleren und großen Flächen, überall zu fast 100 % vertreten. Tannen- und Lärchensamenbäume waren auf den verschiedenen Lokalitäten und Flächengrößen jeweils auf durchschnittlich der Hälfte der Flächen vorzufinden.

Auf 6 von 34 Erhebungsflächen im Zentrum von WWF konnten keine Samenbäume aufgenommen werden. Diese Flächen hatten ausschließlich eine mittlere-große (> 1 ha) Flächencharakteristik.

In Tabelle 37 wurden je Lokalität und Flächengröße die relativen Flächenanzahlen in Prozent auf denen Samenbäume einer bestimmten Baumart vorkamen, (klein, mittel/groß), ermittelt.

Im **Zentrum** von kleinen WWF kamen im Umkreis von maximal 60 m zum Erhebungsmittelpunkt zu 100 % Fichtensamenbäume vor. Auf großen Flächen sank dieser Wert auf 55 %. Die Tanne und die Lärche kamen auf 42 % vor, wobei der Rückgang der Tanne auf 23 % bei großen Flächen am stärksten war. Das Auftreten von Lärchensamenbäumen ging auf großen Flächen auf 36 % zurück.

Am **Rand** von kleinen WWF waren fast überall weniger Tannen- und Lärchensamenbäume vorhanden als im Zentrum. Im Vergleich zum Zentrum nahmen am Rand in der Nähe von mittleren/großen Flächen vor allem die Fichte und die Tanne zu. Die Lärche war nur mehr auf 22 % der Flächen vertreten.

Auf Erhebungsflächen im **Bestand**, welche im Zusammenhang mit kleinen WWF aufgenommen wurden, war die Fichte auf 92 % der Flächen als Samenbaum vertreten. Die Lärche war in geschlossenen Beständen mit nur mehr 17 % vertreten. Tannen waren auf jeder dritten Fläche vorhanden und die Lärchen waren mit 39 % im Vergleich zum Zentrum und Bestand am häufigsten vertreten.

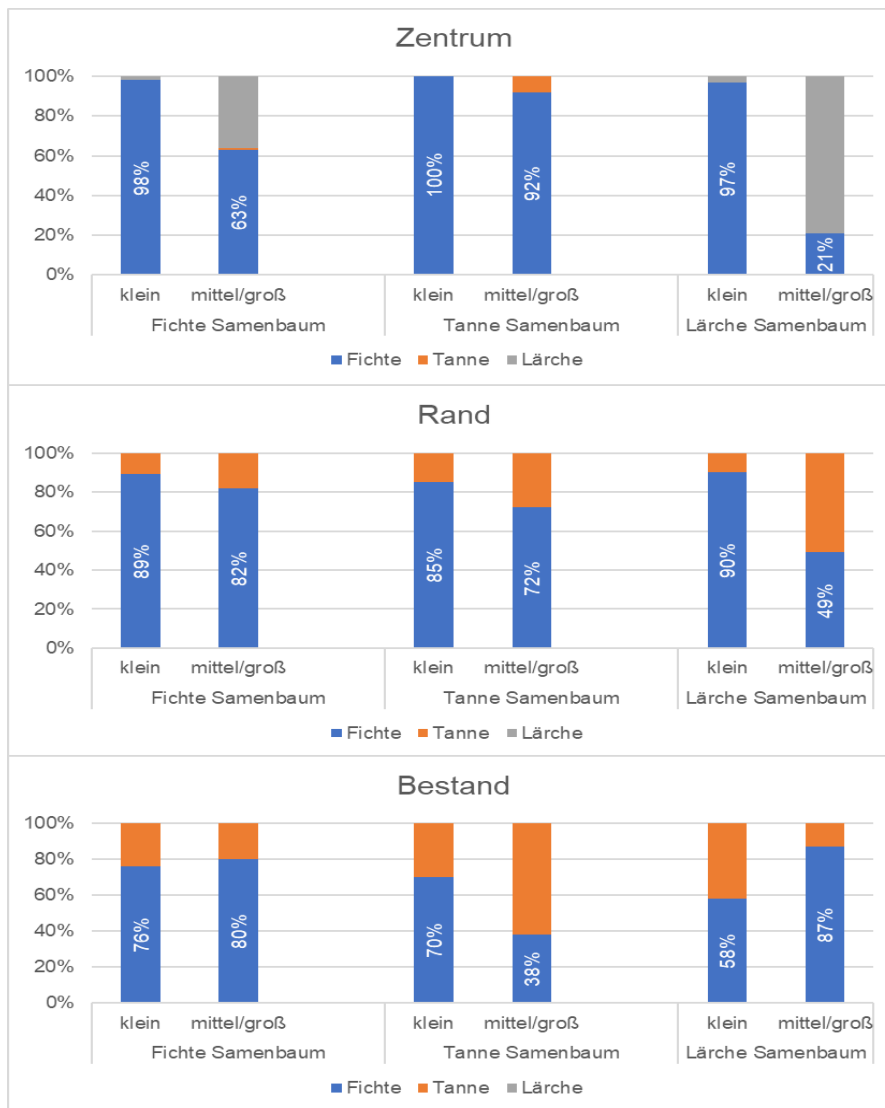
**Tabelle 37: Prozentangabe der Flächen mit den jeweiligen Samenbaumarten Fichte, Tanne und Lärche im Zentrum, am Rand und im Bestand im Zusammenhang mit kleinen sowie mittel/großen Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl)**

		Flächengröße					
		klein (n = 36)			mittel/groß (n = 58)		
Samenbaumart	Lokalität	Fichte	Tanne	Lärche	Fichte	Tanne	Lärche
	<b>Zentrum</b> (n = 12/22)	100%	42%	42%	55%	23%	36%
	<b>Rand</b> (n = 12/18)	100%	33%	33%	100%	44%	22%
	<b>Bestand</b> (n = 12/18)	92%	42%	17%	94%	28%	39%

In der Abbildung 24 wurden beim Vorhandensein der Samenbäume Fichte, Tanne und Lärche die dort vorkommenden relativen Verjüngungsanteile bei unterschiedlicher Flächengröße und Lokalität dargestellt.

Auf kleinen Flächen im Zentrum kam in der Nähe von Fichtensamenbäumen zu 98 % auch Fichtenverjüngung auf. Bei mittleren/großen Flächen nahm der Anteil der Fichte, im Vergleich zu kleinen Flächen, um 35 % ab. Der relative Verjüngungsanteil der Tanne war mit 8 % auf mittel/großen Flächen beim Vorhandensein von Tannensamenbäumen am höchsten. Unterschiede wurden auch im Zusammenhang mit Lärchensamenbäumen erhoben. So war der relative Lärchenanteil in der Naturverjüngung auf mittleren/großen Flächen und vorhandenen Lärchensamenbäumen, im Vergleich mit dem relativen Lärchenanteil im Zusammenhang der Fichten bzw. Tannensamenbäumen, am höchsten. Am Rand war das Vorkommen von Fichtenverjüngung im Zusammenhang mit einem Fichtensamenbaum über fast jede Flächengröße bei über 80 %. Der relative Anteil der Tanne nahm im Vergleich zum Zentrum über jede Flächengröße deutlich zu.

Im Bestand konnte ähnlich wie am Rand im Zusammenhang mit Fichtensamenbäumen auf jeder Flächengröße ein hoher relativer Verjüngungsanteil der Fichte festgestellt werden. Der relative Verjüngungsanteil der Tanne war beim Vorhandensein eines baumartgleichen Samenbaumes auf kleinen Flächen bei 30 % und auf mittel/großen Flächen bei 62 %. Das waren beim Vergleich der drei Lokalitäten jeweils die höchsten Werte.



**Abbildung 24: Relativer Baumartenanteil der Naturverjüngung in Abhängigkeit der Samenbaumart in Verbindung mit kleinen und mittleren/großen Flächen im Zentrum, am Rand und im Bestand**

In Tabelle 38 wurden die mittleren Stammzahlen pro Hektar der Naturverjüngung beim Vorhandensein mindestens eines baumartgleichen Samenbaumes ausgewertet.

**Tabelle 38: Übersicht der durchschnittlichen Verjüngungsstammzahlen/ha ( $\pm$  Stabw.) je Baumart beim Vorhandensein einer baumartgleichen Samenbaumart (in Klammer die Stichprobenanzahl)**

	Zentrum		Rand		Bestand	
	klein (n = 12)	mittel+groß (n = 22)	klein (n = 12)	mittel+groß (n = 18)	klein (n = 12)	mittel+groß (n = 18)
<b>Fichte</b> (N/ha)	19.566 $\pm$ 38.211 (n = 7)	4.244 $\pm$ 1.501 (n = 4)	25.618 $\pm$ 37.518 (n = 11)	21.211 $\pm$ 19.494 (n = 18)	21.459 $\pm$ 22.170 (n = 10)	26.113 $\pm$ 38.891 (n = 12)
<b>Tanne</b> (N/ha)	0	354 $\pm$ 0 (n = 1)	11.907 $\pm$ 4.084 (n = 3)	12.341 $\pm$ 15.828 (n = 7)	13.369 $\pm$ 6.901 (n = 5)	19.894 $\pm$ 19.340 (n = 4)
<b>Lärche</b> (N/ha)	3.183 $\pm$ 0 (n = 1)	7.958 $\pm$ 2.251 (n = 2)	0	0	0	0
<b>Gesamtmittel</b> (N/ha)	17.518 $\pm$ 35.855 (n = 8)	4.750 $\pm$ 9.003 (n = 7)	22.680 $\pm$ 33.432 (n = 14)	18.727 $\pm$ 33.432 (n = 25)	18.762 $\pm$ 18.558 (n = 15)	24.559 $\pm$ 34.512 (n = 16)

Im Zentrum von kleinen WWF konnten durchschnittlich  $19.566 \pm 38.211$  N/ha Fichtenpflänzchen in der Nähe von Fichtensamenbäumen vorgefunden werden. Auf größeren WWF minimierte sich dieser Wert auf  $4.244 \pm 1.501$  N/ha. Am Rand ( $25.618 \pm 37.518$  N/ha zu  $21.211 \pm 19.494$  N/ha) und im Bestand ( $21.459 \pm 22.170$  N/ha zu  $26.113 \pm 38.891$  N/ha) konnten höhere Werte pro Hektar nachgewiesen werden, der Unterschied zwischen den Flächengrößen je Lokalität war aber nicht mehr so groß wie im Zentrum der WWF.

Die Verjüngungsstammzahlen pro Hektar der Tanne nahmen im Zusammenhang mit artgleichen Samenbäumen erst am Rand und im Bestand in Verbindung mit mittleren/großen Flächen zu, wo auch die höchsten Werte in Abbildung 24 erzielt wurden. Lärchenverjüngung konnte im Zusammenhang mit Lärchensamenbäumen vor allem im auf mittleren/großen Flächen im Zentrum beobachtet werden.

Das Vorhandensein von Flächen mit Fichten- und Tannenverjüngung und der dazugehörigen Samenbaumart war im Vergleich mit dem Rand und dem Bestand im Zentrum am geringsten.

Anhand des Kruskal-Wallis-Tests wurde untersucht, ob Unterschiede in den Verjüngungsstammzahlen/ha je Baumart bei deren Vorhandensein und im Zusammenhang der Samenbaumart zwischen den Lokalitäten (Zentrum, Rand, Bestand) und den unterschiedlichen Flächengrößen (klein zu mittel/groß) erkennbar waren.

**Tabelle 39: Kruskal-Wallis Test zur statistischen Untersuchung der Unterschiede in den Verjüngungsstammzahlen/ha beim Vorhandensein mindestens eines dazugehörigen Samenbaumes bei unterschiedlicher Flächengröße im Zentrum, am Rand und im Bestand**

Abhängige Variable	Lokalität	Freiheitsgrade	Asymptotische Sig.
<b>Fichte</b> N/ha	Zentrum	1	0,703
	Rand		0,621
	Bestand		0,974
<b>Tanne</b> N/ha	Zentrum	zu geringe Stichprobengröße	
	Rand	1	0,194
	Bestand		0,806
<b>Lärche</b> N/ha	Zentrum	1	0,221
	Rand	zu geringe Stichprobengröße	
	Bestand		



Signifikante Unterschiede konnten in keiner der Kombinationen (Verjüngungstammzahlen/ha zu Lokalität/Flächengröße) festgestellt werden, da sämtliche p-Werte über dem festgelegten Signifikanzniveau von 0,05 lagen (siehe Tabelle 39).

### 3.4 Wildeinfluss

#### 3.4.1 Auswertungen des Wildverbisses

Mittels der spezifischen Erhebung der Verjüngungspflänzchen auf Einzelbaumniveau wurde das Bäumchen auf möglichen Verbisseinfluss durch Wildwiederkäuer, sowie durch Hasen/Nager überprüft. An insgesamt 5 % Verjüngungspflanzen konnte ein Verbiss innerhalb der Jahre 2017 bis 2019 festgestellt werden. Aufgrund dieser geringen Anzahl an Pflänzchen mit Verbisseinfluss konnten keine weitreichenden Analysen zum Wildverbiss durchgeführt werden.

#### 3.4.2 Verteilung der Losungshaufen

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden Reh- und Rotwild Losungshaufen aufgenommen. Deren Auswertungen basieren auf der räumlichen Verteilung auf unterschiedliche Lokalitäten und Flächengrößen.

In Tabelle 40 sind die relativen Anteile der Erhebungsflächen mit oder ohne Losungsfund bei unterschiedlicher Lokalität und Flächengröße dargestellt.

**Tabelle 40: Relativer Flächenanteil in Prozent je Lokalität und Flächengröße beim Fund oder Nichtfund von Losungshaufen**

Zentrum					Rand				
Losungsfund	Flächengröße			Summe	Losungsfund	Flächengröße			Summe
	klein (n = 12)	mittel (n = 7)	groß (n = 15)			klein (n = 12)	mittel (n = 7)	groß (n = 11)	
ja (%)	42	29	33	35	ja (%)	58	86	45	60
nein (%)	58	71	67	65	nein (%)	42	14	55	40
Summe (%)	100	100	100	100	Summe (%)	100	100	100	100

Bestand				
Losungsfund	Flächengröße			Summe
	klein (n = 12)	mittel (n = 7)	groß (n = 11)	
ja (%)	67	43	45	53
nein (%)	33	57	55	47
Summe (%)	100	100	100	100

Im **Zentrum** ist bei unterschiedlicher Flächengröße zu erkennen, dass auf kleinen WWF, im Gegensatz zu mittleren und großen WWF, mit 42 %, mehr Losungshaufen vorgefunden wurden. Auf mittleren und großen Flächen war die Differenz zwischen Losungsfund und Nichtfund ähnlich hoch. In Summe wurden im Lückenzentrum (26 %) auf weniger Erhebungsflächen Losungshaufen vorgefunden, als dies am Lückenrand (39 %) oder im Bestandesinneren (35 %) der Fall war.

Am **Rand** konnten im Zusammenhang mit kleinen und vor allem mittleren WWF mehr Flächen mit Losungsfund nachgewiesen werden. Am Rand großer WWF waren 55 % der Flächen ohne Losungsfund. Mit einem Verhältnis von 60/40 waren auf mehr Flächen Losungshaufen vorzufinden. Am Rand wurden insgesamt am meisten Losungshaufen vorgefunden.

Im **Bestand** konnten in der Nähe kleiner WWF mit 67 % auf mehreren Aufnahmeflächen Losungshaufen aufgefunden werden. In Verbindung mit mittleren und großen Flächen waren die relativen Werte bei ca. jeweils 50 %. Das Verhältnis von Fund und Nichtfund von Losungshaufen war im Bestand bei ca. 50 %.

Beim Vergleich der drei Lokalitäten ohne Unterteilung in die Flächengröße, wurden nur im Zentrum weniger Erhebungsflächen gezählt, auf denen keine Losung vorgefunden wurde. Ob Unterschiede zwischen den beobachteten oder erwarteten Häufigkeiten zwischen dem Losungsfund bzw. Nichtfund im Zusammenhang mit dem Zentrum, dem Rand und dem Bestand bei unterschiedlicher Flächengröße erkennbar waren, wurde mittels des exakten Tests nach Fisher überprüft.

Sämtliche Ergebnisse hatten einen p-Wert von  $> 0,05$  und waren demnach nicht signifikant (siehe Tabelle 41).

**Tabelle 41: Ergebnis des exakten Tests nach Fisher mittels der Kreuztabelle (Losungsfund\*Flächengröße) bei unterschiedlicher Lokalität**

Lokalität	Kreuztabelle	Teststatistik	Exakte Sig.
<b>Zentrum</b>	Losungsfund*Flächengröße	0,457	0,810
<b>Rand</b>		2,790	0,254
<b>Bestand</b>		1,478	0,523

## 4. Diskussion

### 4.1 Stichprobendesign und Datenauswertung

Erhebungsdesign: Als Stichprobengröße waren für diese Arbeit 90 Punkte (30 je Lokalität) vorgesehen. Für die Aufnahme der Standorts-, Bestandes-, und Verjüngungsparameter gab es drei verschiedene Designs:

- die Standortsparameter wurden innerhalb eines Radius von 30 m,
- die Bestandesparameter mittels eines fixen Probekreises von  $r = 9,78$  m
- und die Verjüngung mittels einer Satellitenaufnahme und unterschiedlichen Radien von 0,5 m, 1,5 m und 3 m, erhoben.

Der Vorteil dieses Erhebungsdesigns ist, dass von einem Stichprobenflächenmittelpunkt aus, mehrere verschiedene Erhebungen durchgeführt werden können und alle gemessenen Parameter innerhalb eines überschaubaren Radius aufgenommen werden. Dies hat zur Folge, dass geringe standortsabhängige Unterschiede vorhanden sind, da die horizontalen bzw. vertikalen Distanzen je Stichprobenfläche in einem kleinen Umkreis liegen. Durch die Satellitenmethode hält sich auch der Erhebungsaufwand der Naturverjüngung in Grenzen, weil innerhalb der drei Verjüngungsradien nur bestimmte Pflänzchen je Höhenstufe aufgenommen werden müssen. Somit müssen die kleinsten, am schwersten aufzufindenden und zu zählenden Verjüngungspflänzchen der niedrigsten Höhenklasse „nur“ innerhalb eines 0,5 m Radius erhoben werden, was Zeit spart und die Fehlerquote verringert. Diese Art der Erhebung ist auch in Bezug auf Folgerhebungen (die Stichprobenpunkte wurden verpflockt) geeignet, weil bei einer hohen Bodenvegetation die Aufnahmen durch kleinere Radien erleichtert sind und Erhebungsfehler besser vermieden werden können. Auch wenn es Vorteile der Satellitenaufnahme gibt, müssen im Gelände immer vier Verjüngungsmittelpunkte vom Stichprobenflächenzentrum aus vermessen werden. Das ist ein zusätzlicher Arbeitsaufwand und nimmt Zeit in Anspruch. OBEREGGER (2012) wies darauf hin, dass das Satellitenverfahren im Vergleich zum Transektverfahren zeitintensiver und bei geringer Baumanzahl nicht besonders effektiv ist.

Die Vielfalt an verschiedenen Aufnahmemethoden ist außerdem abwechslungsreich, wodurch die Konzentration hochgehalten wird, was bei einem monotonen Aufnahmeverfahren, mit beispielsweise nur einem Radius, vielleicht nicht der Fall wäre.

Die Person, welche die Erhebungen im Gelände durchführt, muss aufgrund des teilweise komplexen Erhebungsdesigns den Aufnahmevorgang detailgenau beschreiben, damit Folgerhebungen exakt nach diesem Muster wiederholt werden können. Um die Aufnahmen möglichst korrekt, genau und mit geringstmöglichem Zeitaufwand durchführen zu können, sind für die Erhebung zwei Personen nötig.

Bei der Aufnahme der Bestandesdaten wurde der fixe Probekreis einer Winkelzählprobe vorgezogen, weil durch diesen auch niedrigere BHD-Klassen aufgenommen werden, welche bei einer Winkelzählprobe vernachlässigt werden würden. So ist eine genauere Darstellung der BHD-Klassenverteilung und der Baumartenzusammensetzung möglich (STEINER et al. 2018). Die Flächengröße des fixen Probekreises betrug 300 m<sup>2</sup>, damit eine genügend große, dem Standort repräsentative Fläche erhoben werden kann.

Verjüngungsparameter: Grundsätzlich wurden in den vier Satellitenflächen mit den jeweiligen Radien alle Bäumchen der jeweiligen Höhenklasse erhoben, um auch quantitative Ergebnisse hinsichtlich der Stammzahl und Baumartenvielfalt aufbereiten zu können. Die spezifische Erhebung der Verjüngungspflänzchen erfolgte an den 6 höchsten Bäumchen je Baumart und Teilfläche. Durch diese Aufnahme ist es möglich, eine für die Auswertung trotzdem entsprechend große Datenmenge zu erhalten und Zeit zu sparen, weil nicht die gesamten vorgefundenen Bäumchen genauer untersucht werden müssen. Somit werden wichtige Parameter an jenen Pflänzchen aufgenommen, welche die besten Voraussetzungen haben, in Zukunft in die höheren Bestandesklassen hineinzuwachsen. Die Aufnahme dieser 6 höchsten Bäumchen ist von der Zeitdauer her eine kürzere Erhebungsmethode. Es wird über alle Probeflächen hinweg dieselbe Anzahl an Bäumchen genauer untersucht, unabhängig von einem stärkeren oder schwächeren Verjüngungsvorkommen auf den Flächen. Durch die Verwendung der 6 höchsten Pflänzchen fallen die Ergebnisse der Verbissanalyse bei Sukzessionsbeginn höher aus, weil höhere Pflänzchen zwischen 30 und 100 cm vorzugsweise verbissen werden. Die Werte können durch Faktoren wie Schneelage, Störungen und auch das Wetter beeinflusst werden. Bei der Beobachtung der Entwicklung der Mittelhöhe über mehrere Jahre kommt es aber zu kaum einer Abnahme, wenn nur auf die 6 Oberhöhenstämmchen je Baumart geachtet wird, da die neu nachwachsenden, kleinen Bäumchen nicht mit hineinbezogen werden (REIMOSER et al. 2014).

Datenauswertung: Bei der Auswertung der Daten wurden die Verjüngungsstammzahlen, welche durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden können, dargestellt. Die verschiedenen Lokalitäten (Zentrum, Rand und Bestand) wurden im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Windwurfgrößen miteinander verglichen. Somit wurde bei der Analyse die Stichprobengröße von 94 Punkten ständig verkleinert, weil die Faktoren immer mindestens zwei Ausprägungen aufwiesen. Die Stichprobengröße war je Lokalität bei 30, wobei dieser Wert durch die Ausprägungen weiterer Untersuchungsvariablen wiederum herabgesetzt wurde. Am Ende waren in den Kreuztabellen nur mehr geringe Stichprobengrößen vorzufinden, was die Aussagekraft der jeweiligen Werte verringert. Eine

höhere Stichprobengröße wäre wegen der vielen Unterteilungen und Faktorausprägungen für eine höhere Genauigkeit von Vorteil gewesen. Im Zuge dessen würde sich aber auch der gesamte Arbeitsaufwand erhöhen und dies den Rahmen einer Masterarbeit sprengen. Für die Veranschaulichung der Daten in den Abbildungen und Tabellen wurden mit wenigen Ausnahmen die mittleren Stammzahlen/ha verwendet, damit Vergleiche aufgestellt werden konnten. Auch MOSER (2017) oder PETZLBERGER (2017), welche in ihren Diplomarbeiten über ähnliche Thematiken schrieben, verwendeten die Mittelwerte. BRANG et al. (2017) hingegen benutzte den Median, weil er so Verfälschungen des Mittelwertes bei großen Differenzen in den Verjüngungszahlen ausstellt.

## 4.2 Bestandessituation

In den Waldbeständen im Erhebungsgebiet stockten zu 90 % Fichten. Die Baumarten Tanne, Lärche und Kiefer waren eingesprengt vorhanden. Diese Baumartenzusammensetzung deckt sich mit jener, welche im Zuge der Waldtypisierung für dieses Gebiet beschrieben wurde (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010). Fehlend bei den Erhebungen in der Bestandesschicht, waren laut Waldtypisierung ausschließlich die Grünerle und die Birke. Die Abwesenheit dieser zwei Baumarten könnte auf die Auswahl der Probeflächen oder das Erhebungsdesign zurückzuführen sein, da nur Baumarten innerhalb des fixen Probekreises für die Baumartenzusammensetzung des Bestandes herangezogen wurden.

Ein so hoher Fichtenanteil bringt jedoch auch Risiken mit sich. Sturmereignisse, welche in den letzten Jahren immer wieder große Schäden an den Waldbeständen verursachten, deckten die Schwachstellen der Fichte auf (HÖLLERL und MOSANDL 2009). Überbestockte, nicht strukturierte Bestände, in denen die Baumindividuen einen hohen Schlankheitskoeffizienten von  $> 80$  aufwiesen, fielen dem Wind zum Opfer (ĐODAN und PERIĆ 2019). In der montanen Höhenstufe können noch viele weitere Baumarten natürlich vorkommen, was vor allem in Hinsicht auf einen stabilen und natürlichen Bergmischwald von Vorteil ist (HÖLLERL und MOSANDL 2009).

Durch die Erhebung von fixen Probekreisen im Bestand und am Rand konnte auf Flächen mit unterschiedlichen Baumstammzahlen und unterschiedlich hoher Überschildung auch die Verjüngung in unterschiedlichen Bestandesdichten analysiert werden.

Die mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha lagen am Rand zwischen den vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha bei mindestens 20.000 N/ha und maximal knapp 40.000 N/ha. Im Bestand stiegen die durchschnittlichen Verjüngungszahlen/ha bis zu einer Baumstammzahl/ha von 500 - 750 auf über 50.000 N/ha an und lagen in Beständen mit einer Bestockung von  $> 750$  N/ha bei knapp über 10.000 N/ha. Am Rand scheinen die

Wuchsbedingungen für die Naturverjüngung im Allgemeinen über alle Klassen der Baumstammzahlen/ha etwas besser zu sein als im geschlossenen Bestand, wo vor allem bei mittleren Baumstammzahlen/ha von > 750 das Verjüngungsaufkommen stark gehemmt wird. Die Pflanzenanzahl der Verjüngung tendiert laut KRETSCHMER (2004) unter Schirm nur leicht höher zu sein als auf Flächen mit keiner bis geringer Überschirmung. Dies konnte anhand der Ergebnisse nur teilweise bestätigt werden.

Auf den Kalamitätsflächen stockten vor dem Sturm Fichtenbestände, wie sie im angrenzenden Bestand vorzufinden sind. Auch auf Untersuchungsflächen in der Schweiz stockte in den Bestandesflächen und auf den Rand- und Windwurfflächen vor dem Sturm ein Bestand mit vorwiegend Fichte (KALT et al. 2021), was sich bei einem Blick auf die Baumarten in der Verjüngung widerspiegelt (LÄSSIG et al. 1995). Es zeigt sich, dass sich eine hohe Überschirmung des Vorbestandes positiv auf den Fichtenanwuchs auf südexponierten Flächen sowie deren Aufwuchs und Nachwuchs auswirkt (KALT et al. 2021). In dieser Diplomarbeit spiegeln sich die Baumarten im Baumbestand in der Verjüngung wider, was auch LÄSSIG et al. (1995) in ihren Ergebnissen herausfanden.

### **4.3 Einfluss der Höhenstufe**

Der Großteil der Stichprobenflächen (n = 62) im Erhebungsgebiet lag auf einer Seehöhe zwischen 1.450 m und 1.750 m. ü. M. in der hochmontanen Höhenstufe. Knapp 1/3 der Flächen lagen in der tiefsubalpinen Stufe und nur insgesamt 5 Flächen im mittelmontanen Bereich. Die hochmontane Stufe wird vorwiegend von Fichten- und Fichten-Tannenwälder gebildet. Je nach Standort kommen auch noch die Lärche und die Kiefer vor. Die darüberliegende, tiefsubalpine Stufe wird, wegen der Frosthärte von Fichte und Lärche vorwiegend durch diese Baumarten geprägt (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010).

Untersucht wurde, ob Stammzahlunterschiede in der Verjüngung zwischen den Höhenstufen je Lokalität oder je Höhenstufe bei unterschiedlicher Lokalität auftraten. Signifikante Unterschiede in den Verjüngungszahlen/ha konnten ausschließlich zwischen den Flächen im Zentrum und jenen am Rand im hoch und tiefsubalpinen Bereich ermittelt werden. Signifikante Ergebnisse innerhalb der Lokalitäten waren außerdem noch in den Baumartenverteilungen am Rand und im Bestand bei unterschiedlicher Höhenstufe vorhanden. Auch MOSER (2017), PETZLBERGER (2017) und WOHLGEMUTH und KRAMER (2015) untersuchten in ihren Arbeiten, ob Unterschiede hinsichtlich der Verjüngungstammzahl und der Seehöhe auftraten. Signifikante Zusammenhänge zwischen dem Verjüngungsaufkommen und der Seehöhe konnten auch dort nicht vorgefunden werden. REICH et al. (2010) hingegen konnten in ihren Analysen einen

schwach signifikanten Zusammenhang zwischen den Verjüngungsstammzahlen/ha und der Seehöhe aufzeigen, wodurch mit steigender Höhenlage eine geringere Pflanzenzahl vorkam. Diese Erhebungen fanden jedoch in durchschnittlich geringerer Meereshöhe von 1.200-1.560 m (vgl. 1.450-1.750 m. ü. M. dieser Diplomarbeit) statt. BRANG et al. (2017) fanden heraus, dass mehr Fichtenverjüngung pro Hektar auf einer Seehöhe von 1.400-1.600 m aufkommt als in niedriger oder höherer Höhenlage. Dieses Ergebnis konnte aber durch keinen Signifikanztest bestätigt werden. BAUER (2002) hingegen wies in ihrer Arbeit darauf hin, dass signifikante höhenlagenspezifische Unterschiede in den Verjüngungszahlen pro Hektar auftreten, welche nach oben hin abnehmen. Die Gründe für ein erschwertes Aufkommen der Verjüngung in höheren Lagen sind vielfältig. Mit zunehmender Höhe nehmen beim Vergleich der subalpinen und der montanen Stufe, verjüngungsbeeinflussende Faktoren wie geringere Wärme und Einstrahlung, Schneeabtragungen und Schneeakkumulation eine bedeutende Rolle ein (OTT et al. 1991).

#### **4.4 Pflanzenhöhe und Baumartenverteilung**

Die Stammzahlverteilung der Verjüngung ist je Baumart in den Höhenklassen unterschiedlich. Niedrigere Höhenklassen in der Naturverjüngung erwiesen sich im Mittel über alle Lokalitäten als stammzahlstärker als höhere. Die Baumartendiversität nimmt mit steigender Höhenklasse signifikant ab ( $p = < 0,001$ ) und ist in den niederen Klassen auf den Windwurfflächen bzw. an dessen Randflächen höher als im geschlossenen Bestand. Die Höhenentwicklung ist auf Freiflächen und im lebenden Bestand unterschiedlich groß. Je höher die Verjüngungspflanzen werden, desto geringer deren Stammzahlen ((BRANG et al. 2017), (BAUER 2002)), was sich auch in den Ergebnissen dieser Arbeit widerspiegelt. Gründe dafür sind, weil im geschlossenen Bestand vorwiegend Bäumchen wachsen, welche die geringeren Lichtverhältnisse gut ausnützen können. So kann sich die Tanne unter dem Kronendach gegenüber Baumarten mit höherem Lichtbedürfnissen stärker behaupten (KOHLE et al. 2011). Durch das Sturmereignis gelang in kürzester Zeit viel mehr Licht auf Flächen im Zentrum und am Rand der Windwurfflächen.

Wie sich die Naturverjüngung in den Höhenklassen in den Folgejahren entwickeln kann, wurde in bereits abgeschlossenen Untersuchungen erläutert:

Im weiteren Verlauf bleiben die Fichten-Verjüngungszahlen im Bestand je Höhenklasse über mehrere Jahre auf einem ähnlichen Niveau, während auf der Freifläche eine Verschiebung in die höheren Klassen ersichtlich ist (KEIDEL et al. 2008). In kleinen Schlitten nimmt die Anzahl der Fichten-Verjüngungspflänzchen, welche sowohl kleiner als auch größer 10 cm sind, ab dem 5. Jahr nach der Öffnung deutlich ab, was auf eine erhöhte

Mortalität, möglicherweise aufgrund der Konkurrenz mit der Bodenvegetation in dieser Zeitspanne, hinweist (HIRSIGER et al. 2013). Wie bei der Fichte nehmen die Verjüngungszahlen/ha der Vogelbeere in der Höhenklasse bis 20 cm von Jahr zu Jahr immer weiter ab, die Anteile in den höheren Klassen steigen jedoch nicht an. Im Bestand ist eine unterschiedliche Verteilung der Verjüngungszahlen der Vogelbeere in den Höhenklasse vorzufinden (KEIDEL et al. 2008). Die Ergebnisse zeigten dies auch am Beispiel der Vogelbeere, dass diese im Zentrum in höheren Klassen (10 - 25 cm) stärker vorhanden war als bei einer Höhe bis 10 cm. Der Chi<sup>2</sup>-Test zeigte signifikante Unterschiede in der Verteilung der Vogelbeere in den Höhenklassen 0 - 10 cm und 15 - 20 cm. Dies kann auf das Vorhandensein von mehr Licht durch das Öffnen der Bestände zurückzuführen sein (REICH et al. 2010), wodurch die Vogelbeere rasch in die Höhe wachsen kann. So spielen beim Höhenwachstum in der montanen Stufe besonders die Strahlung und der Wasserhaushalt eine bedeutende Rolle. Im subalpinen Bereich ist genügend Wärme die treibende Kraft für die Höhenentwicklung der Verjüngung (LÜSCHER 1989).

In dieser Arbeit wurde die durchschnittliche Pflanzhöhe für jede Baumart ermittelt, um die Entwicklung in den kommenden Jahren verfolgen zu können. Einzelne, bereits vorhandene Verjüngungsbäumchen aus der Vorverjüngung waren in den Stichproben für die hohen mittleren Pflanzhöhen verantwortlich, da sich die Verjüngung ansonsten vorwiegend, auf die niedrigeren Höhenklassen verteilt.

Bei BRANG et al. (2017) zeigte sich, dass die mittlere Pflanzhöhe durch die Exposition und den Wildverbiss gehemmt wird. In dieser Ersterhebung wurde allerdings nur die Mittelhöhe der Bäumchen dargestellt, ohne hemmende oder fördernde Faktoren dazu zu analysieren.

Ein Ausblick über die mögliche Höhenentwicklung der Verjüngung zeigten BRANG et al. (2017) auf. Sie analysierten wie sich die Höhe der Nachverjüngung, welche mindestens > 10 cm sein musste, in verschiedenen Lokalitäten entwickelt. Dort waren die Höhenmediane je nach Exposition der Lokalitäten unterschiedlich, wobei in Lücken im Durchschnitt eher höhere Werte vorherrschten als im Bestand. Deren Ergebnisse zeigten auch dass die Pflänzchen mit zunehmendem Abstand zum Sturmereignis im Mittel über alle Lokalitäten jährlich um 2,4 cm wuchsen, wobei am Rand mit 2,8 cm eine bessere Höhenentwicklung beobachtet werden konnte als in den Lücken (2,1 cm).



## 4.5 Bedeutung des Kleinstandorts

In den Ergebnissen wurde aufgezeigt, welche relativen Anteile die unterschiedlichen Baumarten auf den Kleinstandorten je Lokalität aufwiesen, um einen Überblick über die Wuchsstandorte der einzelnen Pflänzchen erhalten zu können. In Hochlagen sind die Kleinstandorte für das An- und Aufkommen von Verjüngung von bedeutender Rolle. Günstige Verjüngungsstandorte bieten höhergelegene Stellen wie Wurzelteller, Baumstümpfe oder sonstige Geländeerhöhungen, welche schnell ausapern (WASEM 2005). Auf solchen Kleinstandorten konnten, beim Vergleich zwischen subalpiner und montaner Stufe, höhere Fichtenverjüngungszahlen vorgefunden werden (KUPFERSCHMID und BUGMANN 2005), wobei in dieser Diplomarbeit nicht zusätzlich auf deren Unterschiede zwischen der Höhenstufe eingegangen wurde. Aufgrund der drei unterschiedlichen Lokalitäten (Zentrum, Rand, Bestand) im Erhebungsdesign war anhand des Versuchsdesigns klar, dass je Lokalität bestimmte Kleinstandorte häufiger vorkommen werden als andere und deshalb eine Aussage hinsichtlich eines günstigeren Verjüngungsaufkommens nicht immer gesichert gemacht werden kann. So waren die Kleinstandorte „Freifläche“ und „Wurzelteller“ häufiger auf Windwurfflächen vorzufinden als im Bestand und die Kategorie „unter Schirm“ war im Bestand am meisten vertreten. Die Verjüngungspflänzchen von Fichte, Tanne und Lärche waren im Zentrum sehr oft auf Wurzeltellern vorzufinden. Es ist zu erkennen, dass die Lärche als Lichtbaumart Wurzelteller im Zentrum (100 %) und am Rand (80 %) stärker bevorzugt als die anderen Kleinstandorte. Vergleiche zwischen den Kleinstandorten sind, wegen dieser Art der Klassifizierung in geringem Maße nur im Zentrum durchzuführen, weil dort die Kategorien „unter Schirm“ und „Moderholz“ so gut wie ausgeschlossen werden können und die Freifläche sowie die Wurzelteller dominieren. Werden im Zentrum alle Baumarten mit diesen zwei Kategorien verglichen, so ist eine Tendenz hin zum Aufkommen auf Wurzeltellern über sämtliche untersuchte Baumarten außer bei der Vogelbeere gegeben. Das Verjüngungsaufkommen auf bzw. auf von Wurzeltellern beeinflussten Standorten war auch im lichterem Randbereich der Sturmflächen häufiger vorzufinden. Im dichten Bestand konnten vereinzelt nur noch alte oder teils verrottete Wurzelstöcke vorgefunden werden. Der Kleinstandort „Wurzelteller“ konnte in KEIDEL et al. (2008) auf den Freiflächen nicht als eine Förderung für die Fichte- und Vogelbeerverjüngung nachgewiesen werden, wobei BAUER (2002) in ihrer Dissertation vom Gegenteil sprach. Auch PETZLBERGER (2017) sprach von einem schwach positiven Zusammenhang der Wurzelteller auf die Verjüngungszahlen auf Windwurfflächen. Es wurde nicht unterschieden, in welchem Bereich der Wurzelteller die Verjüngung aufkommt. Verjüngungspflanzen können sich entweder auf den Wurzeltellern, oder auf dem durch den beim Umfallen des Baumes

aufgerissenen Boden, ansiedeln (BAUER 2002). REICH et al. (2010) zeigte, dass die Wuchsbedingungen auf den umgekippten Wurzeltellern besser sind und dort mehr Verjüngung als in den Bodenvertiefungen, welche durch das Ausheben der Wurzelteller zustande kommen, ankommt. Darüber hinaus sind diese Erhöhungen noch einige Jahre nach dem Ereignis ein wichtiger Kleinstandort für den An- und Aufwuchs von Verjüngung. Im Vergleich zur „Normalfläche“ wuchs ein Großteil der Fichtenverjüngung auf Wurzelstöcken, Wurzeltellern und Moderholz. Auch die Tanne und die Vogelbeere kamen auf Wurzeltellern und Wurzelstöcken noch häufiger vor, wobei immer nur die Pflänzchen zwischen 20 und 300 cm herangezogen wurden (REICH et al. 2010).

Die Kategorie „Moderholz“ wurde als Kleinstandort für die Aufnahmen hinzugenommen, weil auf Windwurfflächen häufig auch Stämme liegen bleiben und diese in Zukunft für ein besseres Verjüngungsaufkommen sorgen könnten. Nicht geräumte Flächen mit viel Totholz waren für diese Aufnahmen nicht vorhanden und auch der nicht beschädigte Bestand war gepflegt und annähernd frei von Moderholz, wodurch die Anteile der Verjüngung, welche auf diesen Kleinstandorten wächst, sehr gering waren. Das Moderholz bietet der Verjüngung eine Reihe von Vorteilen. So apert Moderholz schneller aus, hat gegen die Bodenvegetation eine erhöhte Stellung und bietet günstigere Wasser- und Temperaturbedingungen. Auch in der unmittelbaren Nähe des Moderholzes können oft noch günstige Verjüngungsvoraussetzungen vorherrschen (BAUER 2002). Für die Fichtenverjüngung nimmt der Kleinstandort „Moderholz“ mit zunehmender Höhenlage (EICHRODT 1969) und zunehmender Zersetzungsdauer an Bedeutung zu (SCHÖNEBERGER et al. 2003). Dies würde bedeuten, dass in höheren Lagen vermehrt Naturverjüngung auch auf Totholz aufkommen würde und die Pflänzchen dort bei genügend Licht und Wärme gut wachsen würden. Gegensätzliche Aussagen tätigten WOHLGEMUTH und KRAMER (2015) sowie PETZLBERGER (2017). Erstere verdeutlichten, dass es nur geringe Unterschiede zwischen den Verjüngungsdichten zwischen Waldboden und Moderholz gab und die Pflänzchen auf Moderholz weniger gut in die Höhe wuchsen als am Boden. PETZLBERGER (2017) hält fest, dass Totholz beim Verjüngungsaufkommen keine entscheidende Rolle spielt.

Das Totholz wurde aufgrund der Borkenkäferthematik vollständig von den Flächen entfernt (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020b). Viele Studien weisen darauf hin, dass das Vorhandensein von Totholz Vorteile in der Verjüngungsentwicklung haben kann.

## 4.6 Einfluss der Lokalität bzw. Flächengröße auf die Naturverjüngung

Der Vergleich der Verjüngungsstammzahlen/ha zwischen der Flächengröße je Lokalität zeigte keine signifikanten Unterschiede. Im Zentrum der Windwurfflächen ist jedoch eine Tendenz hin zu mehr Naturverjüngung auf kleinen Flächen zu erkennen. Die Unterschiede innerhalb der Werte am Rand und im Bestand waren gering. Vermutlich ist der Effekt der Flächengröße im geschlossenen Bestand nicht mehr so groß als im Zentrum und am Rand, wo die Verjüngung den „neuen“ Standortsbedingungen unmittelbar nach einem Sturmereignis ausgesetzt ist. Vor allem die unmittelbar nebeneinander liegenden Flächen auf der Windwurffläche (Zentrum und Rand), welche noch von der Sturmfläche beeinflusst werden, wiesen große Differenzen in den Verjüngungszahlen auf. Daraus lässt sich schließen, dass am Rand günstigere Wuchsbedingungen als im Zentrum vorherrschen, mit denen viele unterschiedliche Baumarten gut zurechtkommen können. Die örtlichen Standortsbedingungen sind verantwortlich dafür, ob Naturverjüngung aufwachsen kann oder nicht (LÄSSIG et al. 1995). Signifikante Unterschiede in den Verjüngungsstammzahlen/ha konnten nur zwischen dem Zentrum und dem Rand bei großer Flächengröße vorgefunden werden.

BRANG et al. (2017) dokumentierte Verjüngungsunterschiede zwischen den drei Lokalitäten Zentrum, Rand und Bestand anhand der Deckungsgrade, was aber nicht zwingend ein Indiz für höhere Stammzahlen sein muss. So konnten in der Schweiz in Verbindung großer Verjüngungslücken auf Bestandesflächen höhere Deckungsgrade der Naturverjüngung vorgefunden werden als am Rand. Die Pflanzenzahlen von Fichten waren am Rand in größerer Anzahl vorzufinden als im Zentrum und im Bestand (BRANG et al. 2017), was sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit nicht vollständig deckt, weil die Anzahl der Fichtenbäumchen im Bestand höher war als am Rand. LÄSSIG et al. (1995) kamen zum Ergebnis, dass beim Vergleich Windwurffläche und Bestand die Fichtennaturverjüngung auf Flächen im Bestand besser wächst als auf der Schadfläche. Das ist auch im Vergleich mit dieser Arbeit der Fall, wobei das Aufkommen der Fichtennaturverjüngung am Rand und im Bestand ähnlich hoch ist. Das kann auf die gute Anpassungsfähigkeit, dem optimalen Standort und das große Vorhandensein von Samenbäumen (siehe Kapitel 3.3.9) zurückzuführen sein. Der Tannenanteil in der Verjüngung nahm zu je geschlossener das Kronendach wurde, was ihr als Schattbaumart sehr zugute kommen dürfte. Lichtbaumarten wie die Lärche und die Vogelbeere kamen unter Schirm nur mehr sehr vereinzelt vor bzw. verschwanden vollkommen, was auf das Fehlen von günstigen Kleinstandorten oder der geringeren Anzahl an Samenbäumen zurückzuführen sein kann. In der Verjüngung kam die Vogelbeere über alle Lokalitäten im

Durchschnitt als dritthäufigste Baumart vor. Mit  $8.931 \pm 8.386$  N/ha kam sie auf den Windwurfflächen nach der Fichte am häufigsten vor. In LÄSSIG et al. (1995) war die Vogelbeere auch die zweithäufigste Baumart, welche sich nach einer Störung durch Windwürfen mit Flächengrößen bis zu 3 ha am häufigsten ansiedelte. Diese Baumart ist bei einer Wiederbewaldung wichtig, weil sich so die Verjüngung der zukünftig bestandesbildenden Baumarten darunter gut entwickeln kann. Die Verjüngungszahlen der Vogelbeere schwankten zwischen den Lokalitäten. So konnten auf der Freifläche höhere Werte vorgefunden werden als im angrenzenden, nicht geschädigten Bestand (KEIDEL et al. 2008).

PETZLBERGER (2017) konnte auf Flächen  $> 1$  ha signifikant mehr Naturverjüngung beobachten als auf Flächen  $< 0,5$  bzw. zwischen  $0,5 - 1$  ha. Laut BRANG et al. (2017) gingen die Verjüngungszahlen pro Hektar mit einer größeren Lückenbreite (50 - 70 m) zurück. Im Vergleich dazu sind die Verjüngungszahlen in der vorliegenden Arbeit auf kleinen Flächen am höchsten und über alle Flächengrößen sehr unterschiedlich verteilt. HIRSIGER et al. (2013) erkannten, dass die Verjüngungszahlen in Öffnungen ( $\varnothing$  55 m lang, 16 m breit) höher sind als unter dem Bestandesschirm und sich die Verjüngungszahlen in den Schlitten von Fläche zu Fläche teilweise stark unterscheiden. Letzteres konnte auch in dieser Arbeit bestätigt werden. Im Vergleich zu der vorliegenden Diplomarbeit ist zu beachten, dass sich die Flächengrößen von BRANG et al. (2017) und von HIRSIGER et al. (2013) unterscheiden und Vergleiche auf kleinere Flächeneinheiten angestellt wurden. MOSER (2017) wiederum zeigte auf, dass die Nutzungsgröße den Verjüngungserfolg nicht signifikant beeinflusst. Die Verjüngungszahlen wurden auch durch die Exposition der Lücken beeinflusst (BRANG et al. 2017). Je nach Exposition konnte auf in Richtung Norden exponierten Hängen bei breiter werdender Lückengröße ( $> 70$  m) mehr Fichtenverjüngung vorgefunden werden (BRANG et al. 2017), wobei auf die Bedeutung der Exposition in dieser Arbeit nicht näher eingegangen wurde.

Hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung wuchsen auf den Flächen im Zentrum und am Rand der Windwurfflächen hauptsächlich Fichten und Vogelbeeren mit vereinzelt Tannen, Lärchen und Weiden. Im Bestand wurde nur die Fichte, die Tanne und die Vogelbeere beobachtet. Eine ähnliche Ausgangssituation zeigten mehrjährige Untersuchungen auf Windwurfflächen durch NOACK (2019) in der Schweiz. Mit zunehmender Zeit siedelten sich mehr Baumarten auf den Flächen an als noch zu Beginn. So waren anfangs nur Fichten, Vogelbeeren und wenige Weiden anzutreffen. Nach 8 Jahren kamen der Bergahorn, die Birke, die Grauerle und die Weißerle dazu, wobei zu Beginn die Fichte und die Vogelbeere am häufigsten vorkamen. Die Tanne konnte sich nur durch eine künstliche Verjüngung etablieren (NOACK 2019).

## 4.7 Schlagrücklass

Die Vaia-Windwurfflächen wurden alle vollständig geräumt, sodass auf den Flächen neben den Wurzeltellern nur mehr der Schlagabraum zurückblieb. Auf den Erhebungsflächen im Zentrum und am Rand wurde der Anteil des Schlagrücklasses angeschätzt, um Analysen hinsichtlich des Verjüngungsaufkommen durchführen zu können. Am Rand der Flächen war dies deshalb noch der Fall, weil die Bäume am Rand sehr unregelmäßig vom Sturm geworfen wurden und der Bestand dort deshalb aufgelichtet und der Boden noch mit Schlagrücklass bedeckt war. Das Vorhandensein von mehr oder weniger starkem Schlagrücklass durch Räumung oder Nichträumung beeinflusst das Verjüngungsaufkommen auf unterschiedliche Weise (WOHLGEMUTH und KRAMER 2015).

Bei der Fichte und der Vogelbeere wirken sich Reisigflächen auf der Freifläche und im Bestand verjüngungsfördernd aus. Im Bestand ist dieser Effekt stärker als auf der Freifläche (KEIDEL et al. 2008).

Publikationen, welche sich mit dem Einfluss des Schlagrücklasses auf das Aufkommen der Naturverjüngung beschäftigen, wurden wenige gefunden. Vielmehr beschäftigen sich die gefundenen wissenschaftlichen Arbeiten, welche zum großen Teil nach den Sturmereignissen Vivian und Lothar durchgeführt wurden, wie sich die Naturverjüngung auf belassenen und geräumten Windwurfflächen verhält. Auch dort spielten hauptsächlich die Fichte und die Vogelbeere eine bedeutende Rolle und es gab sowohl auf geräumten als auch auf belassenen Flächen Unterschiede hinsichtlich der Baumartenmischung und der jeweiligen Verjüngungstammzahlen. Geräumte Flächen, auf denen der Anteil des Schlagrücklasses geringer war als auf belassenen Flächen, wiesen jeweils höhere Verjüngungswerte auf (NOACK 2019). In dieser Arbeit konnte dies auf den Flächen im Zentrum nicht durchgehend bestätigt werden, signifikante Unterschiede konnten aber zwischen den Kategorien „kein“ und „< 30 %“ bzw. „kein“ und „> 30 %“ Schlagrücklass festgestellt werden.

Die weitere Entwicklung auf Flächen vorangegangener Sturmereignisse wurde in einigen Publikationen dokumentiert und kann als Anhaltspunkt für die Entwicklung der Naturverjüngung auf den Vaia-Flächen dienen.

10 bzw. 20 Jahre nach dem Sturmereignis Vivian bzw. Lothar konnten auf den geräumten Windwurfflächen signifikant mehr Verjüngungspflänzchen erhoben werden als auf Flächen, wo der Schlagabraum belassenen wurde. Die größten Unterschiede waren in Verbindung mit Fichtenbeständen zu erkennen (BRANG und WOHLGEMUTH 2013), welche auch im Untersuchungsgebiet vorwiegend stocken. Über nicht signifikante Unterschiede in den Verjüngungszahlen auf belassenen und geräumten Flächen berichteten WOHLGEMUTH

und KRAMER (2015), wobei geräumte Flächen eher dichtere Verjüngung aufwiesen. Im Unterschied zu dieser Arbeit analysierten die obigen Arbeiten ausschließlich geräumte bzw. belassene Windwurfflächen.

Der zurückgebliebene Anteil an Schlagrücklass ist je nach Holzernteverfahren unterschiedlich groß. So bringt das Räumen von Windwurfflächen für die Verjüngungsentwicklung gleich zwei Vorteile: Durch das Entfernen der Bäume wird der Boden aufgerissen, wodurch günstige Keimstandorte entstehen (WOHLGEMUTH und KRAMER 2015) und zusätzlich kann durch den geringeren Anteil an Schlagrücklass mehr Naturverjüngung aufkommen, was mehrere Studien beweisen.

## 4.8 Bodenvegetation

Neben dem Schlagrücklass, kann auch die Bodenvegetation den Boden unterschiedlich stark bedecken und das An- und Aufkommen von Verjüngung fördern oder hemmen. Dieser Parameter hatte auf sämtlichen Lokalitäten aber keinen signifikanten Einfluss auf die Stammzahlen der Verjüngung, was sich anhand der Ergebnisse erahnen lässt.

BRANG et al. (2017) schrieben in ihrer Studie, dass Bodenvegetation, welche als Konkurrenz zur Verjüngung eingestuft ist, eine hemmende Wirkung auf die Verjüngung hat, wobei keine bestimmten Werte, ab wann Bodenvegetation als Konkurrenz zur Naturverjüngung gilt, angegeben wurden. Bei keiner Konkurrenz zur Naturverjüngung kann die Bodenvegetation als verjüngungsfördernd angesehen werden (BRANG et al. 2017).

Fichtensamen, welche bei der Ansamung durch die Konkurrenz dichter Bodenvegetation gehemmt werden, haben geringe Chancen, dass sie keimen oder überleben (BRANG und RODUNER 2005) und die Wahrscheinlichkeit dazu nimmt mit zunehmender Entwicklungsdauer der Vegetation immer weiter ab (REICH et al. 2010). Wie sich die Naturverjüngung in Verbindung mit der Bodenvegetation in weiterer Folge entwickelt, wurde in mehreren Studien beschrieben. Auf Bäumchen, die die An- und Aufwuchsphase überstehen, nimmt der hemmende Einfluss der Bodenvegetation mit fortschreitender Entwicklungszeit ab, weil die Verjüngungspflanze dann der Vegetation entwachsen ist. Vor allem das Wollige Reitgras, die Wald-Hainsimse sowie die Heidelbeere und Moospolster (wurde auch alles auf den Erhebungsflächen dieser Studie vorgefunden) wirken sich negativ auf die Verjüngungsentwicklung aus (BRANG und RODUNER 2005). Auf Windwurf-Schadflächen in der Schweiz breitet sich die Vegetation sehr stark aus, wobei sich vor allem die Anteile der Heidelbeere und der Himbeere stark erhöhten (REICH et al. 2010). Diese Vegetationsarten verhindern zum größten Teil, dass die Samen unter die Vegetationsdecke auf den Boden gelangen können. Die Lückengröße und die Bearbeitung der Bodenoberfläche spielen bei der Fichtenansamung eine wichtige Rolle, um sich gegen die

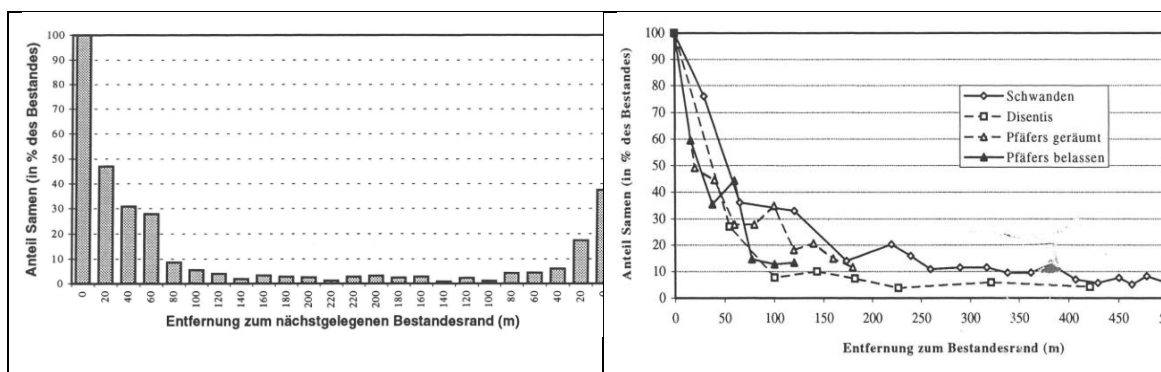
Bodenvegetation durchsetzen zu können (BRANG und RODUNER 2005) und müssen über mehrere Jahre weitergeführt werden (WSL o. D.). Die Verjüngung kann sich auf einem offenen Boden, welcher auch durch Bodenbearbeitung entstehen kann, besser ansamen (BRANG et al. 2017). Es sind jedoch lange Verjüngungszeiträume von auch über 50 Jahren einzukalkulieren (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010). Die Flächen sollten bei der Holznutzung deshalb nicht großflächig genutzt werden, weil dadurch die Vergrasung und Verkrautung gefördert wird (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010), was aber bei einem natürlichen Windwurfereignis wie jenem durch Vaia, nicht angeschafft werden kann.

## 4.9 Samenbäume

Durch die oft großen Windwurfflächen entstand die Frage, ob nahestehende Samenbäume einen Einfluss auf das Verjüngungsaufkommen haben, wobei als Vergleich auch die Erhebungsflächen am Rand und im Bestand analysiert wurden. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Verjüngungszahlen ermittelt werden, obwohl es vor allem zwischen den Flächen im Zentrum und dem Rand bzw. dem Bestand große Unterschiede beim Vorhandensein von Samenbäumen gab, was auch GÄUMANN (2019) anspricht. Im Zentrum, beim Vergleich kleiner und mittel/großer Flächen, konnte aber mit 19.566 +- 38.211 N/ha verglichen mit 4.244 +- 1.501 N/ha deutlich mehr Fichtenverjüngung aufgenommen werden. Ein möglicher Grund dafür kann die geringere Anzahl an Samenbäumen im Zentrum von vor allem größeren Windwurfflächen sein, wodurch möglicherweise eine geringere Samenmenge auf die Flächen gelangen kann. BRANG und WOHLGEMUTH (2013) haben Unterschiede in den Verjüngungsdichten bei größer werdender Distanz zum Bestandesrand festgestellt, jedoch waren diese vom Waldtyp abhängig. So konnte bei Beständen mit Fichten bzw. Tannen wegen des möglicherweise geringen Samengewichtes kein Zusammenhang ermittelt werden, weil diese Samen vielleicht noch größere Distanzen als 80 m zurücklegen können. LÄSSIG et al. (1995) haben jedoch aufgezeigt, dass die Keimfähigkeit nicht mit der Distanz zum Rand zusammenhängt. Im Gegensatz dazu beschreibt wiederum GÄUMANN (2019) in seiner Studie, dass mit zunehmender Distanz zu einem Samenbaum die Keimlingsanzahl im Waldbestand für jede Baumart abnimmt.

In dieser Masterarbeit wurde davon ausgegangen, dass Samen nur bis zu einer bestimmten Distanz verfrachtet werden und sich Verjüngung innerhalb dieses Radiuses stärker einstellt. Deshalb wurde auf den Windwurfflächen eine Distanz von 60 m ausgewählt, innerhalb der alle Samenbäume aufgenommen wurden. In der Literatur gibt es keine spezifische Distanz, ab welcher der Sameneintrag wegen fehlender Samenbäume abnimmt. In viele Studien

wurden Distanzen zwischen 50 und bis zu 120 m analysiert ((KEIDEL et al. 2008), (BRANG und WOHLGEMUTH 2013), (LÄSSIG et al. 1995)). Die Ansamung kann auf großen Windwurfflächen durch fehlende Samenbäume stark verzögert sein (WOLGEMUTH et al. 2002). Verschieden Faktoren wie Wind und geeignete Verjüngungsstandorte spielen dabei auch eine entscheidende Rolle. Die Hangneigung und die Exposition sowie die Windstärke sind bei der Samenausbreitung auf Windwurfflächen entscheidende Faktoren (LÄSSIG et al. 1995). Das gesamte Verjüngungsaufkommen darf aber nicht nur auf Sameneinträge zurückgeführt werden, weil Samen verschiedenster Baumarten teilweise auch über lange Zeit im Boden überdauern und erst nach einer Bestandesöffnung keimen und so in den Anfangsjahren eine große Baumartenvielfalt vorkommen kann.



**Abbildung 25: Anteil der Fichtensamen mit zunehmender Distanz zum Bestandesrand; Abbildung links: (links Bergseite, rechts Talseite) vertikal im Hang; Abbildung rechts; horizontal im Hang (LÄSSIG et al. 1995)**

Im Kapitel 3.3.5 ist anhand der mittleren Stammzahlen zu erkennen, dass am Rand und im Bestand mehr Verjüngung aufkommt als im Zentrum, was durch einen erhöhten Sameneintrag durch nahestehende Samenbäume möglich ist. In den geschlossenen Beständen ist die Anzahl der Samenbäume höher, jedoch kommt die Verjüngung dort wegen der geringen Lichtverhältnisse schwer auf und wird erst bei einer Kronenöffnung stärker gefördert (OTT et al. 1991).

Abbildung 25 zeigt, dass die Samenhäufigkeit am Rand von Windwurfflächen höher ist und Richtung Zentrum immer weiter abnimmt.

Wie schnell und wie viel Naturverjüngung auf Flächen ankommt, hängt auch von der Samenproduktion der Bäume ab. Mastjahre sind für die Entwicklung von Naturverjüngung wichtig, weil dadurch eine starke Erhöhung der Samen stattfindet. Laut AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL (2019) konnten Fichten- und Lärchensämlinge bereits im ersten Jahr nach dem Sturmereignis auf günstigen Stellen beobachtet werden. Dieses schnelle Aufkommen kann auf das gute Samenjahr im selben Jahr des Ereignisses 2018



zurückgeführt werden, da die Samenproduktion der Fichte und Lärche dort sehr hoch war und ein Mangel an Samen auf den Windwurfflächen deswegen nicht zu erwarten ist (AUTONOME PROVINZ BOZEN 2020a). Das kann in den Folgejahren eine große Hilfe beim Verjüngungsaufkommen auf vor allem großen Windwurfflächen sein, wo Samenbäume fehlen. Im darauffolgenden Frühjahr herrschten auch günstige Keimbedingungen vor, sodass sich die Keimlinge gut entwickeln konnten (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2019). Ein hoher Prozentsatz der Bäume, welche durch ein Sturmereignis in kurzer Zeit freigestellt werden, können im nachfolgenden Jahr erneut eine große Menge an Samen produzieren, was auf das Sturmereignis zurückzuführen sein kann. Solche Bäume sind im Anschluss aber stärker gegen einen Borkenkäferbefall gefährdet (LÄSSIG et al. 1995).

Samenbäume sind auf großen Windwurfflächen ein wichtiger Bestandteil, damit Verjüngung aufkommen kann (SCHWITTER et al. 2015) und deshalb sollen die noch verblieben Samenbäume vor allem auf den großen Windwurfflächen geschützt werden (SCHÖNEBERGER et al. 2003).

Die Vogelbeere wurde im Kapitel „Samenbaum“ nicht behandelt, weil kein verbliebener Vogelbeerbaum in die Erhebungen fiel. Dadurch, dass die Vogelbeere nicht durch den Wind, sondern zoochor verbreitet wird, ist das Vorhandensein von Vogelbeer-Samenbäumen in der Nähe verjüngungsgerechter Standorte von nicht zwingender Bedeutung (KEIDEL et al. 2008).

Auf großen Windwurfflächen kommen häufig Samen von Laubhölzern wie Birke, Weide und auch Pappel vor. Diese haben ein geringes Gewicht und können über große Distanzen transportiert werden (LÄSSIG und SCHÖNEBERGER 1997).

Auch die Kiefer wurde in diesem Kapitel nicht weiters behandelt, weil erstens nur auf vereinzelt Flächen Kiefersamenbäume vorgefunden wurden und zweitens die Kiefernverjüngung in den Erhebungen keine Rolle spielte. Der Grund für die fehlende Kiefernverjüngung könnten fehlende Samen, die Bodenvegetation oder ungenügend offene Stellen im Boden sein (REICH et al. 2010).

## **4.10 Wildeinfluss**

Der Einfluss des Wildes auf die Naturverjüngung wurde in dieser Arbeit nicht weiters analysiert, weil nur eine geringe Anzahl an Pflänzchen vom Wild verbissen wurde. Vor allem das Reh- und Rotwild findet im Erhebungsgebiet einen geeigneten Lebensraum vor. Deren Vorkommen verstärkte sich in den letzten Jahren deutlich, was auch durch die steigenden, bewilligten Abschüsse zu erkennen ist.

Wildwiederkäuer besiedeln am liebsten Gebiete, wo ein ausreichendes Nahrungsangebot vorliegt und die Gebiete auch unabhängig davon besiedelt werden können (nahrungsunabhängiger Besiedlungsreiz). Kahlflächen kleiner als 2 ha sind wegen der Überschaubarkeit besonders beliebt, da Deckungsmöglichkeiten am Rand schnell zu erreichen sind. Auch steigt die Dichte des Rehwilds beim Vorhandensein von Bestandesrändern, welche bei Windwurfflächen häufiger auftreten. Das Rotwild hingegen ist vor allem bei stärkerem menschlichen Störungsdruck vermehrt in Gebieten mit Dickungen und Stangenholz anzutreffen (REIMOSER und GOSSOW 1996).

Um auch eine Verteilung der Schalenwildarten auf den unterschiedlichen Lokalitäten und Flächencharakteristiken aufzeigen zu können, wurden die Losungshaufen erhoben. Andere Analysen, ob möglicherweise mehr Verjüngung auf Flächen verbissen wurde auf denen häufiger Losung vorgefunden wurde, wurden nicht durchgeführt.

Der Verbiss wurde auf Einzelpflanzenniveau erhoben, um einerseits genauere Werte und andererseits auch einen Überblick über die verbissenen Baumarten erhalten zu können. Um den Verbiss ursachenadäquat zuordnen zu können und damit Verbissspuren durch Hasen/Nager nicht dem Schalenwild zugerechnet wurden, wurde hinsichtlich der Verursacher Hasen/Nager und Wiederkäuer differenziert.

Für die Untersuchung auf Verbiss wurden nur die 6 höchsten Pflänzchen pro Baumart und Satellitenfläche herangezogen. Ein wichtiger Grund, warum nur die höchsten Pflänzchen verwendet werden ist, dass die Wahrscheinlichkeit, dass diese in das Kronendach hineinwachsen, am größten ist. Auch wird dadurch bei der Erhebung erheblich Zeit gespart (NOPP-MAYR et al. 2020) und außerdem werden die höchsten Bäumchen häufiger verbissen (KUPFERSCHMID et al. 2015).

Ein möglicher Grund, wieso bei diesen Erhebungen nur geringe Verbissschäden an den Pflänzchen auftraten könnte sein, weil Bäumchen vorwiegend erst zwischen 10 und 130 cm abgeäst werden (KUPFERSCHMID et al. 2015), der Großteil der Pflänzchen knapp 2 Jahre nach dem Sturm aber noch sehr klein war. Auch steht auf den Windwurfflächen genug alternative Äsung zur Verjüngung und möglicherweise sind die Deckungsmöglichkeiten für das Wild auf den WWF noch zu gering.

Der Wildverbiss ist häufig für ein verzögertes Aufkommen der Naturverjüngung verantwortlich. Schalenwildverbiss kann das günstigere Aufkommen der Verjüngung unter Schirm im Unterschied zur Freifläche beeinträchtigen (LÄSSIG et al. 1995). Es können quantitative Verluste sowie auch Entmischungen der Baumarten auftreten, was die zukünftigen Bestände verändern kann ((HEUTE und BIEKER 2021), (KUPFERSCHMID et al. 2015)). Im Rorwald beispielsweise zeigten Untersuchungen, dass es zwar zu einer gewissen Baumartenentmischung auf größeren Sturmflächen und auch im Waldbestand durch den Wildverbiss kam, ein ausreichender Aufwuchs von Naturverjüngung aber wegen

der guten Lichtverhältnisse und dem schnellen Wuchs der Bäume (ausgenommen der Tanne), trotzdem gegeben war. Örtlich spielen mehrere Faktoren mit hinein, welche Bäume wie stark verbissen werden (KUPFERSCHMID et al. 2015). Die Tanne ist im Vergleich zur Vogelbeere verstärkt zu schützen, weil sie über lange Zeit gemächlich unter Schirm aufwachsen kann und so immer wieder zurückgebissen wird (REICH et al. 2010). Sie ist sensibler und kann im schlechtesten Fall bereits nach kurzer Zeit ausfallen (RÜEGG und SCHWITTER 2002), (BURSCHEL 1977)). Durch den Verbiss fällt die Tanne in den Beständen aus und es bilden sich reine, eher sturmgefährdete Fichtenwälder (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010). Bäume, welche nur einmal verbissen wurden, können dies häufig ausgleichen, wenn sie unter geringem Stress wie Konkurrenz, Licht-Wasser-Nährstoff-Defizite oder Überfluss wie z. B. auf Windwurfflächen, stehen (KUPFERSCHMID et al. 2015). Bei günstigen Lichtverhältnissen können sich Fichten und Tannen von einem schwachen Verbiss erholen und werden im Höhenwachstum kaum eingebremst (SENN und HÄSLER 2005).

Auch durch die Waldbewirtschaftung kann Verbissschäden entgegengewirkt werden. So wird der Bestand durch eine naturnahe Bewirtschaftung (Schlitzhiebe oder gruppenweise Entnahme in Kombination mit Naturverjüngung) stabiler als bei Kahlschlägen, weil dadurch Verbissschäden reduziert und auch der Aufwand für Schutzmaßnahmen geringer werden (REIMOSER und GOSSOW 1996).

Erst durch umfangreiche Verbissschutzmaßnahmen kann die Pflanze besser geschützt werden, weil Vogelbeeren und Tannen stark verbissen werden. Pflanzungen verhelfen der Verjüngung auf den Flächen einen Wuchsvorsprung, der aber darüber hinaus wieder durch verstärkten Verbiss aufgehalten wird (LÄSSIG et al. 1995).

Eine weitere Möglichkeit den Verbiss in Grenzen zu halten ist die Jagd. Durch die Planung und Ausübung verschiedener Jagdstrategien (Schwerpunkt und Intervallbejagung, Ruhezone) in bestimmten Gebieten kann das Wild gelenkt und reguliert werden. RÜEGG et al. (2010) berichteten, dass durch einen erhöhten Rehwildabschuss in der Zeit nach Sturm Lothar, sichtbare Ergebnisse eines geringeren Wildverbisses an den Verjüngungspflänzchen sowohl in den Waldbeständen als auch auf den Windwurfflächen, eintraten. Unter einer angepassten Regulierung des Wildbestandes könnte sich bereits in kleinen Lücken Tannenverjüngung einstellen, vorausgesetzt es ist auch eine bestimmte Anzahl an Samenbäumen vorhanden. Ist die Tannenverjüngung erstmals gesichert, so kann anschließend mit der Förderung der Fichtenverjüngung begonnen werden (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2010).

Auch durch das Anlegen von Wildwiesen kann das Wild bei guter Bewirtschaftung gelenkt und der Verbiss auf angrenzende Gebiete reduziert werden, weil das Wild auf diesen ausgewählten Flächen genügend Äsung vorfindet (RÜEGG et al. 2010). Diese Flächen

sollen freigehalten, zugänglich gemacht, über Reviereinrichtungen verfügen und in die Jagdstrategie integriert werden. Die Jagdstrategien sollten gut zwischen den Sturmflächen, den Wildwiesen und dem Waldbestand abgestimmt sein. Um Erfolge beim Abschuss und gegen den Verbiss erzielen zu können müssen die Jagdberechtigten mit den Strategien vertraut werden und diese auch umsetzen (RÜEGG et al. 2010).

## 5. Schlussfolgerung

In dieser Diplomarbeit wurde die Naturverjüngung auf ausgewählten Vaia-Windwurfflächen in Südtirol erfasst, der Einfluss des Wildes darauf erhoben und mit den Rand- und angrenzenden, unbeschädigten Bestandesflächen verglichen. Bestandes- und Standortparameter wurden jeweils innerhalb eines definierten Radius aufgenommen. Die Verjüngung wurde mittels einer Satellitenaufnahme und unterschiedlicher Erhebungskriterien innerhalb dieser Radien erhoben.

Die Ergebnisse zeigten, dass unterschiedlich dichte Bestände am Rand oder im Bestand keine signifikanten Unterschiede auf die Verjüngungszahlen/ha hatten. Beim Vergleich der mittleren Verjüngungszahlen/ha zwischen den Lokalitäten „Zentrum“ und „Rand“ konnten sowohl auf hochmontaner als auch auf tiefsubalpiner Ebene signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Fichte und die Vogelbeere waren im Durchschnitt am höchsten, wobei die Vogelbeere als Pionierbaumart vor allem im Zentrum über mehrere Höhenklassen gut vertreten war. Zwischen den Lokalitäten konnten aber teilweise große Unterschiede in der Höhenentwicklung beobachtet werden. Die Tanne, welche als Schattbaumart unter Schirm am besten zurechtkommt, kam am Rand und im Bestand am besten auf. Die Erhebungsflächen befanden sich im Fichtenoptimum, wodurch die Fichte auch überall dominierte und auch in Zukunft bestandesbildend sein wird. Die Bodenvegetation, die Samenbäume und auch die Bestandesdichte können das Verjüngungsaufkommen beeinträchtigen, jedoch konnten in dieser Arbeit dazu keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Der relative Verjüngungsanteil der Lärche war unabhängig von den Samenbäumen im Zentrum der Windwurfflächen am größten, die Tanne wies beim Vorhandensein eines Samenbaumes im Bestand den höchsten Wert auf. Es waren nur 5 % der Verjüngungspflänzchen verbissen und es ist anhand der räumlichen Analyse der Losungshaufen eine Tendenz erkennbar, welche aber nicht signifikant war.

Der Erhebungsumfang wurde so ausgewählt, dass eine genügend große Datenmenge für eine solche Arbeit generiert werden konnte. Deshalb wurde nur eine bestimmte Anzahl an Stichprobenpunkte erhoben, welche sich somit nur auf ein eingegrenztes Gebiet konzentrierten.

Die Arbeit beschränkte sich auf ein ausgewähltes Erhebungsgebiet, weshalb ähnliche Erhebungen in anderen Landesteilen Südtirols interessant wären, um diese Ergebnisse vergleichen zu können. Durch die Verpflockung der Stichprobenpunkte sind Folgeerhebungen vorgesehen, wodurch die Entwicklung der Flächen beobachtet werden kann und dadurch neue Erkenntnisse gewonnen werden können. Eine eigene Forschungsarbeit über Maßnahmen zur Wildregulierung auf Windwurfflächen bei

unterschiedlicher Flächengröße und die Erstellung eines solchen Konzeptes unter Berücksichtigung der Waldbewirtschaftung wäre in Hinsicht der steigenden Wildzahlen und einer aber trotzdem gewünschten schnellen Wiederbewaldung auch spannend. Windwurfflächen, die dem Schutz darunterliegender Objekte oder des Standorts dienen, wurden künstlich aufgeforstet. Vergleiche zwischen der Entwicklung der Kunst- und Naturverjüngung auf den Windwurfflächen wären auch denkbar.

Die Naturverjüngung kam bereits knapp 2 Jahre nach dem Sturmereignis auf den dadurch geschädigten Flächen zahlreich vor und entwickelte sich gut. Der Wildeinfluss auf die Verjüngungspflänzchen war sehr gering, wird aber vermutlich – so wie es andere Untersuchungen zeigen - in den nächsten Jahren zunehmen und es müssen dahingehend spezifische Managementpläne für diese Gebiete ausgearbeitet werden. Trotz allem sollte der Fichtenanteil reduziert und die Bestände müssen regelmäßig gepflegt werden, damit sie resistenter werden und an Vitalität gewinnen. Nur so kann das Ausmaß von ähnlichen Sturmkatastrophen wie jenen durch Vaia in Zukunft verringert werden.

## 6. Literaturverzeichnis

AMT FÜR FORSTPLANUNG (2019): Nach dem Jahrhundertsturm. Hg. v. Südtiroler Bauernbund. Online verfügbar unter <https://www.sbb.it/home/news-detail/index/2019/09/13/nach-dem-jahrhundertsturm?highlight=jahrhundertsturm>, zuletzt geprüft am 05.06.2021.

AMT FÜR JAGD UND FISCHEREI (2009): Bericht über die Bewirtschaftung des Rotwildes im Jahr 2009. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/57589148-Amt-fuer-jagd-und-fischerei-autonome-provinz-bozen.html>, zuletzt geprüft am 13.04.2021.

AMT FÜR JAGD UND FISCHEREI (2021): Jagd in Südtirol. Online verfügbar unter <http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/fauna-jagd-fischerei/jagd/jagd-in-suedtirol.asp>, zuletzt geprüft am 10.04.2021.

AUTONOME PROVINZ BOZEN (2018): Leitlinien zur Windwurfaufarbeitung, Abteilung Forstwirtschaft. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/109837537-Autonome-provinz-bozen-abteilung-forstwirtschaft-leitlinien-zur-windwurfaufarbeitung.html>, zuletzt geprüft am 12.06.2021.

AUTONOME PROVINZ BOZEN (2019): Vaia 2018 V. Situationsbericht. Unwetter- und Windwurfereignisse 27.10. bis 30.10.2018 in Südtirol, Abteilung Forstwirtschaft. Online verfügbar unter [http://www.provinzia.bz.it/land-forstwirtschaft/forstdienstfoerster/pressemitteilungen.asp?aktuelles\\_action=300&aktuelles\\_image\\_id=1037193](http://www.provinzia.bz.it/land-forstwirtschaft/forstdienstfoerster/pressemitteilungen.asp?aktuelles_action=300&aktuelles_image_id=1037193), zuletzt geprüft am 10.11.2021.

AUTONOME PROVINZ BOZEN (2020a): Endbericht Vaia 2018. Unwetter- und Windwurfereignisse in Südtirol vom 27.10 bis 30.10.2018, Abteilung Forstwirtschaft. Online verfügbar unter [http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/forstdienstfoerster/downloads/DE\\_VAIA\\_Endbericht\\_12\\_2020.pdf](http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/forstdienstfoerster/downloads/DE_VAIA_Endbericht_12_2020.pdf), zuletzt geprüft am 09.10.2021.

AUTONOME PROVINZ BOZEN (2020b): VAIA 2018 - VII. Situationsbericht Vaia, Abteilung Forstwirtschaft.

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL (2010): Waldtypisierung Südtirol. Waldtypen, Wuchsgebiete, Bestimmungsschlüssel, Bozen.

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL (2018): Agrar- & Forstbericht 2018. Online verfügbar unter [https://www.provinz.bz.it/bildung-sprache/berufsbildung/downloads/512087\\_afbDE.pdf](https://www.provinz.bz.it/bildung-sprache/berufsbildung/downloads/512087_afbDE.pdf), zuletzt geprüft am 13.11.2021.

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL (2019): Agrar- & Forstbericht 2019. Online verfügbar unter [http://www.provinz.bz.it/bildung-sprache/berufsbildung/downloads/Agrar-Forstbericht\\_2019\\_WEB.pdf](http://www.provinz.bz.it/bildung-sprache/berufsbildung/downloads/Agrar-Forstbericht_2019_WEB.pdf), zuletzt geprüft am 13.11.2021.

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL (2021a): Geoportal Südtirol, Südtiroler Informatik AG. Online verfügbar unter <http://geokatalog.buergernetz.bz.it/geokatalog/#!>, zuletzt geprüft am 09.10.21.

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL (2021b): Wald in Südtirol, Abteilung Forstwirtschaft. Online verfügbar unter <http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/waldholz-almen/wald-in-suedtirol.asp>, zuletzt geprüft am 06.04.2021.

BAUER, M. L. (2002): Walddynamik nach Borkenkäferbefall in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. Dissertation, Technische Universität, München.

BEVÖLKERUNGSSCHUTZ SÜDTIROL (2019): Sturmschäden nach Vaia: Die Hälfte ist aufgearbeitet. Online verfügbar unter [http://www.provinzia.bz.it/land-forstwirtschaft/forstdienst-foerster/pressemitteilungen.asp?aktuelles\\_action=4&aktuelles\\_article\\_id=628544#](http://www.provinzia.bz.it/land-forstwirtschaft/forstdienst-foerster/pressemitteilungen.asp?aktuelles_action=4&aktuelles_article_id=628544#), zuletzt geprüft am 07.06.2021.

BRANG, P. (1996): Ansamungsgunst und Verteilung der Direktstrahlung in schlitzförmigen Bestandesöffnungen zwischenalpiner Fichtenwälder. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 147 (10), S. 761–784.

BRANG, P.; NIKOLOVA, P.; GORDON, R.; ZÜRCHER, S. (2017): Auswirkungen grosser Verjüngungslücken im Gebirgswald auf Verjüngung und Holzzuwachs. Schlussbericht des Projektes Eingriffsstärke und Holzzuwachs im Gebirgswald, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Birmensdorf. DOI: 10.3929/ethz-b-000184480.

BRANG, P.; RODUNER, D. (2005): Vegetation konkurrenziert Fichtenansamung, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/waldverjuengung/vegetation-konkurrenziert-fichtenansamung>, zuletzt geprüft am 30.11.2021.

BRANG, P.; WOHLGEMUTH, T. (2013): Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen in der Schweiz. Schlussbericht des Projektes Wiederbewaldung Windwurfflächen 2008-2012, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Birmensdorf.

BROSINGER, F.; ÖSTREICHER, S. (2009): Die Fichte im Wandel. In: LWF Wissen 63, S. 11–15.



- BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU) (2010): Wald und Wild - Grundlagen für die Praxis. Wissenschaftliche und methodische Grundlagen zum integralen Management von Reh, Gämse, Rotwild und ihrem Lebensraum. Umwelt Wissen. Bern.
- BURSCHEL, P. (1977): Wald und Wild aus der Sicht des Waldbaus. Wald und Wild, Band 27. Bonn 1: Verlagsdruckereigesellschaft mbh.
- DODAN, M.; PERIĆ, S. (2019): Windthrow Resistance of Norway Spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) Forest Cultures - Preliminary Results. In: South-East European Forestry 10 (1), S. 77–88.
- EICHRODT, R. (1969): Ueber die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung im subalpinen Fichtenwald. Doktorarbeit, ETH, Zürich.
- EIDG. FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALD SCHNEE UND LANDSCHAFT (WSL) (o. D.): Die Bedeutung des Kleinstandortes. Online verfügbar unter <https://www.wsl.ch/de/wald/bewirtschaftung-und-waldfunktionen/waldbau-wachstum-und-ertrag/waldverjuengung/kleinstandort.html>, zuletzt geprüft am 08.11.2021.
- FEHR, M.; GASSER, N. Z.; SCHNEIDER, O.; BURGER, T.; KUPFERSCHMID, A. D. (2019): Gutachtliche Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung (Essay). In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 170 (3), S. 135–141.
- FISCHER, A.; FISCHER, H. (2010): Sturmwurf - und was dann? 25 Jahre Waldentwicklung mit und ohne forstlichen Eingriff. Hg. v. LWF aktuell 77.
- FREHNER, M. (2002): Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Kleinstandorte und der Pflanztechnik auf Fichtenpflanzungen in subalpinen Lawinenschutzwäldern. Dissertation, ETH, Zürich.
- GÄUMANN, S. (2019): Räumliche Zusammenhänge zwischen Keimlingen und Samenbäumen an drei Standorten im Raum Zürich.: Analyse zur Samenverbreitung und Mikrohabitat einheimischer Baumarten. Masterarbeit, ETH, Zürich.
- HEUTE, F.; BIEKER, D. (2021): Der Einfluss des Schalenwildes auf natürliche Wälder in Nordrhein-Westfalen. Hg. v. ÖKOJAGD 2.
- HIRSIGER, E.; GMÜR, P.; WASEM, U.; WUNDER, J.; BRANG, P. (2013): 10 Jahre Erfolgskontrolle in schlitzförmigen Lücken. In: Wald und Holz 3, S. 29–32.
- HÖLLERL, S.; MOSANDL, R. (2009): Stabilisierung montaner Fichtenbestände–Nur rechtzeitig zu durchforsten und verjüngen führt zum Erfolg. In: LWF aktuell 68, S. 11–13.

- KALT, T.; NIKOLOVA, P.; GINZLER, C.; BEBI, P.; EDELKRAUT, K.; BRANG, P. (2021): Kurzes Zeitfenster für die Fichtennaturverjüngung in Gebirgsnadelwäldern. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 172 (3), S. 156–165.
- KEIDEL, S.; MEYER, P.; BARTSCH, N. (2008): Regeneration eines naturnahen Fichtenwaldökosystems im Harz nach großflächiger Störung. In: Forstarchiv 79, S. 187–196.
- KEMPTER, I. M. (2006): Beurteilung des Einflusses von Schalenwild und anderen Herbivoren auf die Verjüngungsdynamik im Bergwald - dargestellt am Beispiel Urwald Rothwald. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- KOHNLE, U.; YUE, C.; CULLMANN, D. (2011): Die Häufigkeit starker Stürme und ihre Auswirkungen auf die Wälder der Ural-Region. Hg. v. LWF Wissen 66.
- KRETSCHMER, J. (2004): Auswirkungen des ökologischen Waldumbaus auf Bestand und Verjüngung. Eine quantitative Strukturanalyse. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau.
- KUPFERSCHMID, A. D.; BUGMANN, H. (2005): Effect of microsites, logs and ungulate browsing on *Picea abies* regeneration in a mountain forest. In: Forest Ecology and Management 205, S. 251–265.
- KUPFERSCHMID, A. D.; HEIRI, C.; HUBER, M.; FEHR, M.; FREI, M.; GMÜR, P.; IMESCH, N.; ZINGGELER, J.; BRANG, P.; CLIVAZ, J.-C.; ODERMATT, O. (2015): Einfluss wildlebender Huftiere auf die Waldverjüngung: ein Überblick für die Schweiz. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 166, S. 420–431.
- LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2000): Naturnahe Waldwirtschaft, Thüringen Forst. Online verfügbar unter [https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt\\_derivate\\_00029005/Forst.pdf](https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00029005/Forst.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2022.
- LÄSSIG, R.; EGLI, S.; ODERMATT, O.; SCHÖNEBERGER, W.; STÖCKLI, B.; WOLGEMUTH, T. (1995): Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 146 (11), S. 893–911.
- LÄSSIG, R.; MOTSCHALOW, S. A. (2000): Waldforschung–Folgen von Windwürfen. In: Forum für Wissen, S. 37–45.
- LÄSSIG, R.; SCHÖNEBERGER, W. (1997): Was passiert, wenn man die Natur sich selber überläßt? Ergebnisse der Sukzessionsforschung auf Windwurfflächen. In: Laufener Seminarbeiträge (1), S. 67–74.

- LEDER, B. (2007): Empfehlungen für die Wiederbewaldung der Orkanflächen in NRW. Hg. v. LB Wald und Holz. NRW.
- LÜSCHER, F. (1989): Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. Doktorarbeit, ETH, Zürich.
- MARTENS, S.; EISENHAUER, D.-R. (2008): Sukzession auf Sturmschadflächen. In: AFZ-DerWald 22, S. 1190–1194.
- MOSER, M. (2017): Einflussfaktoren auf den Verjüngungserfolg im Bergwald des Inneren Salzkammergutes. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- NOACK, A. (2019): Entwicklung der Biodiversität bei der Wiederbewaldung von Sturmwurfllächen. Online verfügbar unter [https://www.hs-rottenburg.net/fileadmin/user\\_upload/Studiengaenge/Forstwirtschaft/Projektarbeiten/Kartierung/Biodiversitaetsentwicklung-2002.pdf](https://www.hs-rottenburg.net/fileadmin/user_upload/Studiengaenge/Forstwirtschaft/Projektarbeiten/Kartierung/Biodiversitaetsentwicklung-2002.pdf), zuletzt geprüft am 01.11.21.
- NOPP-MAYR, U.; REIMOSER, S.; REIMOSER, F.; SACHSER, F.; OBERMAIR, L.; GRATZER, G. (2020): Analyzing long-term impacts of ungulate herbivory on forest-recruitment dynamics at community and species level contrasting tree densities versus maximum heights. In: Scientific Reports 10.
- OBEREGGER, P. (2012): Die aktuelle Verbreitung der Tanne (*Abies alba* Mill.) und deren Verjüngungssituation im Eisacktal. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- ODENTHAL-KAHABKA, J. (2020): Wiederbewaldung von Sturmwurfllächen. Hg. v. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/waldverjuengung/wiederbewaldung-von-sturmwurfllaechen>, zuletzt geprüft am 04/02/2021.
- OTT, E.; LÜSCHER, F.; FREHNER, M. (1991): Verjüngungsökologie Besonderheiten im Gebirgsfichtenwald im Vergleich zur Bergwaldstufe. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 142 (11), 978-904.
- PETZLBERGER, J. (2017): Wiederbewaldung und Schutzerfüllung nach Windwurf auf Schutzwaldstandorten im Zederhaustal. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- QGIS Development Team (2020): QGIS. Version 3.10.7-A Coruña. Open Source.
- REICH, T.; LÄSSIG, R.; WOHLGEMUTH, T. (2010): Waldentwicklung nach Windwurf im Waldreservat Rorwald, Kanton Obwalden. Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- REIMOSER, F. (2019): Wildtierökologie im Schutz- und Dauerwald. Vorlesungsfolien, Universität für Bodenkultur. Wien.

REIMOSER, F.; GOSSOW, H. (1996): Impact of ungulates on forest vegetation and its dependence on the silvicultural system. In: Forest Ecology and Management 88 (1), S. 107–119.

REIMOSER, F.; REIMOSER, S. (2002): Richtiges Erkennen von Wildschäden am Wald, Zentralstelle Österreichischer Landesjagdverbände. Wien.

REIMOSER, F.; SCHODTERER, H.; REIMOSER, S. (2014): Erfassung und Beurteilung des Schalenwildeinflusses auf die Waldverjüngung – Vergleich verschiedener Methoden des Wildeinfluss-Monitorings ("WEM-Methodenvergleich"), BFW-Dokumentation.

RÜEGG, D.; HÄFNER, R.; THIEL, D. (2010): Wald, Wild und <Lothar>. In: Wald und Holz 3, S. 37–40.

RÜEGG, D.; SCHWITTER, R. (2002): Untersuchungen über die Entwicklung der Verjüngung und des Verbisses im Vivian-Sturmgebiet Pfäfers. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 153, 2002, S. 130–139.

SCHODTERER, H.; SCHADAUER, K. (1997): Verjüngung ist die Zukunft des Waldes. Online verfügbar unter <https://bfw.ac.at/inst7/publ/oefz12-97/schodterer.html>, zuletzt geprüft am 06.02.2021.

SCHÖNEBERGER, W.; ANGST, C.; BRÜNDL, M.; DUELLI, P.; EGLI, S.; FREY, W.; GERBER, W.; KUPFERSCHMID ALBISETTI, A.; LÜSCHER, P.; SENN, J.; WERMELINGER, B.; WOLGEMUTH, T. (2003): Vivians Erbe: Waldentwicklung nach Windwurf im Gebirge. Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt WSL. Merkblatt für die Praxis.

SCHWITTER, R.; SANDRI, A.; BEBI, P.; WOHLGEMUTH, T.; BRANG, P. (2015): Lehren aus Vivian für den Gebirgswald – im Hinblick auf den nächsten Sturm. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 166 (3), S. 159–167.

SENN, J.; HÄSLER, H. (2005): Wildverbiss: Auswirkungen und Beurteilung. In: Forum für Wissen, S. 17–25.

SINNER, E. (2020): Abschusszahlen und Jagdfläche im Jagdrevier Welschnofen, 06.04.2020. E-Mail an Simon Feichter.

STEINER, H.; OETTEL, J.; LANGMAIER, M.; LIPP, S.; FRANK, G. (2018): Anleitung zur Wiederholungsaufnahme in Naturwaldreservaten. BFW-Dokumentation 26.

STEYRER, G. (2011): Abiotische Schäden im Winter und Frühjahr. In: Forstschutz aktuell 53, S. 30–31.

SÜDTIROLER JAGDVERBAND (o. D.): Jagdstatistik - Südtiroler Jagdverband. Online verfügbar unter <https://jagdverband.it/jagdstatistik/>, zuletzt geprüft am 13.04.2021.

WASEM, U. (2005): Die Bedeutung des Kleinstandortes bei Aufforstungen im Gebirge. Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt WSL. Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/gebirgswald/die-bedeutung-des-kleinstandortes-bei-aufforstungen-im-gebirge>, zuletzt geprüft am 04.04.2022.

WOHLGEMUTH, T.; KRAMER, K. (2015): Waldverjüngung und Totholz in Sturmflächen 10 Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 166 (3), S. 135–146.

WOLGEMUTH, T.; KULL, P.; WÜTHRICH, H. (2002): Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL) 77.

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Baumartenverteilung in Südtirol (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021b) .....	1
Abbildung 2: Wuchsgebiete (braun, grün, blau) und Wuchszonen (Zahlen-Buchstabenkombination) Südtirols (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021a)	3
Abbildung 3: Abschussentwicklung des Rotwilds von 1953 bis 2007 (AMT FÜR JAGD UND FISCHEREI 2009) .....	4
Abbildung 4: Übersicht über das Projektgebiet mit den angrenzenden Katastralgemeinden (rote Linien), den Wuchszonen (Zahlen-Buchstaben-Kombination) und den Waldtypen (farbliche Einfärbung) (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL 2021a) .....	14
Abbildung 5: Das Untersuchungsgebiet mit den Polygonen der Windwurfflächen und den Erhebungsstandorten (rote Punkte) (QGIS Development Team 2020) .....	17
Abbildung 6: Das Polygon einer Windwurffläche (grün) mit den Erhebungspunkten im Zentrum, am Rand und im Bestand (jeweils rote Punkte) auf der Höhenschichtlinie (braune Linien) (QGIS Development Team 2020) .....	18
Abbildung 7: Erhebungsdesign und dazugehörige Radien bzw. Durchmesser für die Aufnahme der Standorts- (links, 30 m), Bestandes- (links, 9,78 m) und Verjüngungsparameter (rechts) .....	20
Abbildung 8: Erhebung der Naturverjüngung mit den vier Satellitenflächen und den dazugehörigen Radien (links) und die drei Höhenklassen für die Aufnahme pro Radius je Satellit.....	25
Abbildung 9: Übersicht über die Anzahl und Lage der Erhebungsflächen in den drei Höhenstufen (mittelmontan, hochmontan, tiefsubalpin).....	32
Abbildung 10: Übersicht über die Anzahl der Erhebungsflächen bei unterschiedlicher Exposition (n = 94).....	33
Abbildung 11: Störungseinflüsse aufgeteilt in drei Kategorien (Weg, Straße, sonstige Infrastruktur) mit der jeweiligen Flächenanzahl (n = 94).....	34
Abbildung 12: Baumartenanteile in Prozent auf Erhebungsflächen mit Baumbestand (n = 61) .....	35
Abbildung 13: Durchmesserverteilung (5 cm Klassen) der Baumarten mit den entsprechenden mittleren Baumstammzahlen/ha am Rand .....	37
Abbildung 14: Durchmesserverteilung (5 cm Klassen) der Baumarten mit den entsprechenden mittleren Baumstammzahlen/ha im Bestand.....	37
Abbildung 15: Übersicht über die mittleren Verjüngungszahlen/ha aufgeteilt auf vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha am Rand (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30) .....	38

Abbildung 16: Übersicht über die Verteilung der mittleren Verjüngungszahlen/ha auf die vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha im Bestand (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30) .....	39
Abbildung 17: Baumarten und deren mittlere Verjüngungszahlen/ha in den drei Höhenstufen im Zentrum von Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 34) .....	40
Abbildung 18: Baumarten und deren mittlere Verjüngungszahlen/ha in den drei Höhenstufen am Rand von Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30) .....	41
Abbildung 19: Baumarten und deren mittlere Verjüngungszahlen/ha in den drei Höhenstufen im Bestand von Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30) .....	43
Abbildung 20: Baumarten- und die mittlere Stammzahlenverteilung/ha der Verjüngung in den Höhenklassen im Zentrum der Windwurfflächen .....	45
Abbildung 21: Mittlere Verteilung der Verjüngungszahlen/ha je Baumart in den unterschiedlichen Höhenklassen am Rand (links) und im Bestand (rechts) .....	46
Abbildung 22: Übersicht über die Häufigkeit der Naturverjüngung bei unterschiedlichen Bodenvegetationsprozenten im Zentrum, am Rand und im Bestand (n = 94).....	55
Abbildung 23: Mittlere Verjüngungszahlen/ha bei unterschiedlichem Anteil an Schlagrücklass im Zentrum und am Rand (n = 64) .....	57
Abbildung 24: Relativer Baumartenanteil der Naturverjüngung in Abhängigkeit der Samenbaumart in Verbindung mit kleinen und mittleren/großen Flächen im Zentrum, am Rand und im Bestand .....	62
Abbildung 25: Anteil der Fichtensamen mit zunehmender Distanz zum Bestandesrand; Abbildung links: (links Bergseite, rechts Talseite) vertikal im Hang; Abbildung rechts; horizontal im Hang (LÄSSIG et al. 1995) .....	79

## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewilligtes und erlegtes Reh- und Rotwild zwischen 2016 und 2020 im Jagdrevier Welschnofen (Ewald 2020) .....	16
Tabelle 2: Bestandes- und Verjüngungsradien mit den dazugehörigen, repräsentierten Stammzahlen/ha .....	27
Tabelle 3: Steigungskoeffizienten $b_i$ der österreichischen Schaftholzformzahlfunktion von Pollanschütz (1974) .....	30
Tabelle 4: Kategorien der Hangneigungsprozente und die dazugehörige Flächenanzahl	33
Tabelle 5: Mittlere/r Grundfläche ( $m^2/ha$ ), Stammzahl ( $N/ha$ ) und Vorrat ( $Vfm/ha$ ) im Zentrum, am Rand und im angrenzenden Bestand von Windwurfflächen .....	36
Tabelle 6: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests nach der Überprüfung der Unterschiede zwischen den Verjüngungsstammzahlen/ha und den vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha am Rand .....	39
Tabelle 7: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests nach der Überprüfung der Unterschiede zwischen den Verjüngungsstammzahlen/ha und den vier Kategorien der Baumstammzahlen/ha im Bestand .....	40
Tabelle 8: Ergebnistabelle des Kruskal-Wallis-Tests beim Vergleich der mittleren Verjüngungsstammzahlen je Höhenstufe im Zentrum .....	41
Tabelle 9: Ausgabeergebnis des exakten Tests nach Fisher für den Hypothesentest der Verteilung der Verjüngungsstammzahlen/ha je Baumart auf die unterschiedlichen Höhenstufen im Zentrum .....	41
Tabelle 10: Ergebnistabelle des Kruskal-Wallis-Tests bei der Überprüfung der Stammzahlunterschiede/ha in der Verjüngung zwischen den Höhenstufen am Rand .....	42
Tabelle 11: Ergebnis des exakten Tests nach Fisher nach der Überprüfung der Häufigkeiten der Baumarten in den unterschiedlichen Höhenstufen am Rand .....	42
Tabelle 12: Ergebnistabelle des Kruskal-Wallis-Tests bei der Überprüfung der Stammzahlunterschiede/ha in der Verjüngung zwischen den Höhenstufen im Bestand .....	43
Tabelle 13: Ergebnis des exakten Tests nach Fisher nach der Überprüfung der Häufigkeiten der Baumarten in den unterschiedlichen Höhenstufen im Bestand .....	44
Tabelle 14: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests über die Häufigkeitsunterschiede zwischen den mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha und den Lokalitäten bei unterschiedlicher Höhenstufe .....	44
Tabelle 15: Überprüfung der Baumartenverteilung bei unterschiedlichen Höhenklassen mittels exaktem Test nach Fisher .....	45



Tabelle 16: Überprüfung der Baumartenverteilung am Rand bei unterschiedlichen Höhenklassen mittels exaktem Test nach Fisher .....	46
Tabelle 17: Überprüfung der Baumartenverteilung im Bestand bei unterschiedlicher Höhenklasse mittels exaktem Test nach Fisher .....	47
Tabelle 18: Übersicht über die mittleren Baumhöhen der unterschiedlichen Baumarten mit der Stabw. im Zentrum, am Rand und im Bestand.....	47
Tabelle 19: Kruskal-Wallis-Test der Pflanzenhöhen pro Baumart bei unterschiedlicher Lokalität .....	48
Tabelle 20: Naturverjüngung und deren kleinstandörtliches Aufkommen („unter Schirm“, „Freifläche“, „Moderholz“, „Wurzelteller“) in Prozent auf den unterschiedlichen Lokalitäten .....	49
Tabelle 21: Prozentuelle Anteile der Naturverjüngung des kleinstandörtlichen Verjüngungsaufkommens im Zentrum, am Rand und im Bestand, aufgeteilt auf die vier Verjüngungsstandorte.....	50
Tabelle 22: Untersuchung der beobachteten und erwarteten Häufigkeiten der Kleinstandorte je Lokalität mittels Chi <sup>2</sup> -Test .....	50
Tabelle 23: Mittlere Verjüngungsstammzahlen/ha bei Verjüngungsvorkommen im Zentrum, am Rand und im Bestand ohne Berücksichtigung der Flächengröße des Windwurfs (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 94).....	51
Tabelle 24: Ergebnis des exakten-Tests nach Fisher bei der Häufigkeitsüberprüfung der Baumartenanzahl der Verjüngung auf unterschiedlichen Lokalitäten .....	52
Tabelle 25: Bonferroni Korrektur nach einem signifikanten Ergebnis mittels des Kruskal-Wallis-Tests über die mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha bei unterschiedlicher Lokalität mit Verjüngungsvorkommen .....	52
Tabelle 26: Mittlere Stammzahlen/ha bei Verjüngungsvorkommen im Zentrum von Windwurfflächen bei unterschiedlicher Flächengröße (in Klammer die jeweilige Stichprobenanzahl bei n = 34) .....	53
Tabelle 27: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests bei Verjüngungsvorkommen zwischen den mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha bei unterschiedlicher Flächengröße im Zentrum der Windwurfflächen .....	53
Tabelle 28: Ergebnis des exakten-Tests nach Fisher bei der Häufigkeitsüberprüfung der Baumartenanzahl bei unterschiedlicher Flächengröße im Zentrum.....	53
Tabelle 29: Mittlere Stammzahlen/ha bei Verjüngungsvorkommen am Rand von Windwurfflächen bei unterschiedlicher Flächengröße (in Klammer die Stichprobenanzahl bei n = 30) .....	54
Tabelle 30: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests bei Verjüngungsvorkommen zwischen den mittleren Verjüngungsstammzahlen/ha bei unterschiedlicher Flächengröße am Rand.....	54

Tabelle 31: Ergebnis des exakten-Tests nach Fisher bei der Häufigkeitsüberprüfung der Baumartenanzahl bei unterschiedlicher Flächengröße am Rand .....	55
Tabelle 32: Ergebnis der Korrelation nach Spearman-Rho zwischen der Bodenvegetation in Prozent und der Häufigkeit von Naturverjüngung/ha je Lokalität .....	56
Tabelle 33: Übersicht der mittleren Verjüngungszahlen ( $\pm$ Stabw) bei unterschiedlichen Kategorien (kein, < 30% > 30%) von Schlagrücklass im Zentrum und am Rand in Verbindung mit kleinen, mittleren und großen Flächen (in Klammer die Stichprobenanzahl) .....	58
Tabelle 34: Ergebnis einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit der abhängigen Variable = Verjüngungsstammzahlen/ha und den Faktoren Flächengröße und Schlagrücklass im Zentrum .....	58
Tabelle 35: Post-hoc-Test nach Tukey-HSD der Haupteffekte Flächengröße und Schlagrücklass.....	59
Tabelle 36: Ergebnis einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse mit der abhängigen Variable Verjüngungsstammzahlen/ha und den Faktoren Flächengröße und Schlagrücklass am Rand.....	60
Tabelle 37: Prozentangabe der Flächen mit den jeweiligen Samenbaumarten Fichte, Tanne und Lärche im Zentrum, am Rand und im Bestand im Zusammenhang mit kleinen sowie mittel/großen Windwurfflächen (in Klammer die Stichprobenanzahl).....	61
Tabelle 38: Übersicht der durchschnittlichen Verjüngungsstammzahlen/ha ( $\pm$ Stabw.) je Baumart beim Vorhandensein einer baumartgleichen Samenbaumart (in Klammer die Stichprobenanzahl) .....	62
Tabelle 39: Kruskal-Wallis Test zur statistischen Untersuchung der Unterschiede in den Verjüngungsstammzahlen/ha beim Vorhandensein mindestens eines dazugehörigen Samenbaumes bei unterschiedlicher Flächengröße im Zentrum, am Rand und im Bestand .....	63
Tabelle 40: Relativer Flächenanteil in Prozent je Lokalität und Flächengröße beim Fund oder Nichtfund von Losungshaufen.....	64
Tabelle 41: Ergebnis des exakten Tests nach Fisher mittels der Kreuztabelle (Losungsfund*Flächengröße) bei unterschiedlicher Lokalität .....	65

# 9. Anhang

<b>Erhebungsblatt 1</b> <span style="background-color: yellow; padding: 2px;">r=30m</span>		Fotonummer:																																	
Transekt Nr..... Punkt Nr.....	Datum..... Blatt Nr .....																																		
Koordinaten	X:	Y:																																	
<b>Standort</b>																																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Seehöhe</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">.....hm</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Höhenstufe</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">.....</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Geländeform</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">konvex</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">konkav</td> <td colspan="3" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">intermediär</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Hangneigung</td> <td colspan="5" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">.....%</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Exposition</td> <td colspan="5" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">.....</td> </tr> </table>						Seehöhe	.....hm					Höhenstufe	.....					Geländeform	konvex	konkav	intermediär			Hangneigung	.....%					Exposition	.....				
Seehöhe	.....hm																																		
Höhenstufe	.....																																		
Geländeform	konvex	konkav	intermediär																																
Hangneigung	.....%																																		
Exposition	.....																																		
<b>BA-Zus</b>	Fichte	Tanne	Lärche	Kiefer	Laubholz																														
	...../10	...../10	...../10	...../10	...../10																														
<b>Störung</b>																																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Wege</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">gering</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">mittel</td> <td colspan="3" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">hoch</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Straßen</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">gering</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">mittel</td> <td colspan="3" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">hoch</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">sonstige. Infrastruktur</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">gering</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">mittel</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">hoch</td> <td colspan="2" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">welche?.....</td> </tr> </table>						Wege	gering	mittel	hoch			Straßen	gering	mittel	hoch			sonstige. Infrastruktur	gering	mittel	hoch	welche?.....													
Wege	gering	mittel	hoch																																
Straßen	gering	mittel	hoch																																
sonstige. Infrastruktur	gering	mittel	hoch	welche?.....																															
<b>Skizze:</b>																																			

Erhebungsblatt 2		r=9,78m			
Transekt Nr	Punkt Nr	Blatt Nr	Datum		
Baum Nr	Baumart	BHD (cm)	Höhe	Zuwachs (10)	Alter
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
<b>Samenbäume</b>					
<b>Fi 1</b>	<b>Ki 4</b>	<b>Wi 8</b>	<b>SER 11</b>		
<b>Ta 2</b>	<b>Zi 6</b>	<b>Vo 9</b>			
<b>Lä 3</b>	<b>Bi 7</b>	<b>Bah 10</b>			

<b>Schichtung</b>	1-schichtig	2-schichtig	3-schichtig	
<b>Überschirmung</b> .....				
<b>Bodenbedeckung durch Schlagrücklass</b> .....				
<b>Totholzposition, Anzahl</b>	liegend .....	stehend .....	Richtung .....	
<b>Menge in VFM</b>	0-5	5-10	10-15	15-20
<b>Bodenveg.</b>				
	Sträucher.....%	Gräser.....%	Kräuter.....%	
<b>ausreichendes Äsungsangebot</b>		<b>Bodenbegrünung</b> DG.....%		
<b>Höhe d. Sträucher (cm) Ø</b>		< 50	50-130	>130
<b>Arten</b> .....				
<b>Verbissklasse</b>		.....	.....	.....
<b>Wildaktivität</b>				
Losungshaufen	Rotwild	Rehwild	Gamswild	
	Rot-Reh	Rot-Gams	Reh-Gams	
	keine	1-3	4-10	>10

# Erhebungsblatt 3

**r=3m**

Art der Naturverjüngung	Kv ...../10	Nv...../10
Konkurrenz durch Bodenvegetation	ja	nein

Teilfläche	Transekt Nr.....					Punkt Nr .....									
	Baumart	Pflanzhöhe (cm)	6 höchste Bäumchen	Verbisshäufigkeit (0,1,2)	Terminaltrieb verbissen (0/1)	Ersatztrieb vorhanden	Ersatztrieb verbissen?	Verbissart	Leittriebanzahl (1,2,3)	Fegeschaden? (0/1)	sonstiger Schaden	Vitalität (1,2,3)	Verjüngungsort		
<b>Z</b>															
													<b>BA 1</b>	Fichte	
													2	Tanne	
													3	Lärche	
													4	Kiefer	
													6	Zirbe	
													7	Birke	
													8	Weide	
<b>O</b>													9	Vogelbeere	
													10	Bergahorn	
													11	Schwarzerle	
														<b>Art 1</b>	Wiederkäuer
													2	Hasen/Nager	
<b>S</b>														<b>Schaden 0</b>	kein
													1	geschält	
													2	Ernte	
													3	abiotisch	
<b>W</b>														<b>Verjüng.ort 1</b>	Bestand
													2	Freifläche	
													3	Moderholz	
													4	Wurzelteller	

0=nein
1=ja