

Die Verjüngung der Weißtanne im Gebiet des Nationalparks Kalkalpen

Masterarbeit

von

Eric Mitterhauser, BSc.

Spital am Pyhrn, August 2020

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur der Forstwirtschaft (Dipl.-Ing.)



Betreuer: **Assoc. Prof. DI Dr. Rupert Seidl**

eingereicht am

Institut für Waldbau

Department für Wald- und Bodenwissenschaften
der Universität für Bodenkultur Wien

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Spital am Pyhrn, am 4. August 2020

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Eric Mitterhauser', written in black ink on a light-colored background.

Eric Mitterhauser

**„Es heißt eine Gesellschaft blühe auf,
wenn alte Männer Bäume pflanzen,
in deren Schatten sie niemals sitzen werden.“**

Griechisches Sprichwort

Kurzzusammenfassung

Bei einer bedeutenden Mischbaumart wie der Weißtanne (*Abies alba* Mill.), die als ökologischer Stabilisator gilt und dennoch einen geringeren Anteil in den österreichischen Wäldern hat als erwartet, ist es besonders wichtig, die limitierenden Faktoren dieser Baumart zu kennen. Diese Arbeit soll darüber Aufschlüsse geben, was die limitierenden Faktoren bei der Verjüngung der Weißtanne in unbewirtschafteten Wäldern sind und wie sich diese Faktoren in einem Wirtschaftswald unterscheiden. Der Nationalpark Kalkalpen und der angrenzende Forstbetrieb Steyrtal der Österreichischen Bundesforste AG wurden hierfür als Untersuchungsgebiet herangezogen. Es wurden in verjüngungsnotwendigen Flächen Probekreise angelegt und deren Verjüngung aufgenommen. Im Nationalpark wurden hierzu 223 Probekreise aufgenommen und im Forstbetrieb wurden 43 Probekreise in 3 Revieren aufgenommen. Es wurde untersucht ob durch Bejagung der Wildeinfluss auf die Tanne beeinflusst werden kann. Des Weiteren wurde der Einfluss von Samenbäumen, Exposition und Überschirmungsgrad auf das Vorhandensein und die Höhe der Tannenverjüngung untersucht. Als maßgeblicher Faktor für das Aufkommen der Tanne in der Verjüngung wurde das Vorhandensein eines Tannensamenbaums in der unmittelbaren Nähe identifiziert ($p < .001$). Ein Samenbaum im Umkreis von 25 m erhöht die Wahrscheinlichkeit eine Tannenverjüngung vorzufinden von 12.8 % auf 55.6 %. Der Wildeinfluss zeigte eine Auswirkung auf die Höhe der Tannenverjüngung, jedoch nicht auf ihr generelles Vorkommen. Auch die Überschirmung hatte einen Einfluss auf die Höhe der Tannenverjüngung. Beim Vergleich zwischen dem unbewirtschafteten Nationalpark Kalkalpen und dem bewirtschafteten Forstbetrieb Steyrtal zeichnete sich in Bezug auf den Faktor Samenbaum ein Trend ($p = .059$) ab, welcher verdeutlicht, dass im Nationalpark die Wahrscheinlichkeit einen Samenbaum auf einer Verjüngungsfläche vorzufinden höher ist. Die Überschirmungsflächen unterscheiden sich signifikant voneinander, denn der Überschirmungsgrad des Nationalparks ist im Mittel um 19.20 % höher als jener des Forstbetriebes ($p < .001$). Damit die Tanne in Zukunft ihren wichtigen Anteil in stabilen Wäldern hat, sollte besondere Rücksicht auf ihre ökologischen Bedürfnisse genommen werden.

Abstract

Silver fir (*Abies alba* Mill.) is an important tree species in Austria and is considered to increase the stability of forest ecosystems. Yet it has a lower proportion in the Austrian forests compared to what would be expected naturally, which makes it particularly important to understand the factors limiting the regeneration of silver fir. The objective of this thesis was to provide information on the limiting factors for the regeneration of silver fir in unmanaged forests, and to contrast these factors to a commercial forest. Study areas were the Kalkalpen National Park and the neighbouring Steyrtal enterprise of the Austrian Federal Forests. Circular study plots were created in areas requiring regeneration, and regeneration success was recorded on 223 sample plots in the national park and 43 sample plots in the commercial forest enterprise. I investigated whether the effect of game on fir regeneration can be influenced by hunting. Furthermore, the influence of seed trees, exposition and canopy cover was examined. Response variables were the presence of silver fir regeneration and the height of regenerating silver fir. The proximity of a fir seed tree was found to be the major factor influencing the presence of silver fir in the regeneration ($p < .001$). When a seed tree was within a 25 m radius of the plot the probability for silver fir regeneration increased from 12.8 % to 55.6 %. Browsing had an influence on the tree height of silver fir in the regeneration but did not influence its presence significantly. Furthermore, canopy cover had a significant influence on the height of silver fir trees in the regeneration. When comparing Kalkalpen National Park and the Steyrtal forest enterprise, a trend ($p = .059$) emerged show that the probability of finding a seed tree area is higher in the national park. Canopy cover differed significantly, canopy cover in the national park on average 19.20 % higher than that of the Steyrtal forest enterprise ($p < .001$), special attention should be paid to its ecology and needs.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	iv
Abstract	v
1 Einleitung	8
1.1 Beschreibung der Weißtanne und ihre ökologische Bedeutung	9
1.2 Limitierende Faktoren.....	10
1.3 Abiotische Faktoren	11
1.4 Biotische Faktoren	13
2 Fragestellung und Hypothesen.....	18
3 Material und Methoden	20
3.1 Untersuchungsgebiet.....	20
3.1.1 Geologie	21
3.1.2 Klima	21
3.1.3 Waldgesellschaften.....	22
3.1.4 Nationalpark Kalkalpen	22
3.1.5 Umfeld des Nationalparks	24
3.1.6 Flächenauswahl	24
3.1.7 Aufnahmeverfahren	26
3.2 Datenaufbereitung.....	27
4 Ergebnisse	28
4.1 Beschreibende Gegenüberstellung der beiden Untersuchungsgebiete	28
4.2 Welche Faktoren limitieren die Weißtanne in der Verjüngung im NPK?	31
4.2.1 Wie wirkt sich das Wildtiermanagement und der Wildtiereinfluss auf die Verjüngung der Weißtanne aus?	31
4.2.2 Wie wirkt sich das Wildtiermanagement auf den Verbiss der Weißtanne aus?	31

4.2.3	Wie wirken sich Samenbäume auf die Verjüngung der Weißtanne aus?.....	36
4.2.4	Wie wirkt sich der Überschirmungsgrad auf die Verjüngung der Weißtanne aus?	39
4.2.5	Wie wirkt sich Exposition auf die Verjüngung der Weißtanne aus?.....	42
4.2.6	Multiple lineare Modelle zu den limitierenden Faktoren der Weißtannenverjüngung im NPK	45
4.3	Gibt es Unterschiede in den limitierenden Faktoren der Tannenverjüngung zwischen Nationalpark und Wirtschaftswald?.....	47
4.3.1	Limitierende Faktoren für das Vorkommen von Tannen in der Verjüngung	47
4.3.2	Limitierende Faktoren der Höhe der Tannenverjüngung	48
5	Diskussion	49
5.1	Wie wirkt sich das Wildtiermanagement auf die Verjüngung der Weißtanne aus?	50
5.2	Wie wirken sich Samenbäume auf die Verjüngung der Weißtanne aus?.....	51
5.3	Wie wirkt sich die Überschirmung auf die Verjüngung der Weißtanne aus?	52
5.4	Wie wirkt sich die Exposition auf die Verjüngung der Weißtanne aus?.....	53
5.5	Vergleich zwischen Nationalpark Kalkalpen und Forstbetrieb Steyrtal.....	53
6	Schlussfolgerung.....	54
7	Danksagung	56
8	Literaturverzeichnis.....	57
9	Tabellenverzeichnis.....	64
10	Abbildungsverzeichnis	66

1 Einleitung

In Österreich ist Wald die bedeutendste Landnutzungsform und nimmt ungefähr die Hälfte der Fläche des Landes ein, von jeher hatten Menschen vom Wald profitiert. Die Wälder bieten viele wichtige Ökosystemleistungen und diese hängen von einer Kontinuität der Bewaldung ab (Winter, Baier, & Ammer, 2015). Die hohe Bedeutung dieser Leistungen findet sich auch im österreichischen Forstgesetz von 1975 im §1 wieder, in dem zu Beginn von den multifunktionellen Wirkungen des Waldes die Rede ist. In ihm steht klar geschrieben, dass die Bewirtschaftung nachhaltig zu erfolgen hat und die Funktionen der Nutzung, des Schutzes, der Wohlfahrt sowie der Erholung gewährleistet sein müssen (Forstgesetz, 1975).

Um diese Leistungen zukünftig in den herausfordernden Zeiten des Klimawandels zu gewährleisten ist es wichtig artenreiche Ökosysteme zu erhalten, da sich diese an wechselnde Einflüsse schneller anpassen können (Piechocki, 2002; Winter et al., 2015). Die Weißtanne ist eine bedeutende Mischbaumart in unseren heimischen Wäldern, sie ist bei Trockenstress der Fichte überlegen und folglich eine wichtige Nadelbaumart in den submontanen bis montanen Höhenstufen (Rothe, Dittmar, & Zang, 2011). Ihr geringer Anteil von rund 4,5 Prozent in den österreichischen Wäldern ist anthropogenen Ursprungs, da in der Forstwirtschaft die Fichte stark bevorzugt wurde und die Tanne somit das Nachsehen hatte, außerdem ist diese als Schattbaumart im Kahlschlagbetrieb der Fichte an Verjüngungskraft unterlegen und sehr anfällig für Wildverbiss (Reimoser, Reimoser, & Zedka, 2012; Thom, Rammer, & Seidl, 2017; Waldinventur, 2019). Nationalparks, die im natürlichen Verbreitungsgebiet der Weißtanne liegen, können hier Aufschluss darüber geben, ob und wie schnell die Tanne ihren Anteil an der Waldzusammensetzung wieder erhöht. Als Beispiel wird im Nationalpark Kalkalpen, aufgrund der potenziell natürlichen Waldgesellschaft, ein höherer Tannenanteil als die 2 Prozent erwartet, dieser bleibt jedoch aus (Mayrhofer, 2018). Da die Tanne einen wichtigen Bestandteil der natürlichen Vegetation darstellt, besteht großes Interesse daran, die limitierenden Faktoren der Weißtanne in der Verjüngung zu ermitteln. Diese Fragestellungen werden in dieser Masterarbeit anhand von Aufnahmen im Nationalpark Kalkalpen und der näheren Umgebung näher bearbeitet.

1.1 Beschreibung der Weißtanne und ihre ökologische Bedeutung

Die schattentolerante Weißtanne (*Abies alba* Mill.) gehört zu den einheimischen Nadelholzbaumarten und ist ein ökologischer Stabilisator. Sie kann durch ihre tiefen Pfahlwurzeln vernässte Böden aufschließen und bietet zahlreichen Tierarten einen Lebensraum (Mayer, 1975; Müller & Goßner, 2004). Sie kommt natürlich in montanen Bergwäldern von 600 – 1400 m vor und wird in den subalpinen Höhenstufen von der Fichte (*Picea abies*), sowie in den submontanen Höhenstufen von der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) verdrängt (Attenberger, 1954). Die Bestäubung der weiblichen Zapfen erfolgt durch Wind, auch die Ausbreitung der Weißtannensamen erfolgt vorwiegend über Wind. In seltenen Fällen jedoch, verbreitet ebenfalls der Tannenhäher die Samen durch das Anlegen von Vorräten im Waldboden (Bucher & Sieber, 2000; Grote, 1947). Die Zapfen befinden sich vorwiegend in der Krone und verbleiben im Gegensatz zu den Fichtenzapfen auf den Ästen. Erst einige Zeit nach dem Zerfall der Zapfen löst sich auch die Spindel von den Tannenästen (Bucher & Sieber, 2000). Die Tanne ist ein wichtiger Bestandteil in der Biodiversität der Wälder und bietet Lebensraum für andere Arten, wie zum Beispiel den seltenen Tannen-Glasflügler, sowie den in Bayern bereits ausgestorbenen Glanz-Prachtkäfer (Müller & Goßner, 2004). Durch ihre tiefen Wurzeln hat sie eine breite ökologische Amplitude und ist auf nassen, schweren, tiefgründigen sowie mäßig seichten Böden zu finden (Karner, Kral, & Mayer, 1973). In jungen Entwicklungsstadien hat die Tanne einen langsamen Wuchs und reagiert nur langsam auf Licht, im Alter jedoch kann sie durch Freistellung noch deutlich an Volumen zulegen (Ferlin, 2002). Durch diese Eigenschaft ist sie eine wichtige Baumart im Plenterwald, da sich dort die Verjüngung über eine lange Zeitspanne abspielen (Schwitter & Herrmann, 2000). Die Tanne ist aber auch für den Schutzwald sehr gut geeignet, da sie als Schattbaumart keine großen Lücken im Bestand benötigt und mit ihrem Wurzelwerk den Hang festigt. Zudem hat sie eine gute Wundheilung bei Verletzung durch Steinschlag (Mayer, 1975; Schwitter & Herrmann, 2000).

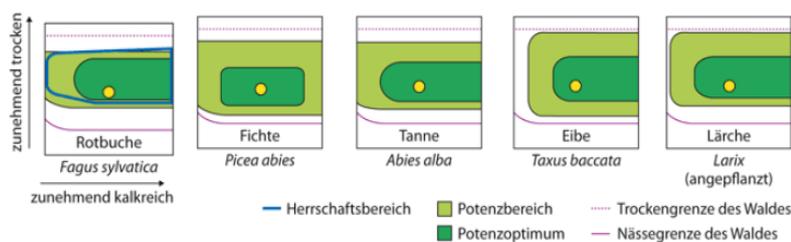


Abbildung 1: Ökogramm mit dem natürlichen Feuchtigkeits- und Säurebereich wichtiger Baumarten Mitteleuropas in der submontanen Stufe des gemäßig-subozeanischen Klimas (Ellenberg, 2010)

Die Tanne hat nach dem Ökogramm von Ellenberg starke Überschneidungen mit der Rotbuche sowie der Fichte und hat laut Grafik (Abbildung 1) keinen Herrschaftsbereich. Bei bestehender Konkurrenz von

Fichten ist sie jedoch auf kalkreichen Böden überlegen, der Rotbuche hingegen ist sie auch hier oft unterlegen (Ellenberg, 2010). In den österreichischen Wäldern schätzte Mayer den natürlichen Tannenanteil zwischen 20 und 25 Prozent, der aktuelle Tannenanteil liegt laut Österreichische Waldinventur (ÖWI) bei unter 5 Prozent, wobei diese Differenz mehrere Ursachen hat (Mayer, 1975; Waldinventur, 2019). Laut Mayer ist der Tannenanteil in den Wäldern Österreichs so gering aus bestimmten Gründen, wie die waldbauliche Benachteiligung der Tanne aufgrund ihrer Unterlegenheit gegenüber der Fichte bei Kahlschlägen. Auch Waldweide, das Tannensterben und der Verbiss durch Schalenwild haben Einfluss auf den geringen Tannenanteil. Letzterer wird in Folge eines zu hohen Wildstandes in den Wäldern des Alpenraumes beeinflusst und ist vor allem für die Zukunft der Tanne entscheidend (Mayer, 1975).

1.2 Limitierende Faktoren

Die Umwelt der Pflanzen übt auf deren Metabolismus und deren Morphologie einen Druck aus und an diese Umwelt muss sich die Pflanze anpassen um zu überleben (Asch, 2005). Dass eine Pflanze nicht immer optimal mit allen für die Pflanze benötigten

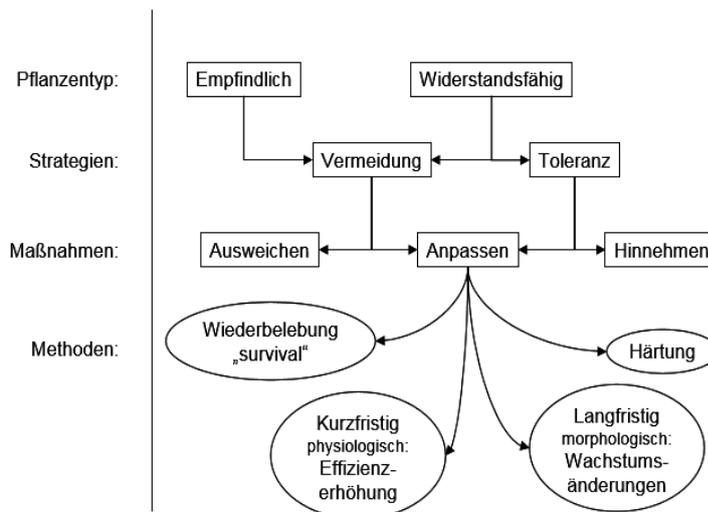


Abbildung 2: Schematische Darstellung pflanzlicher Reaktionsmöglichkeiten auf Stress (Körner, 2012)

faktoren versorgt ist, ist üblich und kann zu Stress für die Pflanze führen. Dieser Stress beruht auf der starken Limitierung von einem oder mehreren Faktoren und kann zu Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit der Pflanze führen. Die Folgen davon reichen von gehemmtem Wachstum über das Einstellen von Funktionen bis hin zum Absterben des gesamten Organismus. Körner zeigt in seiner Darstellung (Abbildung 2) wie unterschiedlich Pflanzen auf Stress reagieren können (Körner, 2012). Limitierung muss aber nicht immer durch einen Mangel hervorgerufen werden, die Leistungsfähigkeit der Pflanze kann auch durch einen Überschuss und die daraus resultierende toxische Wirkung herabgesetzt werden (Asch, 2005). In dieser Masterarbeit „Die Verjüngung der Weißtanne im Gebiet des

Nationalparks“ wird bei den limitierenden Faktoren der Weißtannenverjüngung zwischen Abiotischen und Biotischen unterschieden.

1.3 Abiotische Faktoren

Limitierung durch Temperatur

Jeder biologische Vorgang wird von der Temperatur beeinflusst. Somit sind alle physikalisch-chemischen Prozesse, die für das Leben auf unseren Planeten nötig sind, von der Temperatur abhängig (Heintzen, 1958). Mit steigender Seehöhe sinkt auch die Lufttemperatur, die adiabatische Änderung der Lufttemperatur beträgt 0,6 °C für 100 Höhenmeter, wobei es aber starke Schwankungen, bedingt durch Mikrostandorte, gibt (Körner, 2012). Das Wurzelwachstum von heimischen Nadelhölzern beginnt bei 2 °C Bodentemperatur wobei die Weißtanne mindestens eine dreimonatige Vegetationsperiode benötigt in der es keinen Frost geben darf (Hegi, 1981; Körner, 2012). In dieser verkürzten Vegetationszeit ist es für die Pflanzen schwierig eine positive Kohlenstoffbilanz zu erwirtschaften (Wieser, Gigele, & Pausch, 2005). Entscheidend für die Pflanze ist für gewöhnlich die Temperatur der Pflanzenorgane und diese ist ungleich der Lufttemperatur (Wieser et al., 2005). Die temperaturabhängige Photosyntheseleistung der Tanne ist laut den Ergebnissen von Robakowski den Laubbäumen sehr ähnlich (Robakowski, Montpied, & Dreyer, 2002). Bei -27 °C ist in Tannenbeständen mit schweren Frostschäden zu rechnen, besonders anfällig zeigt sich die Tanne bei Spätfrost (Jaworski & Zarzycki, 1983). Die Frosthärte wird maßgeblich von der thermischen Akklimatisation beeinflusst. Hierbei sind Abkühlungsraten von über 2 °C pro Stunde der kritische Punkt (Körner, 2012).

Limitierung durch Strahlung

Im Gegensatz zur Temperatur nimmt das Strahlungspotential mit der Seehöhe zu. Dafür verantwortlich ist die mit der Höhe abnehmende Luftdichte, sie erleichtert sowohl die Ein- als auch die Ausstrahlung. Diese Ein- und Ausstrahlungsunterschiede können vom Tag zur Nacht Temperaturdifferenzen bis zu 20 °C zur Folge haben. Laut Ott verdoppelt sich die Sonneneinstrahlung zwischen Meeresspiegel und 1800 m Seehöhe. (Ott, Frehner, Frey, & Lüscher, 1997). Auch die Photosyntheseleistung ist stark abhängig von der Strahlung. Ist diese zu gering, kann die Pflanze keine lebensnotwendigen Assimilate produzieren (Mayer & Ott,

1991). Die Tanne benötigt als schattentolerante Baumart nur wenig Licht, gerade im jungen Alter kommen die Bäume mit sehr wenig Licht aus, hier reichen schon 5-10 % relative Sonneneinstrahlung (Paci, 2011; Robakowski, Montpied, & Dreyer, 2003). Unter Schirm und der damit einhergehenden geringen Strahlung können junge Tannen dennoch 100-200 Jahre überleben und bei erhöhtem Lichtgenuss ihre volle Größe erreichen (Schwitter & Herrmann, 2000). Bei zu viel Strahlung ist sie den koexistierenden Arten unterlegen, da die Tanne ihr Optimum niemals unter voller Strahlung erreicht (Brzeziecki & Kienast, 1994; Dai, 1996). Es deutet vieles darauf hin, dass die Strahlungsintensität bei jungen Tannen auch einen wesentlichen Einfluss auf den Wasserverbrauch in den folgenden Jahren ausübt. Haben Tannen in jungen Jahren wenig Licht, hat dies zur Folge, dass sie langsamer wachsen und mit weniger Wasser auskommen als jene die in jungen Jahren viel Licht erhalten haben. Es zeigt sich, dass diese juvenile Phase prägend für morphologische Anpassungen bei der Assimilation ist (Ripullone et al., 2016).

Limitierung durch Trockenheit

Neben ausreichender Sonneneinstrahlung benötigen Pflanzen für die Photosynthese auch noch ausreichend Wasser. Ist dies nicht in genügender Menge vorhanden, entwickelt die Pflanze verschiedene Anpassungsmechanismen, um Trockenstress zu vermeiden. Diese Anpassung kann kurzfristig durch physiologische Vorgänge, wie das Schließen der Stomata, erfolgen. Aber auch eine dauerhafte Änderung der Morphologie, wie beispielsweise die Verkleinerung der Blattoberfläche und das Verlängern der Wurzeln, sind möglich (Blum, 1996). Durch die erhöhte Einstrahlung im Gebirge, die besonders auf exponierten Lagen Extremwerte annehmen kann, ist die Gefahr für Austrocknung ebenfalls erhöht (Körner, 2012; Ott et al., 1997). Die im Gebirge häufig seichtgründigen Böden können wenig Wasser speichern. Die durch geringere Dichte und niedrigerer Temperatur bedingte trockene Luft und die Frosttrocknis aufgrund von erhöhtem Wasserverlust in Folge des gefrorenen Bodens, sind eine Erschwernis für die Pflanzen sich mit ausreichend Wasser zu versorgen (Körner, 2012; Ott et al., 1997). Die Tanne hat eine weite Amplitude bezüglich des Standortes bei Trockenheit. Als adulter Baum ist sie der Fichte bei Trockenheit überlegen, bei der Trockenresistenz spielt die Herkunft sowie, laut Ripullone, vermutlich auch die morphologische Anpassungen in der Jugend eine entscheidende Rolle (Karner et al., 1973; Ripullone et al., 2016). Die Tanne ist jedoch auf Standorten mit stark unterdurchschnittlicher Wasserversorgung nicht vorzufinden und spielt hier, sowie generell auf Extremstandorten, keine Rolle (Ewald, 2004).

Limitierung durch sonstige abiotische Faktoren

Schnee sorgt in Gebirgswäldern häufig für Limitierung, da durch das Gewicht der Schneedecke sowie durch Lawinen und Schneegleiten die einzelnen Individuen deformiert oder entwurzelt werden. Die geschlossene Schneedecke verkürzt die Vegetationsperiode und macht die Bäume anfällig für Pilzinfektionen (Mayer & Ott, 1991; Ott et al., 1997). Die Nährstoffversorgung ist ein weiterer wichtiger Faktor bei der Limitierung und diese ist in den Gebirgswäldern nicht leicht zu gewährleisten. Die durch niedrigere Temperaturen verlangsamte Mineralisierung der Nährstoffe ist besonders beim Stickstoff problematisch, da hier die Bäume erhöhten Bedarf haben. Laut Körner steigt der prozentuelle Stickstoffgehalt der Pflanzen mit der Seehöhe, da sie diesen für die höhere Metabolismus-Aktivität bei den niedrigen Temperaturen benötigen (Körner, 2012).

1.4 Biotische Faktoren

Limitierung durch Wildeinfluss

Die negative Wirkung von Schalenwild durch das Abschälen der Baumrinde, sowie selektiven

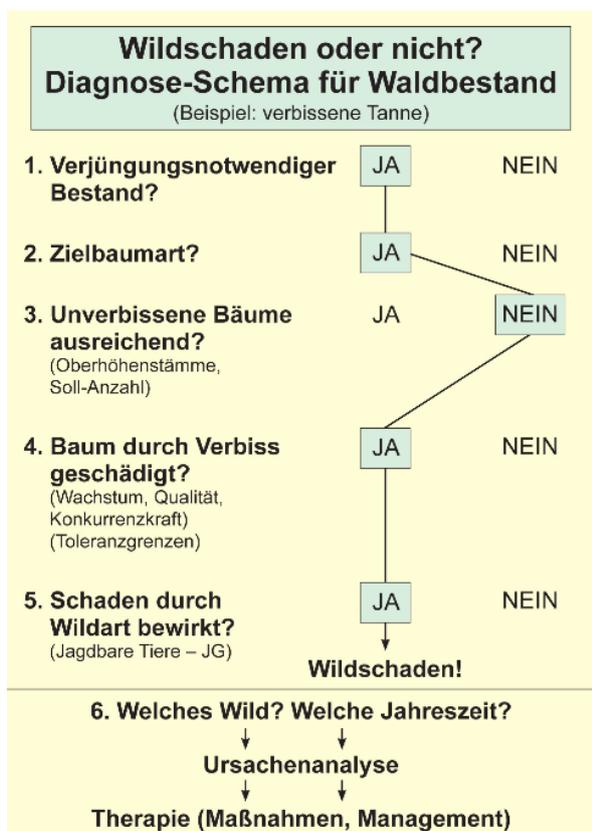


Abbildung 3: Wildschadensdiagnose (Reimoser et al., 2009)

Verbiss und die daraus resultierende Wirkung auf die Baumartenzusammensetzung oder gar die gänzliche Unterbindung der Waldverjüngung ist häufig diskutiert und untersucht (Reimoser et al., 2012). Als Verbiss gilt, wenn sich Wild nicht von krautigen Pflanzen und Gräsern sondern von Knospen und Triebspitzen der Laub- und Nadelbäume ernährt (Suter, 2005). Zu diesen Verbissarten kommt auch noch der Keimlingsverbiss hinzu. Dieser ist äußerst schwierig nachzuweisen und nur mit großem Aufwand durch Kontrollzaunflächen sichtbar zu machen, da kaum Reste von den verbissenen Pflanzen vorhanden sind, daher wird er auch als unsichtbarer Verbiss bezeichnet (Reimoser et al., 2012). Durch Tritt

der Wildtiere wird auf eine weitere Art das Waldökosystem beeinflusst, da dies die Verdichtung des Bodens und Bodenerosion bewirkt. Grundsätzlich ist diese Einwirkung für die Waldverjüngung negativ, jedoch können auch Samen in den Boden eingetreten werden oder durch Bodenverwundung die Keimung von Pioniergehölzen ermöglicht werden. Die Einwirkungsart durch Fegen oder Schlagen ist auch noch zu erwähnen. Hierbei wird die Rinde junger Baumstämme mit dem Geweih oder Gehörn abgeschlagen, um das Revier zu markieren, den Bast vom Geweih abzuschleuern oder sich abzureagieren. Dies hat je nach Stärke der Verwundung ein Absterben des jungen Baumes zur Folge. Reimoser kommt zur Schlussfolgerung, dass vom ökologischen Standpunkt aus betrachtet der Verbiss die beträchtlichsten Probleme verursacht und alle anderen Einwirkungen von Wild eine geringe Flächenausdehnung haben (Reimoser et al., 2012). Vor allem ist es wichtig, zwischen Wildeinfluss und Wildschaden zu unterscheiden (Schodterer, 1999). Das Hilfsschema von Reimoser (Abbildung 3) zur objektiven Beurteilung von Wildverbiss zeigt klare Regeln wie man Wildschaden von Wildeinfluss unterscheiden kann (Reimoser et al., 2012). Im Vergleich zum Bergahorn leidet die Tanne unter dem Verbiss stärker, da sie lange benötigt, um sich wieder zu regenerieren und folglich in das Unterholz verdrängt wird. Hinzu kommt, dass die Tanne vom Wild sehr häufig verbissen wird (El Kateb, 1991).

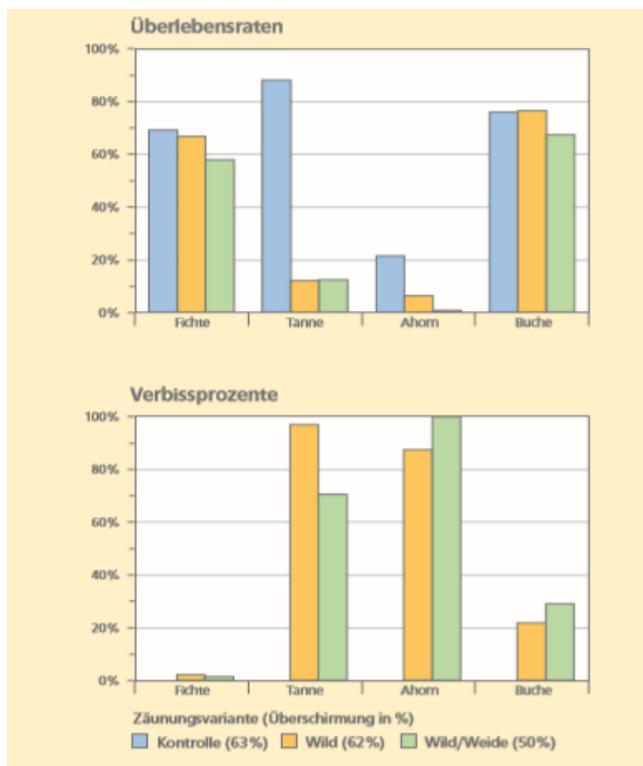


Abbildung 4: Überlebensrate und Verbissprozentage 20 Jahre nach der Pflanzung (El Kateb et al., 2009)

El Kateb stellte bei einem über 20-jährigen Versuch in den ostbayrischen Kalkalpen fest, dass ohne stabilen Maschendrahtzaun nur 12 % der gesetzten Tannen überlebten (Abbildung 4). In den eingezäunten Kontrollflächen überlebten jedoch 88 % der gesetzten Tannen (El Kateb, Stolz, & Mosandl, 2009). Aus den Daten ist der kausale Zusammenhang zwischen Verbiss und Mortalität nicht gesichert, da die Mortalität häufig erst später einsetzt und eine Folge der verminderten Wachstumsgeschwindigkeit durch den Verbiss und der herabgesetzten Konkurrenzfähigkeit des Baumes sein kann (Senn & Häsler, 2005). Für Mayer ist

die hohe Schalenwilddichte der entscheidende Faktor für den geringen Tannenanteil in den Gebirgswäldern und der Mensch ist laut Reimoser für die hohe Schalenwilddichte verantwortlich (Mayer, 1975; Reimoser et al., 2012). Vergleicht man die Schalenwilddichten von Österreich mit 15 Stück/ 100 ha mit Zahlen aus dem Karpaten mit 0,5-1 Stück/ 100 ha kommt man zum Schluss, dass wir in Österreich eine sehr hohe Wilddichte haben (Hackländer, 2013; Mayer, 1975). Im Forstgesetz werden Wildschäden im §16 unter Waldverwüstung abgehandelt und sind auf das Dringlichste zu vermeiden. Laut Mariazeller Erklärung sollen die standorttypischen Baumarten natürlich aufkommen und die Wilddichte dementsprechend angepasst sein (Forstgesetz, 1975; LK Österreich, 2012).

Somit kann der Schluss gezogen werden, dass der Wildeinfluss eine entscheidende Rolle bei der Limitierung der Tanne trägt und die ohnehin schwierigen Bedingungen für eine erfolgreiche Tannenverjüngung weiter verschärft. Andere Wildtiere wie Nagetiere oder Hasenartigen haben durch ihren Verbiss auch Einfluss auf die Baumverjüngung, gerade der Einfluss der Kleinnager wird laut Muralt häufig unterschätzt, der Verbiss des Auerwilds, dass im Winter Baumknospen abfrisst, ist jedoch durch die geringe Stückzahl zu vernachlässigen (Muralt, 2006; Reimoser et al., 2012). Muralt konnte bei seinen Untersuchungen im Nationalpark Kalkalpen (NPK) nachweisen, dass Kleinsäuger gerade bei hohen Populationsdichten sowie Nahrungsknappheit durch selektiven Verbiss der Baumarten Bergahorn und Esche Einfluss auf die Waldverjüngung haben (Muralt, 2006).

Limitierung durch Samen

Zu den für die Keimung erschwerenden Moder- und Rohhumusaufgaben im Gebirgswald kommt noch der Mangel an keimfähigen Samen, die benötigt werden, um die Verjüngung einer

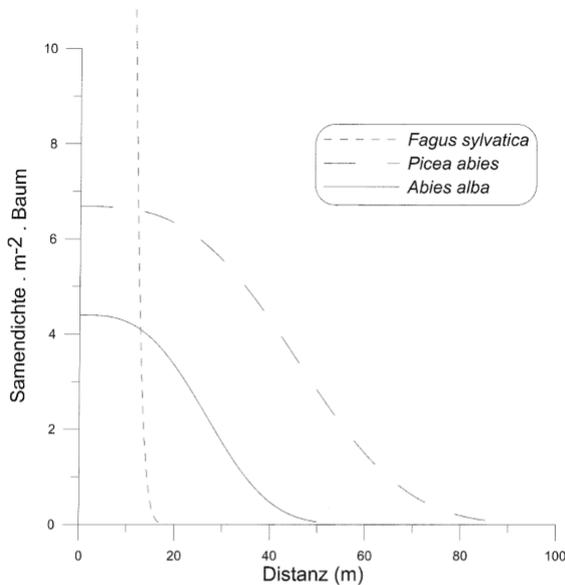


Abbildung 5: Samenverbreitungskurve von *Fagus sylvatica*, *Picea abies* und *Abies alba* (Kutter, 2007)

Baumart einzuleiten, hinzu (Ott et al., 1997). Die Keimfähigkeit spielt für eine erfolgreiche Verjüngung eine große Bedeutung, bei der Tanne nimmt die Keimfähigkeit der Samen schneller ab als bei den Fichtensamen, zumeist liegt die Keimfähigkeit der Tannensamen zwischen 35 und 45 Prozent. Dieser Wert ist niedriger als der von allen anderen relevanten Baumarten für die Forstwirtschaft (Schirmer, 2004). Ein wichtiger ökologischer Prozess für die Erschließung von Standorten ist die Samenverbreitung,

denn nur wo ausreichend keimfähige Samen auf für sie keimfähigen Boden treffen ist das Aufkommen einer Baumart möglich (Kutter, 2007). Die Ausbreitungsdistanz der windverbreitenden Tannensamen ist durch die schweren Samen mit einem 1000 Korngewicht zwischen 35 – 55 g gering, im Vergleich hierzu das 1000 Korngewicht der Fichte mit in etwa 7,7 g (Nather, 1992). Die Sinkgeschwindigkeit der Tannensamen beträgt 1,25 m/s und ist im Vergleich zu Fichtensamen mit 0,8m/s deutlich schneller. Das ist der Grund, warum die Samen der Tanne sich weniger weit als die der Fichten ausbreiten (Kohlermann, 1950). Die Ausbreitungsdistanz der windverbreiteten Samen hängt zusätzlich von der Windgeschwindigkeit und -richtung, welchen die Samen während dem Fallen ausgesetzt sind, ab und wird zudem von der Fallhöhe, der Samenmorphologie und der daraus resultierenden Aerodynamik beeinflusst. Des Weiteren ist für die Verbreitung der Samen entscheidend, ob sich der Samenbaum auf einem geschlossenen Bestand, offenen Bestand oder auf einer freien Fläche befindet ab (Kutter, 2007). In seltenen Fällen kann es sein, dass die Samen durch den Wind sogar über den Bestand emporgehoben werden, hier sind dann ganz andere Distanzen der Ausbreitung möglich. In der Literatur findet man hier Werte die Angeben, dass dieses Ereignis mit 1-5 % Wahrscheinlichkeit stattfinden kann (Nathan et al., 2002; Trakhtenbrot, Nathan, Perry, & Richardson, 2005). Es gibt also eine Vielzahl an Einflüssen, die auf die Ausbreitung

der Samen Auswirkung haben und so sind dann auch in der Literatur unterschiedliche Werte über die Ausbreitung zu finden. Bei Kohlermann liegt die durchschnittliche Ausbreitung der Tanne bei 26 m auf einer Freifläche, bei der Arbeit (Abbildung 5) von Kutter liegen die Werte bei ca. 22 m (Kohlermann, 1950; Kutter, 2007).

Limitierung durch Konkurrenzvegetation

Die Verjüngung der Tanne steht in Konkurrenz um Wasser, Licht und Nährstoffe mit anderen Pflanzen wie Gräsern, Kräutern, Sträuchern, sowie den übrigen Baumarten. Viele Samen erreichen aufgrund des dichten Vegetationsteppichs nicht den Boden, was infolgedessen das Aufkeimen verhindert. Des Weiteren wird durch die abgestorbenen und vom Schnee umgelegten Gräser sowie Farne das Gleiten der Schneedecke gefördert. Dies wiederum kann junge Tannen umknicken, brechen oder entwurzeln, was den Verjüngungsfortschritt der Tanne zunichtemacht. Eine weitere Erschwernis für die Keimlinge der Tanne ist, dass sie sich in den dicht verwurzelten Böden gegen jegliche Konkurrenten behaupten müssen, um selbst Nährstoffe und Wasser aus dem Wurzelraum für sich nutzen zu können (de Jel, 2007; Leibundgut, 1984; Ott et al., 1997). Daher ist es für die Tanne wichtig, ausreichend lange Verjüngungszeiträume zu bekommen, in denen sie sich durch ihre Konkurrenzstärke im Schatten unter Schirm gegen die anderen Baumarten und weitere Bodenvegetation behaupten kann (Hussendörfer, 1995).

Limitierung durch sonstige biotische Faktoren

Weitere limitierende Faktoren sind Insekten wie die Weißtannentrieblaus (*Dreyfusia nordmanniana*). Diese wurde im 19. Jahrhundert gemeinsam mit der Nordmannstanne (*Abies nordmanniana*) eingeschleppt. Diese Weißtannentrieblaus befällt auch die einheimische Weißtanne, besonders jene im Freiland oder auf Freiflächen mit ausreichend Sonneneinstrahlung. In Zeiten mit niedrigen Niederschlagsmengen kann es zur Massenvermehrung kommen. Daher ist es vor allem in Christbaumkulturen und auf mit Weißtannen aufgeforsteten Sturmflächen immer wieder zu größeren Schädigungen gekommen (Engesser, Forster, & Odermatt, 2000; Jahn, 1976). In Bezug auf Pilze ist noch die Rhizoctonia-Nadelbräune der Tanne aus der Gattung *Rhizoctonia* zu erwähnen, dieser Pilz schwächt die Tannen und verfärbt sie braun. Die braunen Nadeln bleiben jedoch an den Zweigen, da das Pilzmycel die Nadeln festhält (Butin, 2012, 2014).

2 Fragestellung und Hypothesen

Diese Masterarbeit soll aufzeigen, welche Faktoren maßgeblich das Aufkommen der Tannenverjüngung im NPK beeinflussen. Hierbei wird unterschieden, ob Tannen in der Verjüngung vorhanden sind und in welcher Höhenklasse sich die Tannenverjüngung befindet. Diese beiden Ebenen der Unterscheidung sind wichtig, da das reine Vorhandensein von Verjüngung nicht ausreicht um als erfolgreich etabliert zu gelten. Für eine erfolgreiche Etablierung muss die Verjüngung zudem in die oberen Höhenklassen entwachsen und sich zu einem adulten Baum entwickeln.

Die konkreten Forschungsfragen der Arbeit sind:

A) Welche Faktoren limitieren die Weißtanne in der Verjüngung im Nationalpark Kalkalpen?

B) Gibt es Unterschiede in den limitierenden Faktoren im Nationalpark Kalkalpen im Vergleich zum angrenzenden Wirtschaftswald?

Im Detail befasst sich die Masterarbeit mit folgenden Fragestellungen und Hypothesen:

(i) Wie wirkt sich das Wildtiermanagement auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

H: Es wird angenommen, dass sich Unterschiede im Wildtiermanagement auf den Nachweis von Tannen und auf die Höhenklassen auswirken. Da durch die Entnahme von Schalenwild die Populationsdichte sinkt und somit in Folge der Verbissdruck auf die Tannen abnimmt.

H₀: Die Bejagung von Schalenwild hat keine Auswirkung auf das Vorhandensein von Tannen in der Verjüngung.

H₀: Die Bejagung von Schalenwild hat keine Auswirkung auf die Höhe der Tanne in der Verjüngung.

(ii) Es wird untersucht, wie sich Unterschiede im Wildtiermanagement auf den Verbiss der Tannenverjüngung auswirken.

H: Es wird angenommen, dass sich Unterschiede im Wildtiermanagement auf den Verbiss von Tannen auswirken und in weiterer Folge dieser Verbiss Einfluss auf die Höhe hat. Durch die Entnahme von Schalenwild sinkt die Populationsdichte und somit in Folge der Verbissdruck auf die Tanne.

H0: Die Erlegung von Schalenwild hat keine Auswirkung auf den Verbiss der Tanne.

H0: Der Verbiss hat keine Auswirkung auf die Höhenklassen der Tanne.

(iii) Wird die Weißtanne durch das Fehlen von potenziellen Samenbäumen limitiert?

H: Samenverfügbarkeit ist ein essenzieller Erfolgsfaktor für die Verjüngung einer Baumart, im Fall der Tanne ist eine weite Ausbreitung der schweren Samen unwahrscheinlich. Es wird vermutet, dass sich Unterschiede im Vorhandensein eines Weißtannensamenbaumes auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung und auf die Höhe auswirken.

H0: Das Vorhandensein eines Weißtannensamenbaumes hat keine Auswirkung auf den Nachweis der Tanne in der Verjüngung.

H0: Das Vorhandensein eines Weißtannensamenbaumes hat keine Auswirkung auf Höhe der Tannenverjüngung.

(iv) Wie wirken sich die Lichtverhältnisse auf den Verjüngungserfolg der Weißtanne aus?

H: Es wird angenommen, dass sich die Tanne am besten unter Schirm bei relativ geringem Lichtangebot verjüngt, da sie sehr schattentolerant ist und somit einen Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Pflanzenarten hat. Es wird vermutet, dass sich Unterschiede im Überschirmungsgrad auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung und auf die Höhe auswirken.

H0: Der Überschirmungsgrad hat keine Auswirkung auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung.

H0: Der Überschirmungsgrad hat keine Auswirkung auf die Höhe der Tannenverjüngung.

(v) Wie wirkt sich die Exposition auf den Verjüngungserfolg der Weißtanne aus?

H: Da die Tanne bei hoher Luftfeuchtigkeit und im Schatten konkurrenzstärker ist, wird davon ausgegangen, dass sie sich auf nordexponierten Lagen besser verjüngt. Es wird vermutet, dass sich Unterschiede in der Exposition auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung und auf die Höhen auswirken.

H0: Die Exposition hat keine Auswirkung auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung.

H0: Die Exposition hat keine Auswirkung auf Höhe der Tannenverjüngung.

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet

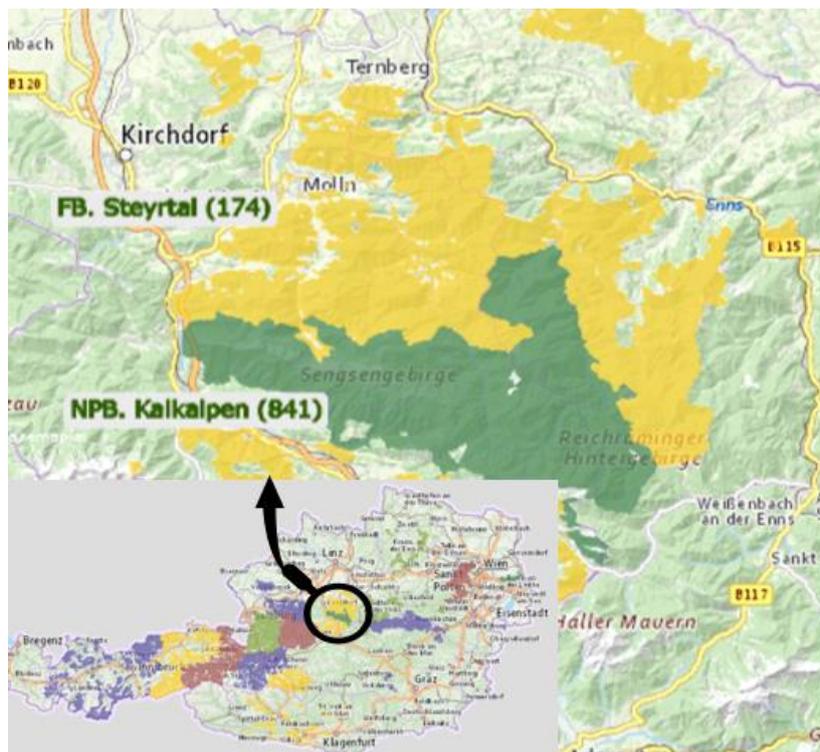


Abbildung 6: Lagekarte der Betriebsstandorte: Nationalpark Kalkalpen in Grün markiert und Forstbetrieb Steyrtal in Gelb markiert (<https://www.bundesforste.at/betriebsstandorte.html>, 2019)

Das Untersuchungsgebiet (Abbildung 6) befindet sich im südöstlichen Teil von Oberösterreich, an der Grenze zur Steiermark und zu Niederösterreich. Zwei Betriebe der Österreichischen

Bundesforste (ÖBF) verwalten die Flächen des Untersuchungsgebietes. Zum einen ist es der Nationalparkbetrieb Kalkalpen (NPK) und zum anderen ist es der Forstbetrieb Steyrtal (FBS) in dem die Aufnahmen stattfanden.

3.1.1 Geologie

In diesem Gebiet sind die dominierenden Gesteinsarten der grau- bis gelblichweiße Hauptdolomit und der beige Wettersteinkalk. In den flachen Gipfelkuppen des Miesecks sind zum Beispiel beide Gesteinsarten das Ausgangsgestein für die Bodenbildung. Als Bodentyp bilden sich seichtgründige Rendzina bis Braunlehmrendzina-Böden aus, deren Humustyp von Alpenmoder bis Mull reicht. In den flacheren Mulden, wie beispielsweise der Ebenforstalm, spielt Mergel eine wesentliche Rolle bei der Bodenbildung, hier sind tiefgründige Böden vorzufinden. Morphologisch als auch chemisch gibt es sehr unterschiedliche Böden. Dort wo das Relief nicht ausreicht um Material zu halten, nimmt die Bedeutung des Ausgangsgestein zu (Gärtner et al., 1994; Katzensteiner, Nemestothy, & Ottner, 1996). Die höchste Erhebung in dem Gebiet bildet der Hohe Nock im Sengsengebirge, mit einer Seehöhe von 1963 Metern (Nationalpark Kalkalpen, 2011).

3.1.2 Klima

Das Klima des Nationalpark Kalkalpen ist subatlantisch beeinflusst und erreicht in den Hochlagen des Sengsengebirges alpinen Charakter. Es herrscht ein feucht gemäßigtes Klima mit weniger Niederschlägen als in den westlichen Kalkalpenketten. Die Niederschläge nehmen mit der Seehöhe zu. Die sogenannte Prallhangsituation erhält im Sengsengebirge besondere Bedeutung, hierbei handelt es sich um eine Wetterbarriere, welche klimatische Unterschiede mit mehr Niederschlag bewirkt. Die Jahresniederschläge bewegen sich zwischen 1200 und 2100 mm, die sich zum größten Teil auf den Sommer verteilen und sich besonders auf das Gebiet um den Hohen Nock beziehen. Ab einer Seehöhe von 1000 m ist mit einer Schneedecke in der Zeit von November bis April zu rechnen, wobei die Schneebedeckung zusätzlich vom Relief und Exposition geprägt ist. Durch die abwechslungsreiche Topografie entsteht eine Vielfalt an klimatischen Verhältnissen, deren Mittelwert bei einer Niederschlagsmenge von 1275 mm und einer Jahresmitteltemperatur von 7,3 °C liegt. Auch die Strahlung weist kleinräumig beträchtliche Unterschiede auf, wobei nördliche Hänge die geringsten

Strahlungswerte aufweisen (Bogner, Lehner, & Mahringer, 2002; Gamerith, Schön, & Strauch, 2004; Pröll & Prüller, 2008).

3.1.3 Waldgesellschaften

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Wuchsgebiet 4.2 nördliche Randalpen – Ostteil, die Höhenstufen reichen von Hochsubalpin bis Submontan (Kilian, Müller, & Starlinger, 1994). Die Waldgesellschaften im NPK sind zum Teil naturnah und beinhalten auch Urwaldverdachtsflächen, jedoch sind sie auch stark durch die Waldbewirtschaftung im 20. und 21. Jahrhundert geprägt. Die Wälder werden von 2 Baumarten geprägt, wobei die dominierende Baumart die Fichte ist, gefolgt von der Rotbuche (Gamerith, Schön, & Strauch, 2003; Thom et al. 2018). Aus den Modellierungen im NPK geht hervor, dass sich jedoch in Zukunft dieses Verhältnis zu Gunsten der Buche hin verschieben könnte (Thom et al., 2017). In Hang- und Schluchtwäldern gibt es Bestände mit sehr hohen Anteilen an Tannen, Ahorn und Eschen. Es werden über 30 verschiedene Waldgesellschaften ausgeschieden, wobei die Schneerosen-Fichten-Tannen-Buchenwälder und Schneerosen-Buchenwälder den größten Teil der Fläche ausmachen. Die Anteile der einzelnen Baumarten sind hier zumeist ineinander übergehend, in den niederen Höhenlagen ist der Buchenanteil hoch und die Tanne beigemischt. Mit der Seehöhe nimmt der Fichtenanteil stark zu. Bei Fichtenreinbeständen in tieferen Lagen ist zumeist anthropogene Entmischung die Ursache, es kann aber auch lokalklimatisch durch Kaltluftdolenen zum hohen Fichtenanteil gekommen sein (Gamerith et al., 2004; Kilian et al., 1994; Nationalpark Kalkalpen, 2018). In der subalpinen Stufe bilden Karbonat-Lärchenwälder und Karbonat-Latschengebüsche die häufigsten Waldgesellschaften, an feuchten und schneereichen Standorten kommt es aber auch zu subalpinen Grünerlengebüschen (Kilian et al., 1994).

3.1.4 Nationalpark Kalkalpen

Der NPK ist Schutzgebiet und wurde ursprünglich am 25 Juli 1997 auf einer Fläche von 16.509 Hektar, im südöstlichen Teil von Oberösterreich gegründet. Im darauffolgenden Jahr erhielt er internationale Anerkennung der „Internationalen Union zur Bewahrung der Natur und natürlicher Ressourcen (IUCN)“ für die Kategorie II, Nationalpark. Das Bergmassiv Sengsengebirge und Reichraminger Hintergebirge sind prägend für den NPK. Dessen Fläche umfasst seit der letzten Erweiterung im Jahre 2003 20.850 Hektar, hiervon sind 81 % Wald, der

Rest setzt sich aus Latschen, Almwiesen sowie Felsflächen zusammen. Die Grundbesitzer der in den NPK eingebrachten Fläche sind die Republik Österreich in Form der ÖBF mit 88 %, gefolgt von 11 % Privatbesitz und 1 % Gemeindebesitz. Im NPK gibt es einen Wildtiermanagementplan, der die Wildtierregulierung vorgibt. Diese Regulierung wird bei den drei Schalenwildarten Rot-, Reh- und Gamswild vom professionellen Personal der ÖBF durchgeführt. Es wird zwischen fünf unterschiedlichen Zonen (Abbildung 7) im Wildtiermanagement im NPK unterschieden. Den größten Anteil macht die Ruhezone mit 65 % der Fläche aus, hier findet an 365 Tagen im Jahr keine Bejagung statt. Den zweitgrößten Flächenanteil macht Intervallregulierung in der Bewahrungszone und in der Naturzone aus. Diese Zonen nehmen 30 % der Fläche ein und unterscheiden sich dadurch, dass in der Naturzone die Regulierung zu einem späteren Zeitpunkt beginnt. In der Bewahrungszone gibt es Schwerpunktregulierung. Hier wird anhand wöchentlicher Präsenz der Jäger versucht, den Bestand zu senken und das Wild von diesen Standorten zu vergrämen, da solche Bewahrungszonen zum größten Teil Objektschutzwälder sind. Zusätzlich gibt es noch Jagdeinschlüsse mit einer Fläche von 487 Hektar, welche nicht zum NPK gehören aber in denen dennoch Intervallregulierung stattfindet. Der NPK eignet sich hervorragend als Untersuchungsgebiet aufgrund der unterschiedlichen Zonen im Wildtiermanagement und der guten Dokumentierung dieser.

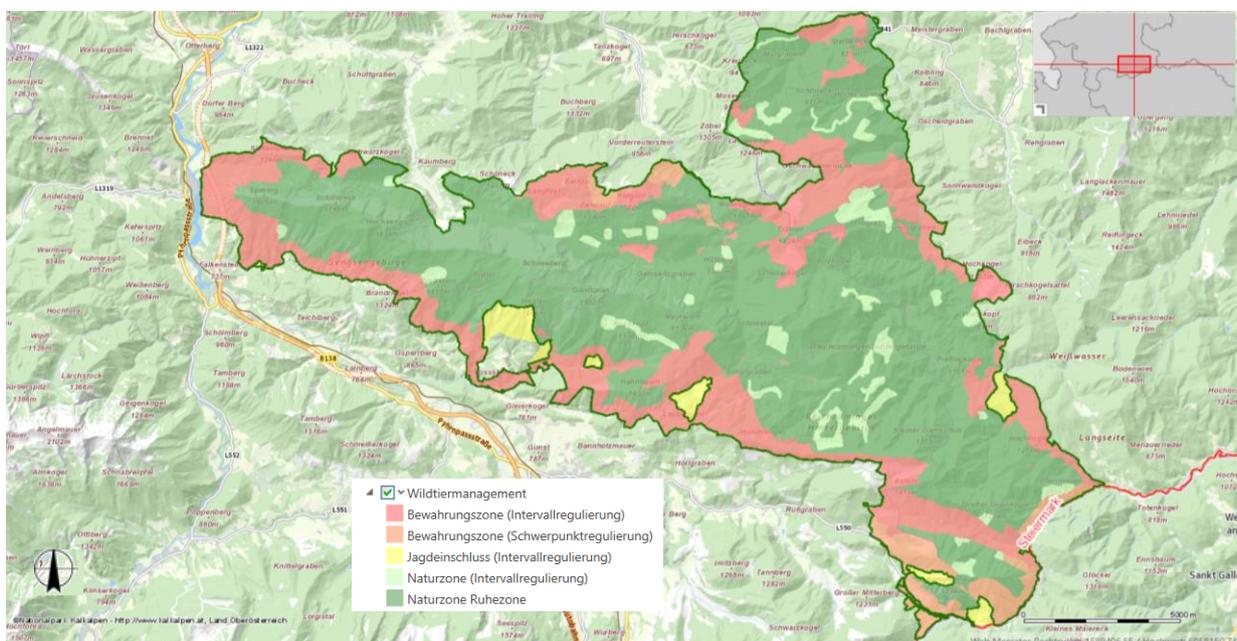


Abbildung 7: Zonierung durch den Wildtiermanagementplan
 (https://gis.kalkalpen.at/NPK_WebGIS/synserver?project=WebGIS&client=core&language=de&user=gast&password=gast, 2019)

3.1.5 Umfeld des Nationalparks

Die Vergleichsflächen befinden sich im 34.600 ha Wald umfassenden Forstbetrieb Steyrtal (FBS). Da hier die Gegebenheit der Geologie, des Klimas und der potenziell natürlichen Waldgesellschaften ähnlich zum Nationalpark sind und eine Kooperation möglich war wurden diese als bewirtschaftete Vergleichsflächen ausgewählt. Im genaueren wurden hier die Aufnahmen aus den Revieren Brunnbach, Reichraming und Breitenau von Posch Bernhard zur Verfügung gestellt (Österreichische Bundesforste AG, 2020).

3.1.6 Flächenauswahl

Um die Forschungsfragen zu beantworten wurden Probeflächen sowohl innerhalb als auch außerhalb des NPK ausgewählt. Alle Aufnahmeflächen waren nahezu im Tannenoptimum in den Höhenstufen Tiefmontan bis Hochmontan (600 m – 1450 m). Somit konnte man davon ausgehen, dass hier die Tanne am konkurrenzfähigsten ist und ehestens erwartet wird. Die drei Kategorien Nationalpark Wildruhebereich als unbejagt, Nationalpark Wildtiermanagementbereich als bejagt und Flächen außerhalb als Nationalparks wurden als Aufnahmeflächen ausgeschieden. Insgesamt wurden im Nationalpark 223 Probekreise (Abbildung 8) zufällig verteilt auf verjüngungsnotwendige Flächen gelegt. Hierbei wurden zu den 100 alten Bestandspunkte noch 123 neue Intensivierungspunkte im Jahr 2019 aufgenommen. Im Umfeld des Nationalparks wurden im FBS in drei Revieren in Summe 43 Probekreise ausgewählt.

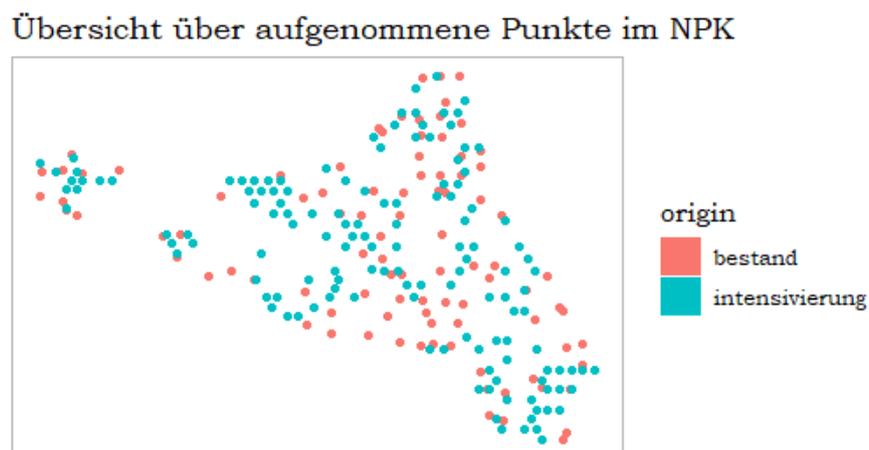


Abbildung 8: Übersicht über die Verteilung der Bestandspunkte (rot) sowie der neuen Intensivierungspunkte (blau) im Nationalpark Kalkalpen.

Die Auswahl der Probeflächen erfolgte nach zwei Verfahren, wobei hier zuerst das unternehmensweite Verfahren der ÖBF für Jungwuchs und Verbiss erläutert wird. Dieses wurde bei den Bestandspunkten im NPK als auch bei den Punkten im FBS angewendet:

Im Verfahren der ÖBF wurden zuerst die Kilometernetzschrittpunkte von jedem Forstrevier festgestellt, um sie später durch die Anzahl der benötigten Probeflächen zu dividieren. Die so

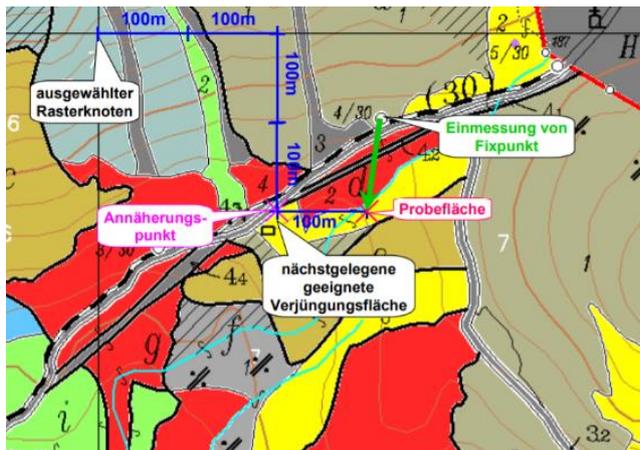


Abbildung 9: Skizze der einzelnen Schritte zur Ermittlung der Probefläche (Österreichische Bundesforste AG, 2006)

ermittelten Schnittpunkte sind der Startpunkt für die neu anzulegenden Probeflächen und können sogar selbst schon Probeflächenpunkte sein, wenn ein Schnittpunkt gegebenenfalls in eine Verjüngungsfläche fällt. In 100 m Schritten zu den Haupthimmelsrichtungen wird die nächstgelegene Verjüngungsfläche aufgesucht, um den Annäherungspunkt zu ermitteln (Abbildung 9). Ausgehend von dem

Annäherungspunkt wird im Uhrzeigersinn, beginnend mit Norden, versucht in 100 m Schritten die Probefläche in die Verjüngung zu legen. Wenn es jedoch im 100 m Abstand nicht möglich ist wird im 10 m Abstand, vom Annäherungspunkt aus, versucht den Probepunkt in die Probefläche zu legen und dies wiederum im Uhrzeigersinn beginnend mit der Nordrichtung (Höllerer et al., 2006).

Beim zweiten Verfahren in Bezug auf die Auswahl der Probeflächen wurden Daten des Operats in das Statistikprogramm R (R Core Team, 2019) eingelesen und dort weiterverarbeitet. Die 123 Intensivierungspunkte wurden laut Operat in Flächen gelegt, die der gleichen Verjüngungsnotwendigkeitsdefinition der ÖBF für Jungwuchsmonitoring entsprechen. Es wurde ein Raster in Karo-Form über den NPK gelegt und darin auf verjüngungsnotwendigen Flächen die Punkte zufällig ausgewählt. Das gesamte Auswahlverfahren wurde im R als Skript abgespeichert, um das Ergebnis reproduzierbar zu machen (persönliche Mitteilung Dominik Dachs, 27.11.2019). Die so ermittelten Koordinaten der Probekreise in den verjüngungsnotwendigen Flächen wurden als GPX-Datei ausgegeben und abgespeichert.

Mithilfe der GPX-Datei konnten die Koordinaten der Aufnahmepunkte in die GPS-Geräte eingespielt werden, um diese in weiterer Folge mithilfe der GPS-Geräte aufzusuchen. Bei Erreichen des Aufnahmepunktes gaben die GPS-Geräte einen Signalton ab, wobei die Stelle an der man sich bei diesem Signalton befand das Zentrum des Probekreises wurde. Befand sich an dieser Stelle im Probekreis jedoch keine geeignete Verjüngung, so wurde das Probekreiszentrum nach dem gleichen Verfahren des ÖBF-Jungwuchsmonitorings verlegt. Das Aufnahmeverfahren orientierte sich stets an dem folglich beschriebenen Verfahren des ÖBF-Jungwuchsmonitoring.

3.1.7 Aufnahmeverfahren

Die fixen Probekreise sind 12,57 m² groß, dies entspricht einer Kreisfläche mit einem Radius von 2 m. In dieser Kreisfläche wurden alle Forstpflanzen laut Forstgesetz, mit Ausnahme der Hasel, aufgenommen. Für die Auswertung dieser Masterarbeit war jedoch nur die Baumart Weißtanne relevant. Vom Team des NPK wurde auf jedem Punkt der Überschirmungsgrad des Probekreises aufgenommen. Wenn sich Tannen in der Verjüngung befanden wurde überprüft, ob sich ein potenzieller Samenbaum innerhalb von 25 m befindet. Die Ermittlung eines potenziellen Tannensamenbaumes erfolgte folgendermaßen: Ausgehend vom Probekreismitelpunkt wurde im Umkreis von 25 m untersucht, ob ein potenzieller Tannensamenbaum vorhanden ist. Wenn dies zutraf wurde die Distanz bis zum Mittelpunkt des Probekreises gemessen.

Aufgenommen wurden alle lebenden Forstpflanzen ab einer Höhe von 10 cm bis zu einer Höhe von 300 cm, welche eine Stammachse an der Erdoberfläche innerhalb des Probekreises aufweisen konnten. Keimlinge unter 10 cm fielen somit nicht in die Auswertung. Die Verjüngung wurde in sechs Höhenklassen unterteilt. Die Höhenklasse 1 reichte von 10,1 bis 30 cm, die Höhenklasse 2 von 30,1 bis 50 cm, die Höhenklasse 3 von 50,1 bis 90 cm, die Höhenklasse 4 von 90,1 bis 150 cm, die Höhenklasse 5 von 150,1 bis 300 cm und die Höhenklasse 6 überschritt 300 cm. Auf sämtlichen Flächen wurden Seehöhe, Exposition und Überschirmung ermittelt. Der Überschirmungsgrad an dem Standort der Probefläche wurde in Zehnerstufen ermittelt und dies bei jeder aufgenommenen Probefläche. Die Exposition wurde aufgrund eines Kommunikationsfehlers nur für den NPK aufgenommen, somit sind sie nicht für den FBS verfügbar.

3.2 Datenaufbereitung

Datenbereitstellung

Die Daten wurden vom Wildbiologen des NPK, Dominik Dachs, zur Verfügung gestellt. Auf Seite des FBS wurden diese von Bernhard Posch übermittelt. 83 Probeflächen wurden von mir persönlich aufgenommen, die übrigen Probeflächen wurden von ÖBF-Mitarbeitern aufgenommen.

Datenauswertung / Datenbeschreibung

Bei der Erhebung wurden die Daten in ein Aufnahmeblatt eingetragen, diese Aufnahmeblätter wurden dann in eine Microsoft Excelliste übertragen, um sie digital bearbeiten zu können. Die Excelliste wurde mittels R (R Core Team, 2019) eingelesen und weiterverarbeitet. Die grafische Darstellung der Daten erfolgte im R und zusätzlich im Excel-Programm, da sich somit mehr und vor allem einfachere Möglichkeiten der Darstellung boten. Die statistische Auswertung und die Berechnungen der Modelle wurden im R durchgeführt.

Zur erfolgreichen Verjüngung reicht nicht nur das Vorhandensein von Tannenverjüngung, auch das Erreichen der Höhe eines Baumes ist ausschlaggebend für eine Etablierung. Aufgrund dessen wurden alle Forschungsfragen in Bezug auf diese beiden Kriterien ausgewertet. Für die Auswirkung auf eine erfolgreiche Etablierung wurde herangezogen, ob die erklärende Variable eine Auswirkung auf das Vorhandensein von Tannenverjüngung sowie auf die Höhenklasse hat.

Um zu beurteilen, ob die erklärende Variable einen Einfluss auf das Vorhandensein von Tannen in der Verjüngung hat, wurde ein generalisiertes lineares Regressionsmodell (GLM) verwendet

$(P(Y_i = 1) = \frac{e^{x_i' \beta}}{1 + e^{x_i' \beta}})$. Zur Beurteilung des Einflusses auf die Höhe der Tannenverjüngung

wurde ein lineares Regressionsmodell (LM) herangezogen. Es wurde ein multiples lineares Modell verwendet, um zu testen welche Variable das Vorhandensein von Tannen in der Verjüngung und die vorhandenen Höhenklassen am besten erklärt. Um bei einem Vorhandensein von Tannen einen der limitierenden Faktoren des NPK mit dem des FBS zu vergleichen, wurde ein exakter Test nach Fischer verwendet. Ein Chi-Quadrat-Test war hierbei nicht möglich, da die dafür benötigte Häufigkeit dazu nicht ausreichte. Für den

Stichprobenvergleich des limitierenden Faktors für die Höhe der Verjüngung wurde ein T-Test verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibende Gegenüberstellung der beiden Untersuchungsgebiete

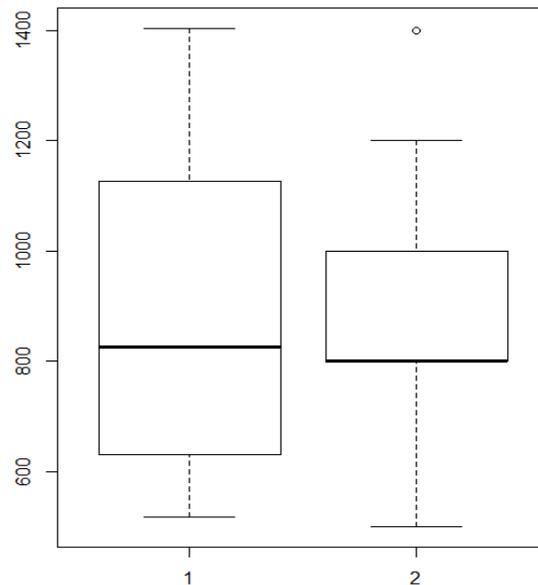


Abbildung 10: Höhenverteilung der Probekreise im Nationalpark Kalkalpen (1) und im Forstbetrieb Steyrtal (2).

Der Median der Höhenverteilung (Abbildung 10) der Probekreise des NPK liegt bei 826 m, wobei der Maximalwert bei 1408 m und der Minimalwert bei 518 m lag. Das erste Quantil liegt im NPK bei 630 hm und das dritte Quantil liegt bei 1127 hm. Zur Ergänzung kommt noch der Mittelwert hinzu, dieser befindet sich bei 867 hm.

Die Höhenverteilung der Probekreise des FBS liegt mit einem Median von 800 hm unter dem des NPK. Zudem befindet sich der Maximalwert des FBS bei 1400 hm und der Minimalwert bei 500 hm. Das erste Quantil bildet zugleich den Median und ergibt einen Wert von 800 hm. Das dritte Quantil liegt bei einem Wert von 1000 hm. Ebenfalls zur Ergänzung hinzu kommt noch der Mittelwert und dieser liegt im FBS bei 868 hm. Dieser ist somit fast ident mit dem Mittelwert des NPK.

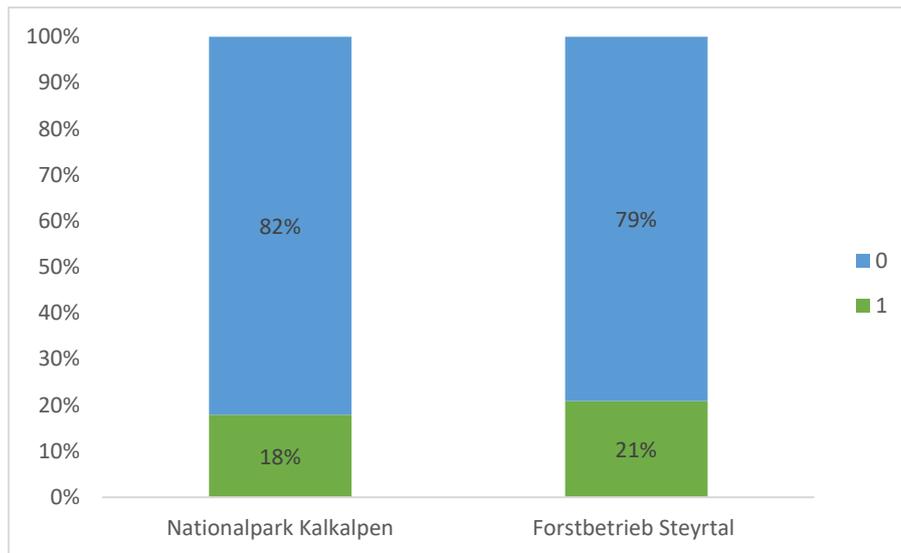


Abbildung 11: Die Grafik zeigt den Anteil der Probekreise (PK) ohne beziehungsweise mit Tannen in der Verjüngung, in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS (0= Anteil ohne Tanne, 1= Anteil mit Tanne).

Insgesamt wurden im NPK für die Auswertung 223 Probekreise (PK) herangezogen, wobei auf 40 PK Tannen in der Verjüngung festgestellt wurden, was einen Anteil von 18 % ergibt.

Im FBS befanden sich 9 PK, der insgesamt 43 ausgewerteten PK, welche Tannen in der Verjüngung beinhalteten und dies somit einen Anteil von 21 % darstellt.

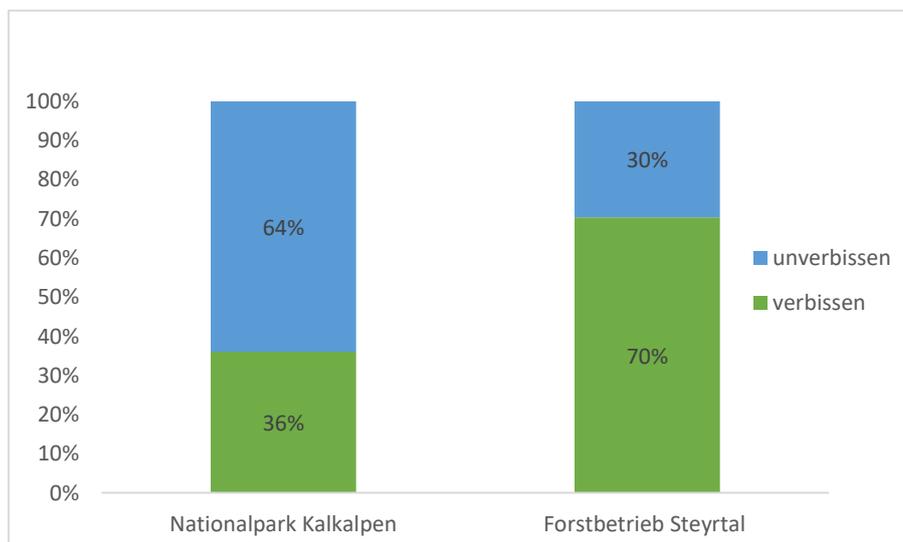


Abbildung 12: Die Grafik zeigt den Verbissprozent der Tannenverjüngung von den Aufnahmen in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS.

Anhand der Aufnahmen wurden im NPK 36 % Verbiss festgestellt, im FBS hingegen 70 %.

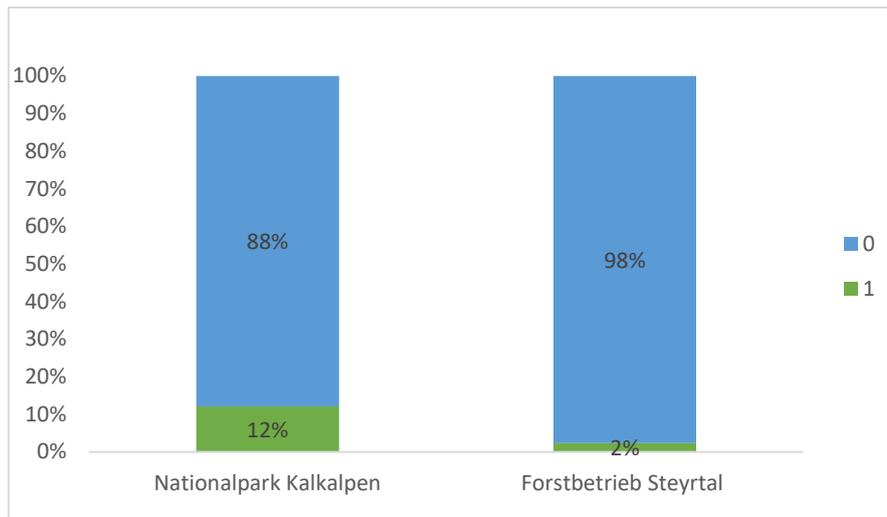


Abbildung 13: Die Grafik zeigt den Anteil der Probekreise ohne beziehungsweise mit Tannensamenbäumen in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS (0= Anteil ohne Samenbaum, 1= Anteil mit Samenbaum).

Bei 27 PK im NPK konnten Samenbäume im Radius von 25 m festgestellt werden, im FBS konnte hingegen nur 1 Samenbaum im selben Radius festgestellt werden.

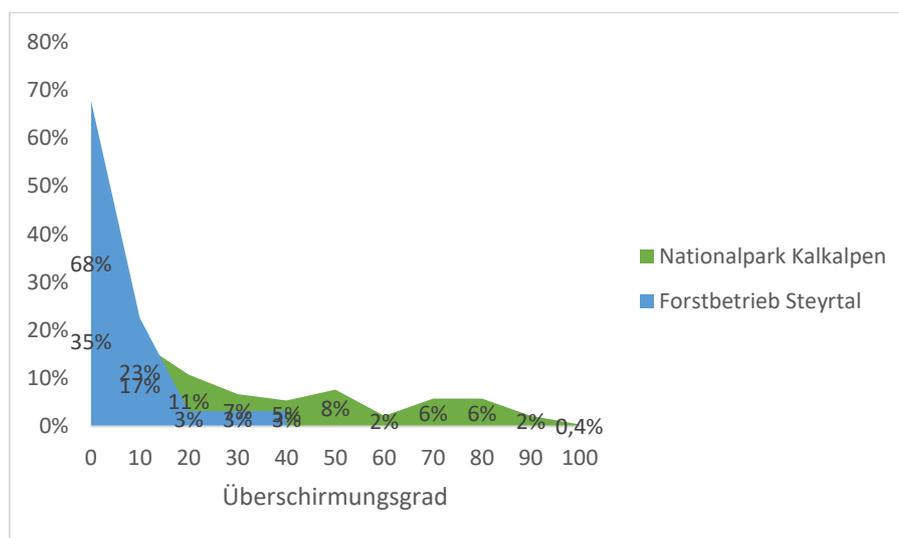


Abbildung 14: Die Grafik zeigt die Verteilung der PK nach den Überschirmungsgraden, in 10er Stufen angesprochen, für den NPK sowie für den FBS.

Im NPK fielen 35 % aller PK auf Freiflächen mit einem Überschirmungsgrad von 0. Hier kamen alle Überschirmungsgrade vor, selbst der Überschirmungsgrad 100 konnte auf einem PK ermittelt werden. Im FBS fiel mit 68 % ein noch größerer Anteil in den Überschirmungsgrad 0 was bedeutet, dass 21 von 31 PK einen Überschirmungsgrad von 0 hatten.

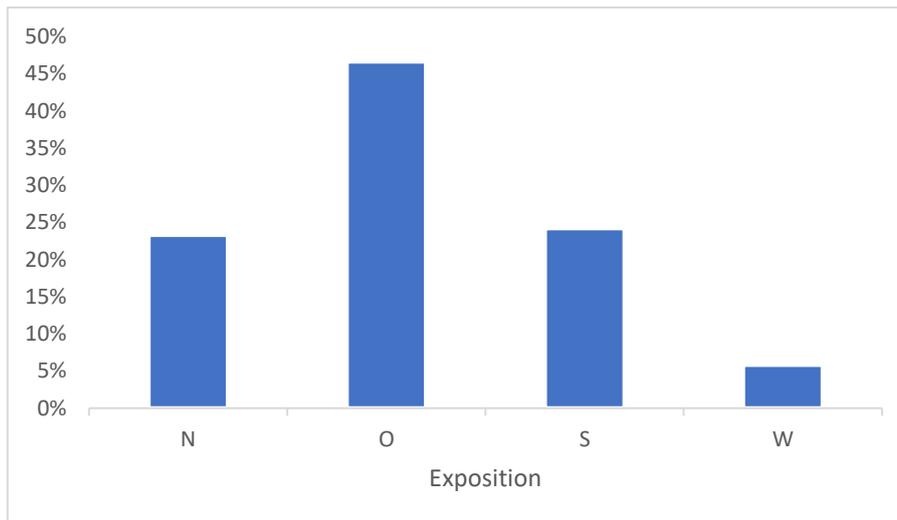


Abbildung 15: Die Verteilung der PK nach den Expositionen gibt es nur für den NPK.

Der überwiegende Teil der PK fiel mit 47 % auf ostexponierte Lagen, wohingegen lediglich 6 % der PK auf westexponierten Lagen vorkamen. Die nordexponierten Lagen ergaben einen Anteil von 23 %, ähnlich wie die südexponierten Lagen mit einem Anteil von 24 %.

4.2 Welche Faktoren limitieren die Weißtanne in der Verjüngung im NPK?

4.2.1 Wie wirkt sich das Wildtiermanagement und der Wildtiereinfluss auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

H0: Die Erlegung von Schalenwild hat keine Auswirkung auf den Nachweis der Tanne.

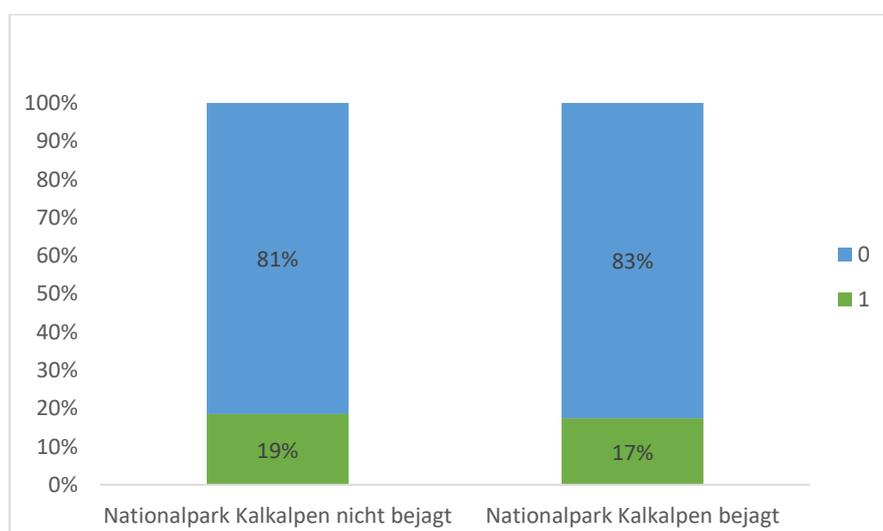


Abbildung 16: Anteile an PK im NPK in denen Tannen in der Verjüngung (1) oder keine Tannen in der Verjüngung vorgekommen sind (0).

Bei den n= 108 PK in der unbejagten Zone des NPK konnten bei 19 % der PK Tannen in der Verjüngung festgestellt werden. In die Zone mit Bejagung fielen n=115 und der Anteil an PK worauf Tannen in der Verjüngung festgestellt wurden machte hier 17 % aus.

Tabelle 1: Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten (exp(B)) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	exp(B)	p
Intercept	-1.482	0.227	<.001
Bejagt	-0.077	0.926	.826

Die Ergebnisse der generalisierten logistischen Regression zeigen, dass die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann ($p = .826$). Die Bejagung zeigt somit keinen signifikanten Einfluss auf die Verjüngung der Tannen. Ohne Bejagung liegt die Eintrittswahrscheinlichkeit eine Tanne in der Verjüngung zu finden bei 18.5 % ($\text{exp}(B) = 0.227$), wenn jedoch bejagt wird sinkt die Wahrscheinlichkeit eine Tanne in der Verjüngung zu finden auf 17.4 %. Das Pseudo- R^2 nach Nagelkerke beträgt $R^2 < .001$ und das Pseudo- R^2 nach Cox and Snell beträgt ebenfalls $R^2 < .001$, was beides einem nicht interpretierbaren Effekt durch die Bejagung entspricht (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass die Bejagung keine Auswirkungen auf das Vorkommen von Tannen in der Verjüngung hat.

H0: Die Erlegung von Schalenwild hat keine Auswirkung auf die Höhe der Tanne in der Verjüngung.

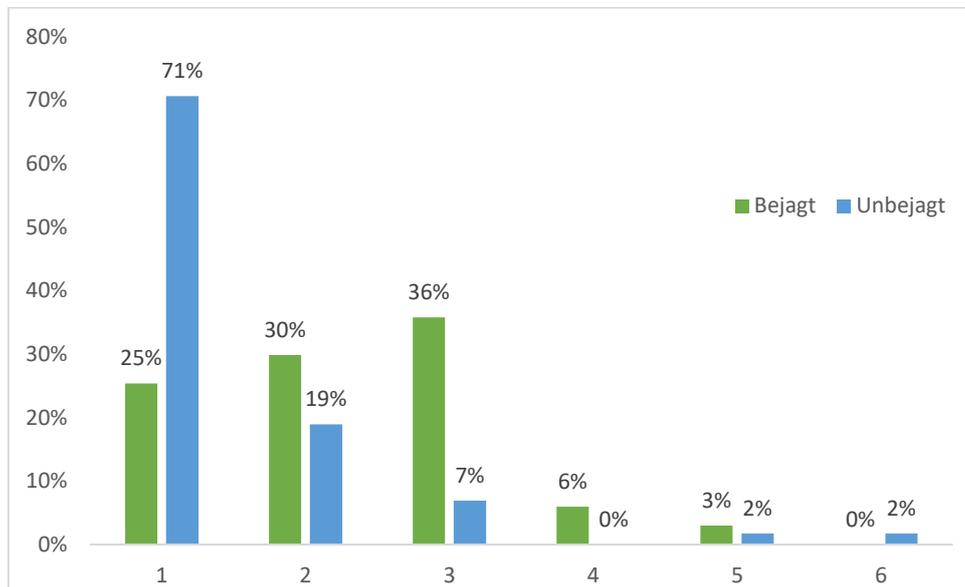


Abbildung 17: Die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen in den bejagten und unbejagten Gebieten.

Bei den 115 bejagten PK steigt der Anteil der Höhenklasse 1 von 25 % bis hin zur Höhenklasse 3 mit 36 % an, danach fallen die Anteile sehr stark ab. Die Höhenklasse 4 verzeichnet nur noch einen Anteil von 6 % und die Höhenklasse 5 macht lediglich 3 % der Höhenklassenanteile der bejagten PK aus. Die sechste Höhenklasse ist auf bejagten PK nicht vorgekommen.

Bei den 108 unbejagten PK macht die Höhenklasse 1 mit 71 % den überwiegenden Teil aller Höhenklassen aus. Die Höhenklasse 2 hat einen Anteil von 19 % und die Höhenklasse 3 einen Anteil von 7 %. Die Höhenklasse 4 kam auf unbejagten PK nicht vor. Mit jeweils einem Anteil von 2 % sind die Höhenklassen 5 und 6 vertreten.

Tabelle 2: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	β	p
Intercept	1.483		<.001
Bejagt	0.831	.385	<.001

Die Ergebnisse des linearen Modells zeigen, dass bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit die Nullhypothese abgelehnt werden kann ($p < .001$). Die Bejagung hat somit einen positiven Einfluss auf die Höhe der Tanne in der Verjüngung. Durch die Bejagung nimmt die Einheit der Höhenklasse in der Stichprobe um $B = 0.830$ Einheiten zu, und die Variable Bejagung kann 14.86 % ($R^2 = 0.149$) der Streuung erklären, dies entspricht einem mittleren Effekt (Ellis, 2010).

4.2.2 Wie wirkt sich das Wildtiermanagement auf den Verbiss der Weißtanne aus?

H0: Die Erlegung von Schalenwild hat keine Auswirkung auf den Verbiss der Tanne.

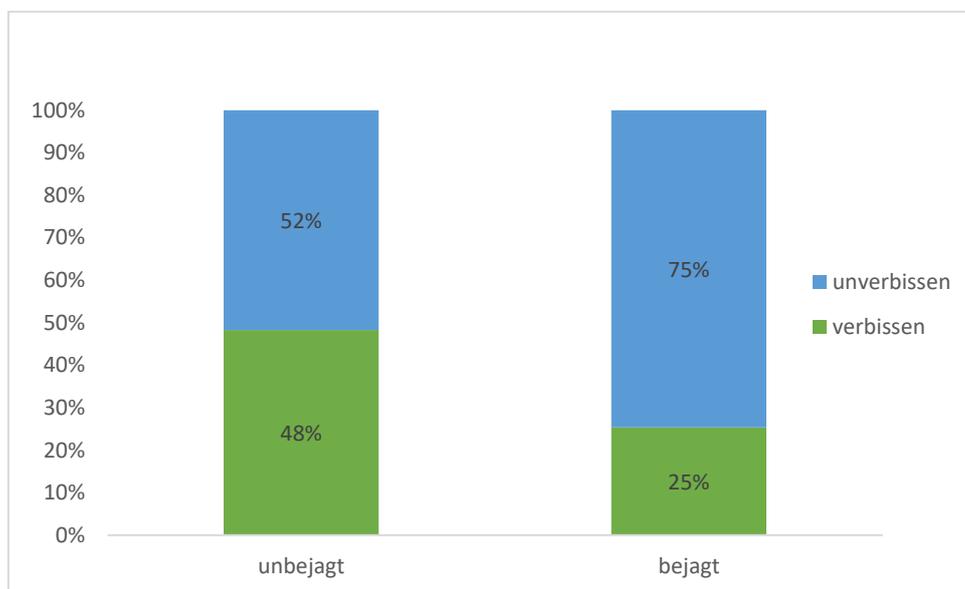


Abbildung 18: Verbissprozent der Tannen in den bejagten und unbejagten PK.

Bei den $n = 58$ Tannen in der unbejagten Zone wurde ein Verbissprozent von 48 % festgestellt. In der Zone mit Bejagung befanden sich $n = 67$ Tannen und der Anteil von verbissenen Tannen betrug 25 %.

Tabelle 3: : Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (Tannenverbiss) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten (exp(B)) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	exp(B)	p
Intercept	-0.069	0.933	.793
Bejagt	-0.693	0.364	.009

Die Ergebnisse zeigen, dass die Nullhypothese abgelehnt werden muss ($p = .009$). Die Bejagung zeigt einen signifikanten Einfluss auf den Verbiss der Tannen. Ohne Bejagung liegt die Eintrittswahrscheinlichkeit eine verbissene Tanne in der Verjüngung zu finden bei 48.3 % ($\text{exp}(B) = 0.933$), wenn jedoch bejagt wird sinkt die Eintrittswahrscheinlichkeit eine verbissene Tanne in der Verjüngung zu finden auf 25.4 %. Das Pseudo- R^2 nach Nagelkerke beträgt $R^2 < .001$ und das Pseudo- R^2 nach Cox and Snell beträgt ebenfalls $R^2 < .001$ was beides einem nicht interpretierbaren Effekt durch die Bejagung entspricht (Ellis, 2010).

H0: Der Verbiss hat keine Auswirkung auf die Höhe der Tanne in der Verjüngung.

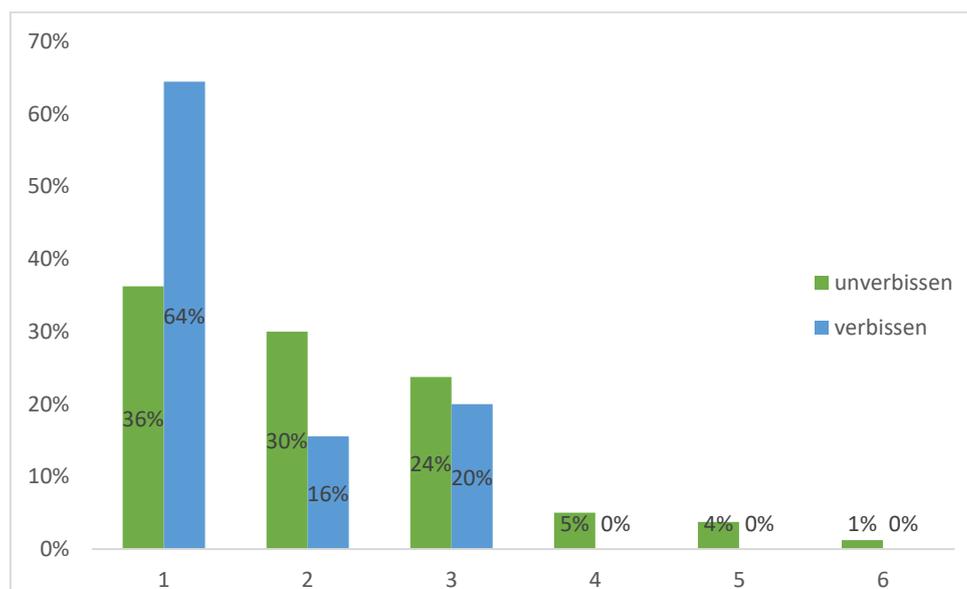


Abbildung 19: Die Anteile der verbissenen und unverbissenen Tannen in den einzelnen Höhenklassen.

Nicht verbissene Tannen treten in allen sechs Höhenklassen auf, den größten Anteil hat hier die Höhenklasse 1 mit 36 %. Danach fällt der Anteil an unverbissenen Tannen in allen weiteren Höhenklassen kontinuierlich ab. Die verbissenen Tannen in der Verjüngung kommen nur in den Höhenklassen 1 bis 3 vor. Die Höhenklasse 1 macht hier mehr als die Hälfte aller verbissenen Tannen aus.

Tabelle 4: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Verbiss) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	β	p
Intercept	2.138		<.001
Verbiss	-0.582	-.260	.003

Die Ergebnisse des linearen Modells zeigen, dass die Nullhypothese abgelehnt werden muss ($p = .003$). Der Verbiss hat einen negativen Einfluss auf die Höhe der Tannenverjüngung. Durch den Verbiss nimmt die Einheit der Höhenklasse in der Stichprobe um $B = 0.582$ Einheiten ab, und die Variable Verbiss kann 6.75 % ($R^2 = 0.068$) der Streuung erklären. Dies kann als kleine Effektstärke interpretiert werden (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass der Verbiss eine negative Auswirkung auf die Höhenklassen der Tannenverjüngung hat. Der Unterschied bei den Höhenklassen ist signifikant, jedoch hat der Verbiss nur einen kleinen Effekt darauf.

4.2.3 Wie wirken sich Samenbäume auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

H0: Das Vorhandensein eines Weißtannensamenbaum hat keine Auswirkung auf das Vorhandensein der Tanne in der Verjüngung.

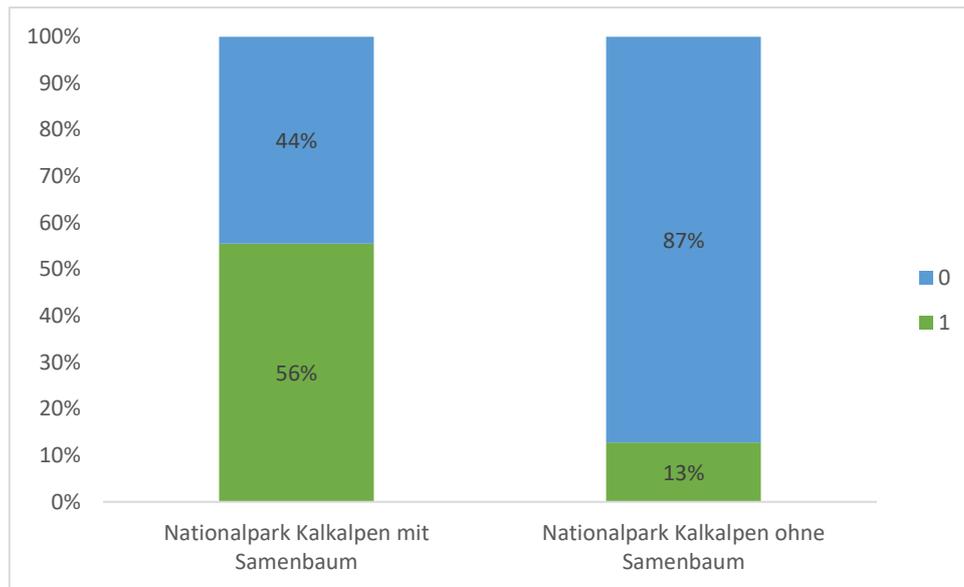


Abbildung 20: Anteile an PK im NPK in denen Tannen in der Verjüngung (1), oder keine Tannen in der Verjüngung vorgekommen sind (0), für PK mit und ohne Samenbaum in der näheren Umgebung.

Bei $n=27$ PK im NPK konnten Tannensamenbäume in der näheren Umgebung festgestellt werden. Wenn Samenbäume vorhanden waren dann sind bei 56 % dieser PK Tannen in der Verjüngung festgestellt worden. Bei den $n=196$ PK ohne Samenbaum konnten hierbei nur bei 13% der PK Tannen in der Verjüngung festgestellt werden.

Tabelle 5: Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Tannensamenbaum) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten ($\exp(B)$) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	$\exp(B)$	p
Intercept	-1.923	0.145	<.001
Samenbaum	2.146	8.550	<.001

Die Ergebnisse der logistischen Regression zeigen, dass die Nullhypothese abgelehnt werden muss ($p < .001$). Das Vorhandensein eines Samenbaumes hat einen starken positiven Einfluss auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung. Mit einem Samenbaum liegt die Wahrscheinlichkeit eine Tanne in der Verjüngung zu finden bei 55.6%, wenn jedoch kein Samenbaum vorhanden ist, sinkt die Wahrscheinlichkeit eine Tanne in der Verjüngung zu finden auf 12.8 %. Das Pseudo- R^2 nach Nagelkerke beträgt $R^2 = .161$ und das Pseudo- R^2 nach

Cox and Snell beträgt $R^2 = .098$ was beides einem mittleren Effekt durch das Vorhandensein eines Samenbaumes entspricht (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass ein Samenbaum eine Auswirkung auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung hat. Der Unterschied in den Probeflächen ist signifikant und hat einen mittleren Effekt.

H0: Das Vorhandensein eines Weißtannensamenbaum hat keine Auswirkung auf die Höhe der Tanne in der Verjüngung.

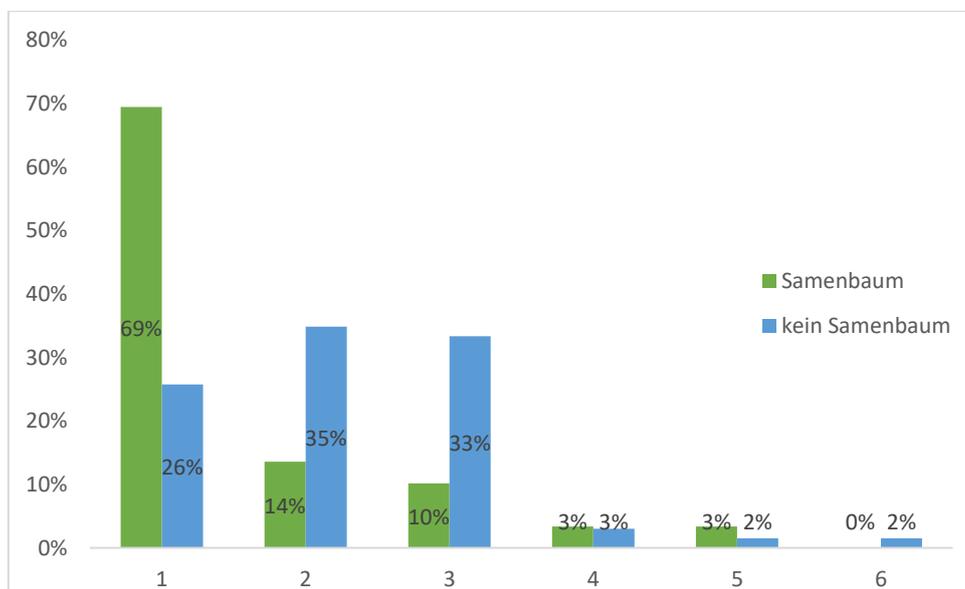


Abbildung 21: Die Grafik zeigt die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen für PK mit und ohne Samenbaum

Bei den PK mit Samenbaum fällt mit 69 % der größte Teil in die Höhenklasse 1. Die weiteren Anteile nehmen mit zunehmender Höhenklasse ab und zwar von der Höhenklasse 2 mit 14 % bis hin zur Höhenklasse 4 und 5 mit einem Anteil von je 3 %. Die Höhenklasse 6 kommt gar nicht vor. Die Höhenklassen der PK ohne Samenbaum von 1 bis 3 sind ähnlich verteilt und ergeben zusammen über 90 %, wobei die Höhenklasse 2 den größten Anteil mit 35 % ausmacht. Die Höhenklassen 4 bis 6 ergeben gemeinsam lediglich einen Anteil von 7 % aller Höhenklassen von PK ohne Samenbaum.

Tabelle 6: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Tannensamenbaum) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	β	p
Intercept	2.242		<.001
Samenbaum	-0.666	-.309	<.001

Die Ergebnisse des linearen Modells zeigen, dass die Nullhypothese abgelehnt werden muss ($p < .001$). Der Samenbaum hat somit einen negativen Einfluss auf die Höhe der Tannenverjüngung. Durch den Samenbaum nimmt die Einheit der Höhenklasse in der Stichprobe um $B = 0.666$ Einheiten ab und die Variable Samenbaum kann 9,6 % ($R^2 = 0.096$) der Streuung erklären, was einem mittleren interpretierbaren Effekt durch den Samenbaum entspricht (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass ein Samenbaum Auswirkung auf die Höhenklassen von Tannen in der Verjüngung hat. Der Unterschied in den Probeflächen ist signifikant und hat einen mittleren Effekt.

4.2.4 Wie wirkt sich der Überschirmungsgrad auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

H0: Der Überschirmungsgrad hat keine Auswirkung auf den Nachweis der Tanne in der Verjüngung.

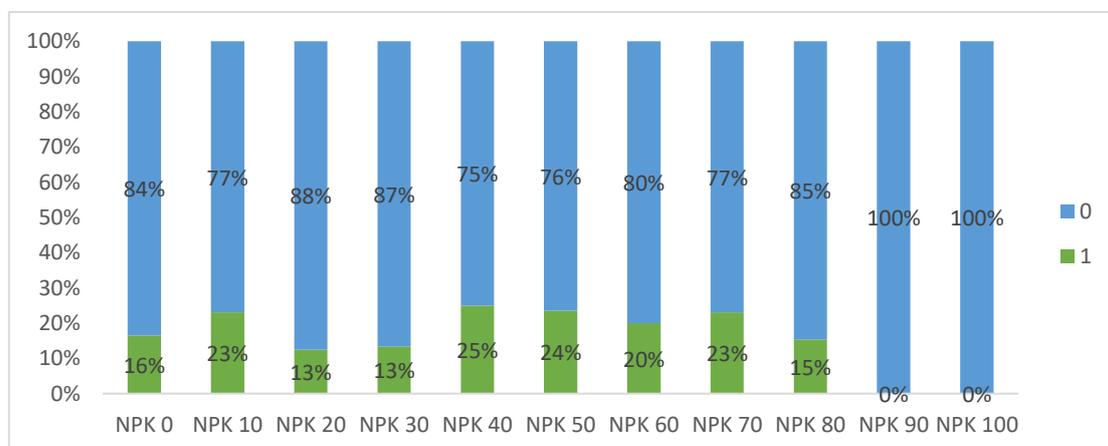


Abbildung 22: Die Anteile der PK mit und ohne Tanne in den einzelnen Überschirmungsgraden (0= keine Tanne im PK, 1= Tanne im PK) Auf der X- Achse sind die Überschirmungsgrade für den Nationalpark Kalkalpen eingetragen.

Bei den beiden höchsten Überschirmungsgraden 90 und 100 % konnten keine Tannen in der Verjüngung festgestellt werden. Am häufigsten konnten Tannen in der Verjüngung beim Überschirmungsgrad 50 % nachgewiesen werden, diese konnten auf 25 % der PK nachgewiesen werden. In den Überschirmungsgraden 0 bis 80 streut der Anteil der Tannen in der Verjüngung zwischen 13 % und 25 %.

Tabelle 7: : Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Überschirmungsgrad) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten (exp(B)) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	exp(B)	p
Intercept	-1.504	0.222	<.001
Überschirmungsgrad	-0.001	0.999	.912

Die Ergebnisse der logistischen Regression zeigen, dass die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann ($p = .912$). Die Überschirmung hat keinen signifikanten Einfluss auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung. In der Stichprobe sinkt die Eintrittswahrscheinlichkeit eine Tanne in der Verjüngung zu finden mit steigendem Überschirmungsgrad. Das Pseudo- R^2 nach Nagelkerke beträgt $R^2 < .001$ und das Pseudo- R^2 nach Cox and Snell beträgt $R^2 < .001$ was beides einem vernachlässigbaren Effekt entspricht (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass der Überschirmungsgrad keine Auswirkungen auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung hat. Der geringe Unterschied in den Probeflächen ist nicht signifikant.

H0: Der Überschirmungsgrad hat keine Auswirkung auf die Höhe der Tanne in der Verjüngung.

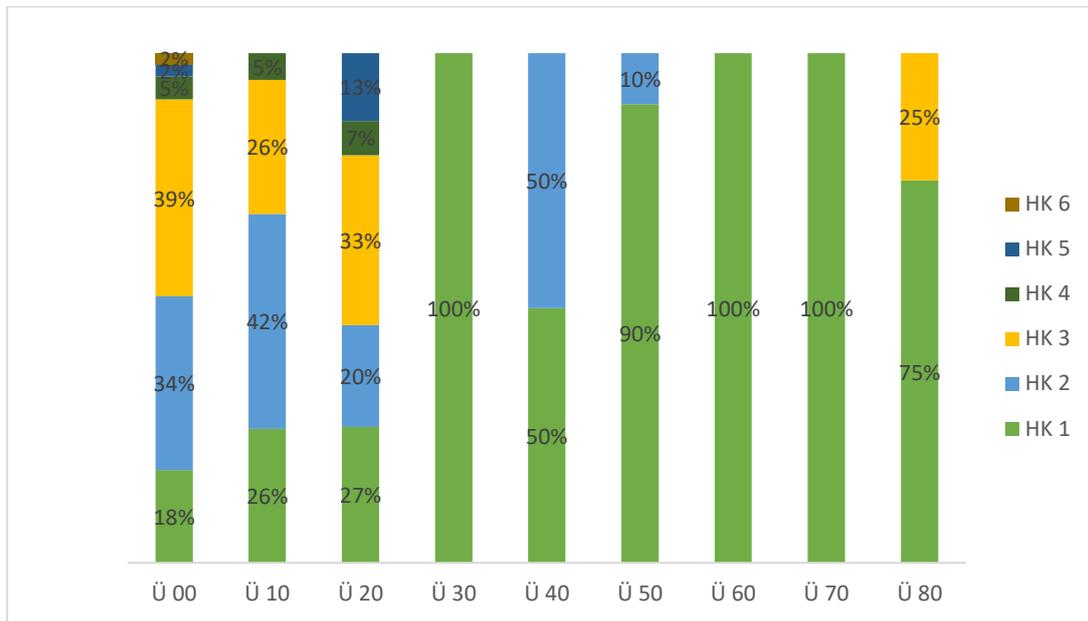


Abbildung 23: Die Grafik zeigt die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen in den jeweiligen Überschirmungsgraden.

Die Überschirmungsgrade 90 % und 100 % sind bei den Aufnahmen vorgekommen, jedoch befanden sich auf diesen PK keine Tannen in der Verjüngung. Daher wurde auf eine Darstellung in der Abbildung 23 verzichtet. Die Höhenklasse 6 kam nur einmal vor und dies war bei einer Überschirmung von 0. Bei den Überschirmungsgraden 30 %, 60 % und 70 % kam ausschließlich die Höhenklasse 1 vor. Die Höhenklasse 5 war lediglich bei den Überschirmungsgraden 0 % und 20 % enthalten. Die Höhenklasse 4 kam in den Überschirmungsgraden 0 % bis 20 % vor und wurde auf PK mit anderen Überschirmungsgraden nicht beobachtet.

Tabelle 8: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Überschirmungsgrad) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	β	p
Intercept	2.454		<.001
Überschirmungsgrad	-0.022	-.505	<.001

Die Ergebnisse des linearen Modells zeigen, dass die Nullhypothese abgelehnt werden muss ($p < .001$). Der Überschirmungsgrad hat einen negativen Einfluss auf die Höhenklassen der Tannenverjüngung. Durch die Überschirmung nimmt die Höhenklasse um 0.022 Einheiten ab, und die Variable Überschirmungsgrad kann 25.5 % ($R^2 = 0.255$) der Streuung erklären, dies entspricht einem starken Effekt (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass der Überschirmungsgrad eine negative Auswirkung auf die Höhe der Tannenverjüngung hat.

4.2.5 Wie wirkt sich Exposition auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

H0: Die Exposition hat keine Auswirkung auf den Nachweis der Tanne in der Verjüngung.

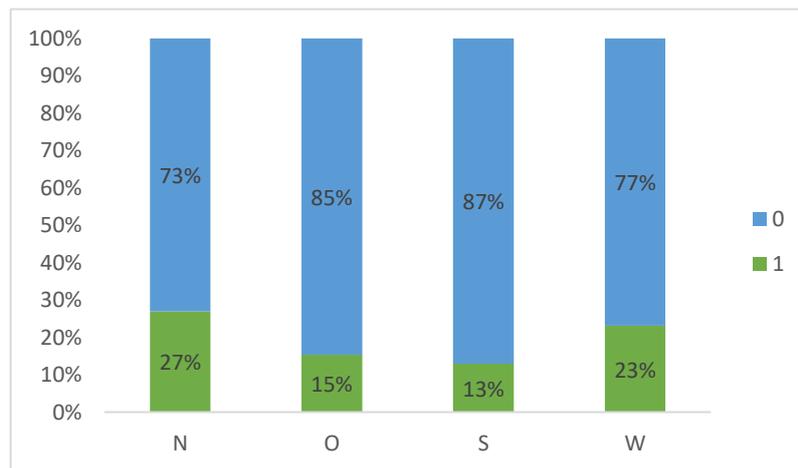


Abbildung 24: Anteile an PK für die jeweilige Exposition in denen Tannen in der Verjüngung (1) oder keine Tannen in der Verjüngung vorgekommen sind (0).

Bei der Exposition Nord konnten auf 27 % aller PK Tannen in der Verjüngung festgestellt werden. Am seltensten konnten Tannen in der Verjüngung auf südexponierten Lagen mit 13 % nachgewiesen werden.

Tabelle 9: Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Exposition) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten (exp(B)) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	exp(B)	p
Intercept Nord	-0.999	0.368	.001
Ost	-0.706	0.494	.882
Süd	-0.906	0.404	.077
West	-0.205	0.814	.778

Die Ergebnisse der logistischen Regression zeigen, dass die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann ($p > .050$). Die Exposition hat keinen signifikanten Einfluss auf den Nachweis der Tanne in der Verjüngung. Es gibt lediglich den Trend, dass sich nord- und südexponierte Lagen mit einem p-Wert von $p = .077$ unterscheiden. Das Pseudo- R^2 nach Nagelkerke beträgt $R^2 = .031$ und dies entspricht einem schwachen Effekt. Das Pseudo- R^2 nach Cox and Snell beträgt $R^2 = .019$ was keinem Effekt entspricht (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass die Exposition keine Auswirkung auf den Nachweis von Tannen in der Verjüngung hat.

H0: Die Exposition hat keine Auswirkung auf die Höhe der Tannenverjüngung.

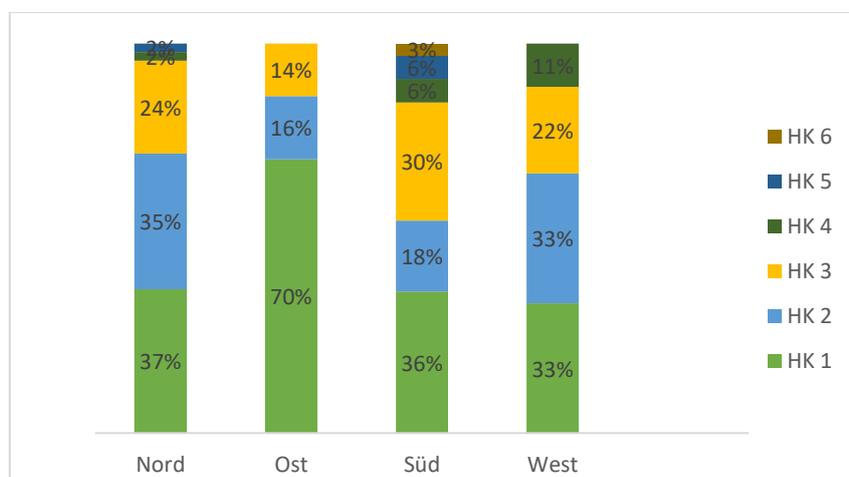


Abbildung 25: Die Grafik zeigt die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen für die jeweilige Exposition.

Auf den nordexponierten Lagen sind bis auf die Höhenklasse 6 alle Höhenklassen vorgekommen. Mit 35 % machen die Höhenklassen 1 und 2 den größten Anteil aus. Auf den ostexponierten Lagen sind die Höhenklassen 1 bis 3 vorgekommen, wobei die Höhenklasse 1 mit 70% den größten Anteil ausmacht. Einzig in PK auf südexponierten Lagen sind alle Höhenklassen vorgekommen, die Höhenklasse 1 spiegelt hierbei den größten Anteil mit 36 % wider. Die Höhenklasse 3 zeigt mit 30 % die zweitstärkste Ausprägung. Auf den westexponierten Lagen konnten die Höhenklassen 1 bis 4 verzeichnet werden. Mit jeweils 33 % machen die Höhenklassen 1 und 2 den größten Anteil aus.

Tabelle 10: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Exposition) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	β	p
Intercept Nord	1.978		<.001
Ost	-0.546	-.232	.018
Süd	0.385	.158	.104
West	0.133	.032	.724

Die Ergebnisse des linearen Modells zeigen, dass bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann. Nur die Expositionen Nord und Ost unterscheiden sich mit einem p-Wert von $p = .018$ und somit gibt es hier eine Signifikanz. Für die beiden anderen Expositionen kann das Signifikanzniveau von 5 % nicht erreicht werden. Durch die Ostexposition nimmt die Höhenklasse um 0.546 Einheiten ab und die Variable Überschirmungsgrad kann 10.9 % ($R^2 = 0.109$) der Streuung erklären. Der standardisierte Regressionskoeffizient β zeigt für den Unterschied zwischen Nord und Ost einen schwachen Effekt an ($\beta = -.232$) (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass die Exposition nur im Vergleich zwischen Nord und Ost eine Auswirkung auf die Höhenklasse der Tannenverjüngung hat. Für die anderen Expositionen kann keine Schlussfolgerung auf die Grundgesamtheit gezogen werden.

4.2.6 Multiple lineare Modelle zu den limitierenden Faktoren der Weißtannenverjüngung im NPK

Tabelle 11: Multiples lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten (exp(B)) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	exp(B)	p
Intercept Nord	-1.105	0.331	.014
Ost	-0.725	0.484	.117
Süd	-0.850	0.427	.120
West	-0.348	0.706	.669
Bejagung	-0.176	0.838	.664
Samenbaum	2.360	10.586	<.001
Überschirmungsgrad	-0.010	0.999	.223

Im multiplen linearen Modell, über den Nachweis der Tannenverjüngung in den PK, sticht ein Faktor mit einer sehr hohen Signifikanz hervor. Es handelt sich um den Faktor Samenbaum welcher mit $p < .001$ alle anderen Modellfaktoren übertrifft. Gibt es einen Samenbaum, so erhöht sich die Chance auf das Aufkommen einer Tanne im Vergleich zu keinem Samenbaum um das $\exp(B) = 10.586$ -fache. Das Pseudo- R^2 nach Nagelkerke beträgt $R^2 = .198$ und somit ist das Modell nach Nagelkerke knapp nicht akzeptabel. Das Pseudo- R^2 nach Cox and Snell beträgt $R^2 = .121$ und ist ebenfalls unter der akzeptablen Grenze von 0.2 für ein Modell nach Cox und Snell (Ellis, 2010).

Tabelle 12: Multiples lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängigen Variablen (Exposition, Bejagt, Tannensamenbaum, Überschirmungsgrad und Verbiss) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	B	β	p
Intercept Nord	2.078		<.001
Ost	-0.022	-.009	.924
Süd	0.515	.211	.018
West	0.128	.031	.725
Bejagung	0.326	.151	.117
Samenbaum	-0.189	-.088	.370
Überschirmungsgrad	-0.015	-.336	.005
Verbiss	-0.104	-.046	.608

Das multiple lineare Modell zeigt, dass sich die Exposition von Süd bis Nord mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = .018$ unterscheidet. Die Exposition Süd hat im Vergleich zu Nord eine um 0.515 höhere Höhenklasse. Der Überschirmungsgrad hat das mit 5 % geforderte Signifikanzniveau mit einem p-Wert von $p = .005$ erreicht. Bei den standardisierten β -Werten zeigt der Überschirmungsgrad den höchsten Effekt ($\beta = -.336$) mit starkem negativem Einfluss. Das Modell kann eine Streuung von 31.7 % ($R^2 = .317$) erklären, dies entspricht einer guten Anpassung (Ellis, 2010).

Somit geht aus den Daten hervor, dass die Exposition (Vergleich von Nord zu Süd) eine Auswirkung auf die Höhe der Tannenverjüngung hat. Der Überschirmungsgrad ist ebenfalls signifikant und hat einen starken negativen Effekt auf die Höhe der Tannenverjüngung.

4.3 Gibt es Unterschiede in den limitierenden Faktoren der Tannenverjüngung zwischen Nationalpark und Wirtschaftswald?

4.3.1 Limitierende Faktoren für das Vorkommen von Tannen in der Verjüngung

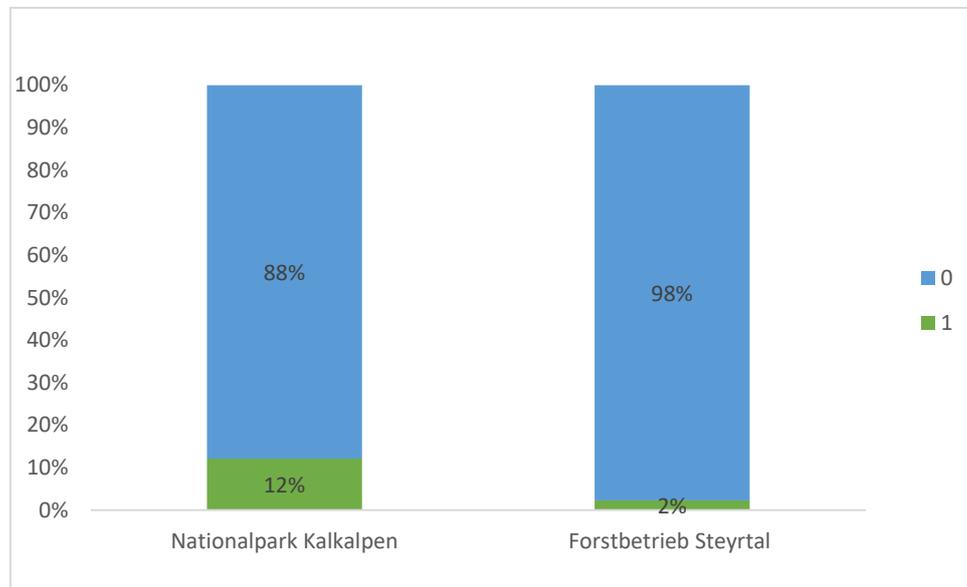


Abbildung 26: Anteil der Probekreise ohne beziehungsweise mit Tannensamenbäumen in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS (0= Anteil ohne Samenbaum, 1= Anteil mit Samenbaum).

Der limitierende Faktor für das Vorkommen der Tannen im PK war, wie die vorangegangenen Analysen zeigten, das Vorhandensein eines Samenbaumes. Bei 27 PK im NPK konnten Samenbäume im Radius von 25 m festgestellt werden, im FBS wurde hingegen nur 1 Samenbaum im selben Radius festgestellt.

Für den Stichprobenvergleich zwischen dem NPK und dem FBS wurde ein exakter Test nach Fisher angewendet. Dieser Test ergab, dass sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($p = .059$) die beiden Stichproben nicht unterscheiden. Es lässt sich aber ein Trend feststellen, dass Samenbäume im NPK häufiger vorkommen als im FBS.

4.3.2 Limitierende Faktoren der Höhe der Tannenverjüngung

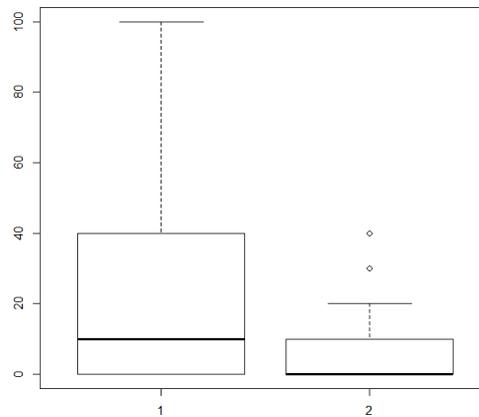


Abbildung 27: Verteilung des Überschirmungsgrades der Probekreise im Nationalpark Kalkalpen (1) und im Forstbetrieb Steyrtal (2)

Der wichtigste limitierende Faktor für die Höhe der Tannenverjüngung war gemäß den vorangegangenen Analysen der Überschirmungsgrad. Der Median der Überschirmungsgradverteilung des NPK liegt bei 10, wobei der Maximalwert bei 100 und der Minimalwert bei 0 liegen. Das erste Quantil der Verteilung im NPK liegt bei 0 und das dritte Quantil bei 40. Zur Ergänzung kommt noch der Mittelwert hinzu, dieser befindet sich bei 24.44.

Die Verteilung der Überschirmung im FBS liegt mit einem Median von 0 unter dem des NPK. Der Maximalwert des FBS befindet sich bei 40 und der Minimalwert bei 0. Das erste Quantil bildet zugleich den Median und ergibt einen Wert von 0. Das dritte Quantil liegt bei einem Wert von 10. Ebenfalls wird hier der Mittelwert ergänzt, dieser befindet sich bei 5.16.

Tabelle 13: T-Test für den Überschirmungsgrad im FBS und NPK mit dem Mittelwert (mean), T- Wert (T), Freiheitsgrade (df) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).

Variable	mean	T	df	p
NPK	24.439	7.600	118.22	<.001
Forstbetrieb	5.161			

Der errechnete p-Wert von $p < .001$ ist höchst signifikant. Somit unterscheiden sich der NPK und der FBS bezüglich der Überschirmungsgrade eindeutig. Die Mittelwerte der Überschirmung liegen beim NPK bei $M = 24.44$ ($SD = 27.75$) und beim FBS bei $M = 5.16$ ($SD = 9.62$). Nach Cohen entspricht dies mit Cohen's d ($d = .734$) einem mittelstarken Effekt (Cohen, 1988).

5 Diskussion

Die erfolgreiche Tannenverjüngung ist ein sehr komplexes Thema, das vom Zusammenspiel vieler Faktoren abhängig ist.

Ziel dieser Masterarbeit war es, den limitierenden Faktor für die erfolgreiche Tannenverjüngung zu ermitteln. Hierfür konnte im Zuge des ÖBF-Jungwuchsmonitoring eine Kooperation eingegangen werden, um so eine größere Anzahl an Probepunkten zu realisieren. Die von den Mitarbeitern der ÖBF erhobenen Daten des Verbisses und der Höhenklasse wurden noch um die Faktoren Tannensamenbaum, Exposition und Überschirmung erweitert. Die Böden als Einflussgröße wurden in dieser Arbeit nicht behandelt da hierfür die Ressourcen nicht ausreichten, um Bodenprofile zu erstellen. Als Verbiss wurde nur der letztjährige Verbiss gewertet und stellt somit lediglich eine Momentaufnahme dar, welche anhand mehrjähriger Auswertung aussagekräftiger wäre, da hier strenge Winter den Wildstand und somit auch den Wildverbiss beeinflussen können. Der Abstand eines für die Aufnahmen miteinbezogenen Tannensamenbaumes zum Kreismittelpunkt der Probefläche wurde für die Umsetzbarkeit auf einen maximalen Abstand von 25 m beschränkt. Die Höhenklasse der Tanne ist zwar stark vom Alter geprägt jedoch wurden hierzu keine-Daten erhoben, da angenommen wurde, dass sich der Parameter Alter über die gesamten Stichproben gleich verteilt und daher keine Rolle spielt. Beim Überschirmungsgrad aller aufgenommenen Probekreise zeigte sich eine Tendenz zu Probeflächen mit geringer Überschirmung. In absoluten Zahlen ausgedrückt konnten im NKP nur 37 PK (gesamte Stichprobe $n = 223$) einen Überschirmungsgrad über 50 vorweisen und dies verdeutlicht, dass die Aufnahmen selten in stark überschirmte Verjüngungsflächen fielen. Somit sollte kritisch hinterfragt werden ob die zukünftige Auswahl der Aufnahmeflächen möglicherweise an die Bedürfnisse der Tanne, wie beispielsweise lange Verjüngungszeiträume unter Schirm, angepasst werden sollte. Eine präzisere Unterscheidung der Bejagung in intervall- und schwerpunktbejagte Flächen könnte das Modell für Bejagung zusätzlich verbessern. Wenn jedoch lediglich der Wildeinfluss in Bezug auf die Tannenverjüngung

aufgezeigt werden soll, wird es nötig sein, eingezäunte Flächen anzulegen und jahrelanges Monitoring zu betreiben.

5.1 Wie wirkt sich das Wildtiermanagement auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

Der Wildeinfluss in der Waldverjüngung ist auch im NPK sichtbar (Abbildung 28) und trägt wesentlich zu der aufkommenden Baumartenzusammensetzung bei. Die Ergebnisse dieser

Abbildung 28: Bild einer ehemals eingezäunten Verjüngungsfläche, die sich ohne Wildeinfluss entwickeln konnte.



Arbeit zeigen jedoch, dass die Bejagung keinen signifikanten Einfluss ($p = 0.826$) auf das Vorhandensein der Tanne in der Verjüngung hat. Es zeigte sich, dass es durch die bloße Unterscheidung in bejagte und unbejagte Flächen, anhand der ausgewerteten Modelle, keine Unterschiede in dem Nachweis von Tannen gab. Bei den Höhenklassen zeigten sich im Modell klare Unterschiede. Es wurden keine Keimlinge aufgenommen, jedoch wäre es hier möglich gewesen Unterschiede im Nachweis von Tannen in der Verjüngung zu finden.

Aus den Ergebnissen des Modells von 5.1.2 geht hervor, dass die Bejagung eine Auswirkung auf den Tannenverbiss in der Verjüngung hat. Demzufolge beeinflussen Jagd und Verbiss die Tannenverjüngung, die Effektstärke hätte jedoch noch deutlicher ausgeprägt sein können. Möglicherweise würde es eine noch schärfere Trennlinie für die bejagten Flächen in Schwerpunktbejagung und Intervallbejagung benötigen, um Unterschiede in der Tannenverjüngung feststellen zu können. In einem Projekt zur Schwerpunktbejagung und deren Auswirkung auf die Jungwaldentwicklung ist ein positiver Einfluss durch die Bejagung zustande gekommen (Messner, Nothdurfter, & Reimoser, 2016). In dieser Arbeit wurde der Wildeinfluss auf die Waldverjüngung durch Schwerpunktbejagung stark reduziert und somit auch ein Aufkommen der Tannen ermöglicht. Die Auswirkung mittels Schwerpunktbejagung zeigt sich in einer Vergrämung des Wildes in Folge der kurzen Abstände, in denen die bejagte Fläche aufgesucht wird. Durch diese erfolgreiche Vergrämung konnten sich die vom Wild häufig verbissenen Laubbölzer und die Tanne in der Waldverjüngung etablieren. Auch den Großraubtieren, wie beispielsweise dem Luchs, in Kombination mit der Jagd wird ein positiver Einfluss für Tannenverjüngung zugeschrieben, da beides zusammen

eine effektivere Wildtierregulierung ermöglicht (Kupferschmid & Bollmann, 2016; Schnyder et al., 2016). Der positive Einfluss des Luchses auf eine erfolgreiche Tannenverjüngung ist aber wiederum von einer hohen Luchsdichte abhängig (Rüegg et al., 1999). In der Arbeit von Prietzel und Ammer zeigten sich durch intensive Bejagung klare Unterschiede in der Verjüngung (Prietzel & Ammer, 2008). Grundsätzlich zeichnet sich jedoch ab, dass durch die Bejagung Verbisshäufigkeit und die Höhe der Verjüngung beeinflusst werden können.

5.2 Wie wirken sich Samenbäume auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

Da sich der Wald im NPK nur durch natürliche Verjüngung erneuern kann und die Kunstverjüngung ausgeschlossen ist, ist der Samenbaum der Anfang für eine erfolgreiche

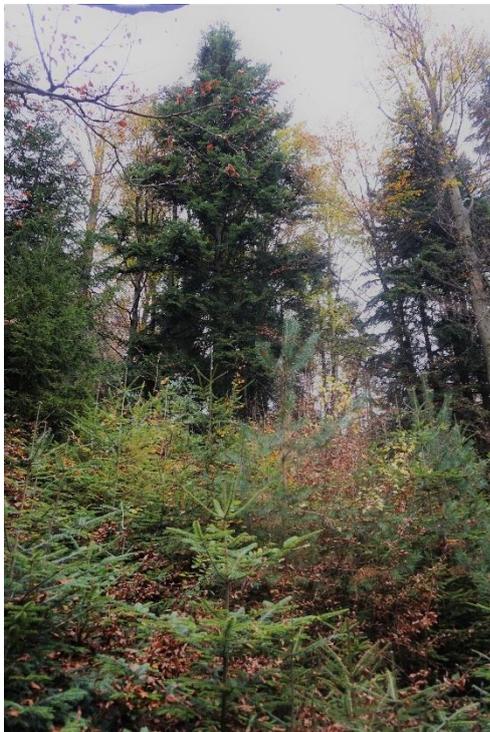


Abbildung 29: Tannensamenbaum im Hintergrund einer Jungwuchsfläche.

Tannenverjüngung wie in Abbildung 29 ersichtlich. Somit ist es wichtig zu wissen wie häufig Tannensamenbäume auch eine Verjüngung begründen können und ob dies nur in ihrem näheren Umfeld geschieht. Die Ergebnisse von zeigen, dass der Samenbaum einen signifikanten Einfluss auf das vorhanden sein der Tanne in der Verjüngung hat. Die Eintrittswahrscheinlichkeit, dass eine Tanne in der Probekreisverjüngung vorkam, stieg durch das Vorhandensein eines Samenbaumes auf 55.6 %, im Unterschied zu einem PK der keinen Samenbaum aufwies.

Die Ergebnisse zeigen, wie wichtig die Nähe eines vorhandenen Samenbaumes für die Verjüngung der Tanne ist, da die Tannensamen im Vergleich zur Fichte um ein vielfaches schwerer sind (Nather, 1992). Der überwiegende Teil der Tannensamen fällt in einem Radius von unter 25 m zu Boden, was eine weite Ausbreitung der Tanne eher unwahrscheinlich macht (Kutter, 2007). Das signifikante Ergebnis mit der erhöhten Tannenverjüngungswahrscheinlichkeit im Umkreis von 25 m um einen Samenbaum deckt sich mit den Ergebnissen von Kutter. Paluch kam ebenfalls zum Schluss, dass es eine enge Verbindung zwischen dem näheren Umkreis eines Samenbaumes und der Verjüngung bei Tannen gibt (Paluch, 2011).

Ein Teil der PK fiel auch auf Freiflächen, was das Vorhandensein eines Samenbaumes im näheren Umkreis des PK nicht ausschloss, dies aber nicht mehr messbar war. Hier wäre es interessant zu erfahren ob Tannen im PK, ohne Samenbaum in der Nähe, aufgrund eines nicht mehr vorhandenen Samenbaumes im näheren Umkreis entstanden sind oder deren Samen durch Wind verbreitet wurden. In seltenen Fällen kann auch der Tannenhäher für die weite Ausbringung der Samen verantwortlich sein (Grote, 1947; Nathan et al., 2002; Trakhtenbrot et al., 2005), jedoch ist durch einen Samenbaum in unmittelbarer Nähe die Verjüngung um einiges wahrscheinlicher.

5.3 Wie wirkt sich die Überschildung auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

Der Überschildungsgrad wurde okular in Zehnerstufen geschätzt (Abbildung 30). Da bei den Aufnahmen mehrere Leute beteiligt gewesen sind kann es hier zu Abweichungen kommen. Um diese Abweichung beim Ansprechen der Überschildung möglichst gering zu halten wurden vor den Aufnahmen Schematische Bildbeispiele für verschiedene Deckungsgrade ausgegeben.



Abbildung 30: Geringer Lichteinfall durch den hohen Überschildungsgrad des Kronendaches

Es ist zu erwarten, dass sich die Tanne unter höheren Überschildungsgraden besser verjüngt als bei geringen, da sie laut Literatur als schattentolerante Baumart beschrieben wird, welche sich am besten unter Schirm verjüngt (Dai, 1996; Paci, 2011; Robakowski et al., 2003). Die Auswertung hier aufgenommenen Daten zeigt mit einem Ergebnis von $p = .912$, dass die Überschildung keinen Einfluss auf das Vorhandensein von Tannen in der Verjüngung hat. Bei dem Einfluss der Überschildung auf die Höhenklassen zeichnete sich ebenfalls ein leicht negativer Zusammenhang ab, dieser war jedoch signifikant. Zur Klärung des Widerspruchs zwischen großen Teilen der Literatur und den Ergebnissen dieser Arbeit kann die These von Kupferschmid beitragen. Es zeigte sich in ihrer Arbeit von 2013, dass die Tanne bei viel Licht mehr Knospen ausbildet. Dies wiederum hat einen positiven Einfluss auf

das Höhenwachstum der Tanne, weil sie den Verbiss aufgrund der vielen Knospen besser kompensieren kann (Kupferschmid, Zimmermann, & Bugmann, 2013). Ein weiterer Grund warum sich die Tanne bei mehr Licht besser verjüngt ist, dass unter höherem Lichteinfluss auch

mehr alternative Äsung für das Wild zur Verfügung steht und dadurch Tannen weniger Verbiss und besseres Höhenwachstum aufweisen (Kupferschmid & Brang, 2010). In der Arbeit von Bareiss über die Tannenverjüngung im Misoxer Schutzwald konnte ebenfalls kein signifikanter Einfluss der Überschildung auf die Tannenverjüngung nachgewiesen werden (Bareiss, 2019). Somit ist das Zusammenspiel vieler Faktoren entscheidend und eine häufig angenommene These, welche besagt, dass sich Tannen im Schatten unter hoher Überschildung sehr gut verjüngen, ist zu vereinfacht.

5.4 Wie wirkt sich die Exposition auf die Verjüngung der Weißtanne aus?

Die Exposition bestimmt zu einem gewissen Grad das Mikroklima, das an einem Standort



Abbildung 31: Ermittlung der Exposition im freien Gelände

vorherrscht, und kann somit für eine erfolgreiche Verjüngung ausschlaggebend sein. In dieser Untersuchung konnte jedoch, bei einem Signifikanzniveau von 5 %, kein signifikanter Unterschied zwischen den Expositionen festgestellt werden (Abbildung 31). Es zeigte jedoch einen Trend, dass sich auf nordexponierten Lagen mehr Tannen in der Verjüngung befinden als auf südexponierten Lagen. Laut Leibundgut können sich expositionsbedingte Einflüsse auf Tannen durch den Überschildungsgrad so abschwächen, dass diese keinen Auswirkungen mehr auf die Tanne haben (Leibundgut, 1984). Untersuchungen über junge Weißtannen im sächsischen Erzgebirge kamen zu den Ergebnissen, dass die Exposition keinen belegbaren Einfluss auf das Wachstum der jungen Tannen hat, während

Mikrostandorte die der Bodenbedeckung Moos zugeordnet wurden die besten Ergebnisse beim Wachstum der Weißtannenverjüngung zeigten (Hamm et al., 2014). Somit kann gesagt werden, dass die Exposition allein keinen Einfluss auf die Tannenverjüngung hat. Exposition ist nur einer von vielen Einflüssen, die an einer erfolgreichen Verjüngung von Tannen beteiligt ist.

5.5 Vergleich zwischen Nationalpark Kalkalpen und Forstbetrieb Steyrtal

Der limitierende Faktor für die Auswertung, ob Tannen im PK vorkommen, ergab im multiplen linearen Modell den Samenbaum. Es zeichnet sich der Trend ab, dass im NPK Samenbäume

zahlreicher als im FBS vorkommen. Die Stichprobe im FBS war mit $n = 43$ nicht sehr groß. Wenn diese etwas größer ausgefallen wäre, hätte der sehr robuste und exakte Test nach Fischer vermutlich ein signifikantes Ergebnis erbracht.

Der limitierende Faktor für die Auswertung der Höhenklassen der Tannenverjüngung im multiplen linearen Modell ergab den Überschirmungsgrad, da dieser signifikant war. Der Mittelwert der Überschirmung liegt im NPK bei $M = 24.44$ klar über dem Mittelwert von jenem des FBS mit $M = 5.16$. Dieser Wert des FBS zeigt, dass der überwiegende Teil der Verjüngungsaufnahmen auf Freiflächen entfiel.

Da sich auch die Überschirmungen signifikant unterscheiden, wird die Vermutung angestellt, dass sich die verjüngungsnotwendigen Flächen im FBS und NPK ebenfalls unterscheiden. Zumeist sind die Verjüngungsflächen im FBS auf Freiflächen vorzufinden ($M = 5.16$) und somit nahezu ohne Möglichkeit eines Samenbaumes im näheren Umkreis. Der Vergleich bezüglich der Samenbäume zeigte hierzu einen Trend, dass sich im NPK mehr Samenbäume in der Nähe der verjüngungsnotwendigen Flächen befinden. Dies könnte auch darauf beruhen, dass das Bestandsalter im NPK deutlich älter ist als das eines Wirtschaftswaldes, daher werden auch Zerfallsphasen berücksichtigt, welche in die verjüngungsnotwendigen Flächen fallen. Auf diesen Flächen befinden sich außerdem alte Bäume die als Samenbaum dienen, während auf Kahlschlag zurückzuführende Freiflächen keine Samenbäume aufweisen (Brang et al., 2015; Nationalpark Kalkalpen, 2018; Schwitter et al., 2015). Somit liegt die Vermutung nahe, dass die höhere Anzahl an Samenbäumen im NPK eine Folge des höheren Überschirmungsgrades ist.

6 Schlussfolgerung

Die Weißtanne ist eine ökologisch wichtige Baumart des Bergmischwaldes. Sie wird in der Literatur häufig als unabdingbar in Objektschutzwäldern erwähnt und hat in unseren heimischen sowie klimafitten Wäldern für die Zukunft eine tragende Rolle. Doch genau diese bedeutende Rolle kann die Tanne in unseren Wäldern aufgrund des geringen Anteils darin seit Jahrzehnten nicht einnehmen. Das Ziel dieser Masterarbeit war es, Erkenntnisse über die limitierenden Faktoren der Weißtannenverjüngung zu gewinnen. In Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, dass sich Tannen verjüngen ist die Nähe zu einem Tannensamenbaum unumgänglich, da die schweren Tannensamen schwierig über weite Distanzen verbreitet

werden können. Die Faktoren der Bejagung, der Exposition, und des Überschirmungsgrades machten für den Verjüngungserfolg keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Auswirkung auf die Höhe der Tannenverjüngung zeigte sich kein eindeutiges Ergebnis, welches den limitierenden Faktor hervorbringt. Hierzu gibt es auch in der Literatur unterschiedliche Forschungsergebnisse, die zumeist sehr komplex und ein Zusammenspiel vieler Faktoren sind, was die Tanne aus der Verjüngung entwachsen lässt. In der Literatur wird zumeist der Wildtiereinfluss als maßgeblich für das Wachstum der Jungtannen beschrieben. Hierzu zeigten sich in dieser Arbeit, dass der Verbiss einen Einfluss auf die Wuchshöhe hat, jedoch stellte er im multiplen Modell keinen signifikanten Faktor mehr dar. Im Modellvergleich über den Einfluss auf die Höhenklassen war einzig der Überschirmungsgrad signifikant. Dieser Einfluss des Überschirmungsgrades zeigte, dass bei steigender Überschirmung die Tannen marginal geringere Höhenklassen aufweisen. Somit beeinflusst der Überschirmungsgrad die Höhenklassen auch nur leicht. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse einen Trend, dass durch Bejagung der Verbiss im Nationalpark beeinflusst wird. Zum Wildtiereinfluss durch Verbiss gab es in dieser Fragestellung signifikante Ergebnisse. Jedoch sollte für eine geringere Streuung des Modells vermutlich die Auflösungsschärfe mit den Höhenklassen noch genauer unterteilt werden. Auch bezüglich des Jagdeinflusses auf den Verbiss benötigen zukünftige Arbeiten eine genauere Unterscheidung, um das Modell zu verbessern. Die Annahme, dass der Wildeinfluss bei übermäßig hohem Wildstand der maßgebende Faktor ist, ob die Tanne aus dem Jungwuchs herauskommt, darf als unbestritten gelten. Im Vergleich Nationalpark und Forstbetrieb gibt es einen Trend, dass sich im Nationalpark Kalkalpen mehr Samenbäume auf den Verjüngungsflächen befinden als auf denen des Forstbetrieb Steyrtals. Bei den Überschirmungsgraden unterscheiden sich die beiden Betriebe signifikant, im Nationalpark sind auf Verjüngungsflächen höhere Überschirmungsgrade zu finden.

Damit die Tanne in Zukunft diese tragende Rolle einnehmen kann, benötigt es Projekte, welche die jeweiligen limitierenden Faktoren des entsprechenden Standorts adressieren.

7 Danksagung

Als ich mich im Herbst 2014 an der BOKU inskribierte, hatte ich keine Ahnung wie sehr mich dieser Lebensabschnitt als Student verändern und fordern sollte. Es entstanden enge Freundschaften mit Studienkollegen und eine „nachhaltig“ veränderte Sichtweise auf die Welt.

Mit diesen Zeilen möchte ich mich zuerst bei meinem Betreuer Rupert Seidl bedanken. Nicht nur, dass er mir bei der Suche des roten Fadens für diese Masterarbeit half und seine fachliche Kompetenz einbrachte, sondern vor allem für die bestärkenden Worte.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Unikollegen und Freunden. Ganz besonders aber bei Martin und Andi, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen, wenn ich nicht weiterwusste und stets aufbauende Worte und Anregungen für mich fanden.

Herzlich möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die immer mit Ablenkung und Unterstützung zur Stelle waren, wenn die Uni überhandnahm und mir die nötige Zuversicht für bevorstehende Herausforderungen mitgaben.

Der größte Dank gilt dir liebe Melanie, ich bin mir sicher ohne dich wäre ich niemals zu diesen Zeilen gekommen. Du hast wie keine andere Person mitbekommen wie sehr mich dieses Projekt Hochschulabschluss gefordert hat und bist mir immer zur Seite gestanden. Danke für deine Unterstützung in diesen Jahren und dass du diese gemeinsam mit mir erlebt hast. Selbst bei den Aufnahmen hast du mich unterstützt und dich auch vom nächtlichen Poltergeist, alias Siebenschläfer, nicht abbringen lassen mich dabei eine Woche lang zu begleiten. Für all dies und noch viel mehr danke ich dir von tiefstem Herzen.

Ein weiterer großer Dank gilt den Mitarbeitern der ÖBF, wie dem Betriebsführer Kammler für die Idee mich der Tanne zu widmen oder Dominik Dachs, der mir die unglaublichen Möglichkeiten des mysteriösen Programms R zeigte. Deine Skills in diesem Programm sind unglaublich. Kollegin Karin möchte ich auch großen Dank aussprechen, da sie ihre Erfahrungen bezüglich Uni und Nationalpark mit mir teilte und viele wertvolle Tipps für mich hatte. Auch allen weiteren Mitarbeitern, die aufgenommen haben, möchte ich hiermit danke sagen.

Zuallerletzt möchte ich mich bei dem Gebietsbetreuer Kirchwegger Michael und seiner Frau Erni für das einzigartige Quartier und die außergewöhnlich schöne Zeit im Nationalpark herzlich bedanken, ich werde diese Zeit nie vergessen.

8 Literaturverzeichnis

- Asch, F. (2005). Pflanzliche Reaktionen auf abiotischen Stress unter veränderlichen Umweltbedingungen. *Kumulative Habilitationsschrift Für Das Fachgebiet Pflanzenphysiologie/Agrarökologie. Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn*, 5–18.
- Attenberger, J. (1954). *Mischwald im Vorland der Alpen: Beitrag zu Fragen des Bestockungsaufbaus und der Wuchsdynamik mit Buche, Tanne, Fichte im bayerischen Oberland*. Veröffentl. aus d. Waldbau-Inst. d. Bayer. Forstl. Forschungsanst. Parey.
- Bareiss, A. (2019). *Tannenverjüngung im Misoixer Schutzwald: ein Wildproblem?* (Winterthur : ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften). <https://doi.org/10.21256/zhaw-19221>
- Blum, A. (1996). Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In *Drought tolerance in higher plants: Genetical, physiological and molecular biological analysis* (pp. 57–70). Springer.
- Bogner, M., Lehner, T., & Mahringer, G. (2002). Das meteorologische Messnetz im Nationalpark Kalkalpen, Oberösterreich. Flächendeckende Erfassung und Auswertung von Niederschlag, Temperatur und Strahlung/Le réseau de mesures météorologiques dans le Parc national des Kalkalpen, Haute Autriche. *Précipita. Revue de Géographie Alpine*, 90(2), 61–72.
- Brang, P., Hilfiker, S., Wasem, U., Schwyzer, A., & Wohlgemuth, T. (2015). Langzeitforschung auf Sturmflächen zeigt potenzial und Grenzen der Naturverjüngung. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, 166(3), 147–158.
- Brzeziecki, B., & Kienast, F. (1994). Classifying the life-history strategies of trees on the basis of the Grimian model. *Forest Ecology and Management*, 69(1–3), 167–187.
- Bucher, H.-U., & Sieber, M. (2000). Die grössten Bäume Europas sind Weisstannen. *Fachstelle Für Gebirgswaldpflege (GWP)*, 25.
- Butin, H. (2012). Ceratobasidium-Nadelkrankheit nun auch in Österreich. *Bezirksforstinspektionen in Österreich*, 54, 29.
- Butin, H. (2014). Die „Herpotrichia“-Nadelbräune der Tanne—Ein Irrtum und seine Berichtigung. *Forstschutz Aktuell*, 59, 12–14.
- Cohen, J. W. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd edn), 411 Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, NJ, 412.
- Dai, X. (1996). Influence of light conditions in canopy gaps on forest regeneration: a new gap light index and its application in a boreal forest in east-central Sweden. *Forest Ecology and Management*,

84(1–3), 187–197.

de Jel, S. (2007). *Die Weißtannen des Mittel-und Obervinschgau und ihre Verjüngungssituation*. Diplomarbeit. Fachhochschule Weihenstephan, Freising.

El Kateb, H. (1991). *Einfluss waldbaulicher Massnahmen auf die Sprossgewichte von Naturverjüngungspflanzen im Bergmischwald*.

El Kateb, H., Stolz, M. M., & Mosandl, R. (2009). Der Einfluss von Wild und Weidevieh auf die Verjüngung im Bergmischwald. *LWF Aktuell*, (71).

Ellenberg, H. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen : in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht /
Heinz Ellenberg, Christoph Leuschner ; mit einem Beitrag von Hartmut Dierschke (synsystematische Gliederung) (6., vollst; C. Leuschner, Ed.)*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Ellis, P. D. (2010). *The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results*. Cambridge University Press.

Engesser, R., Forster, B., & Odermatt, O. (2000). Nicht alle Weisstannen wachsen in den Himmel. *Wald Holz*, 81(4), 51–54.

Ewald, J. (2004). Ökologie der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) im bayerischen Alpenraum. *Forum Geobotanicum*, 1, 9–18.

Ferlin, F. (2002). The growth potential of understorey silver fir and Norway spruce for uneven-aged forest management in Slovenia. *Forestry*, 75(4), 375–383.

Forstgesetz. (1975). Gesamte Rechtsvorschrift für Forstgesetz 1975 Fassung vom 14.09.2016. BGBl. Nr. 440/1975. Retrieved November 18, 2019, from <https://www.bmnt.gv.at/forst/oesterreich-wald/Forstrecht/Forstgesetz.html>

Gamerith, H., Schön, B., & Strauch, M. (2003). Raumeinheit Enns- und Steyrtaler Flyschberge. In W. Draschan, H. Kutzenberger, G. Kutzenberger, W. Weißmair, E. Hauser, B. Schön, & M. Strauch (Eds.), *Land Oberösterreich, Linz, Austria* (Vol. 13). Amt der Oö.Landesregierung, Naturschutzabteilung.

Gamerith, H., Schön, B., & Strauch, M. (2004). Raumeinheit Sengsengebirge. In W. Draschan, H. Kutzenberger, G. Kutzenberger, W. Weißmair, E. Hauser, B. Schön, & M. Strauch (Eds.), *Land Oberösterreich, Linz, Austria* (Vol. 15). Amt der Oö.Landesregierung, Naturschutzabteilung.

Gärtner, G., Haseke, H., Schrutka, R., & Steinwendner, N. (1994). *Atlas der Geologie 1:20.000*

- Nationalpark Kalkalpen* (p. 22). p. 22. 1. Verordnungsabschnitt - Kompilierung: Lueger, 1992. Verein Nationalpark Kalkalpen, Jahresberichte 1993.
- Grote, H. (1947). Über die Lebensweise des schlankschnäbligen Tannenhähers in Sibirien. *Der Ornithologische Beobachter*, 44(3), 84–90.
- Hackländer, K. (2013). Rot-und Schwarzwild: Schwierige Bejagbarkeit trotz hoher Wildbestände? 19. *Österreichische Jägertagung*.
- Hamm, T., Weidig, J., Huth, F., Kuhlisch, W., & Wagner, S. (2014). Wachstumsreaktionen junger weißtannen-voraussaaten auf begleitvegetation und strahlungskonkurrenz. *Allgemeine Forst- Und Jagdzeitung*, 185, 45–59.
- Hegi, G. (1981). *Illustrierte Flora von Mitteleuropa. III* (3rd ed.; F. Markgraf & H. Zoller, Eds.). Berlin - Hamburg: Paul Parey, 269.
- Heintzen, P. (1958). Die mathematische Behandlung der Temperaturabhängigkeit biologischer Prozesse. *Pflüger's Archiv Für Die Gesamte Physiologie Des Menschen Und Der Tiere*, 266(2), 207–218.
- Höllerer, R., Posch, B., Schenker, T., & Völk, F. (2006). *Unternehmensweites Jungwuchs-, Verbissund Schälmonitoring der Österreichischen Bundesforste AG. ÖBf AG*.
- Hussendörfer, E. (1995). *Die genetische Variation der Weißtanne im Vinschgau—eine Pilotstudie im Laatscher Wald*. Birmensdorf.
- Jahn, E. (1976). Zum Einfluß einiger Standortfaktoren auf die Tannentrieblaus, *Dreyfusia Nüsslini* CB. *Anzeiger Für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 49(7), 97–99.
- Jaworski, A., & Zarzycki, K. (1983). Ekologia. *Jodła Pospolita Abies Alba Mill. Nasze Drzewa Leśne*, 4, 317–430.
- Karner, A., Kral, F., & Mayer, H. (1973). inneralpine Vorkommen der Tanne in Vintschgau. *Cbl Gesamte Forstwesen*, 90 (3) 29–163.
- Katzensteiner, K., Nemestothy, K. P., & Ottner, F. (1996). *Analyse karstrelevanter Boden- und Gesteinsproben von repräsentativen Standorten des Nationalpark Kalkalpen*. (Karstporgramm Teilprojekt 3.2./95,), 32.
- Kilian, W., Müller, F., & Starlinger, F. (1994). Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. *FBVA-Berichte*, 82, 1–60.

- Kohlermann, L. (1950). Untersuchungen über die Windverbreitung der Früchte und Samen mitteleuropäischer Waldbäume. *Forstwiss Cent B*, 1, 69.
- Körner, C. (2012). *Alpine treelines: functional ecology of the global high elevation tree limits*. Springer Science & Business Media.
- Kupferschmid, A. D., & Bollmann, K. (2016). Direkte, indirekte und kombinierte Effekte von Wölfen auf die Waldverjüngung. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, 167(1), 3–12.
- Kupferschmid, A. D., & Brang, P. (2010). Praxisrelevante Grundlagen: Zusammenspiel zwischen Wild und Wald. *Wald Und Wild–Grundlagen Für Die Praxis. Wissenschaftliche Und Methodische Grundlagen Zum Integralen Management von Reh, Gämse, Rothirsch Und Ihrem Lebensraum, Umwelt-Wissen*, (1013), 9–39.
- Kupferschmid, A. D., Zimmermann, S., & Bugmann, H. (2013). Browsing regime and growth response of naturally regenerated *Abies alba* saplings along light gradients. *Forest Ecology and Management*, 310, 393–404.
- Kutter, M. (2007). *Verbreitungsökologie der Hauptbaumarten (Fagus sylvatica, Picea abies, Abies alba) im Urwald Rothwald*. na.
- Leibundgut, H. (1984). Die natürliche Waldverjüngung. 115 S. *Bern Und Stuttgart*.
- LK Österreich. (2012). Mariazeller Erklärung (Repräsentanten der Forstwirtschaft und der Landesjagdverbände, Ed.). Retrieved November 21, 2019, from FORST&JAGD-DIALOG website: http://www.forstjagddialog.at/fileadmin/redakteure/Dokumente/mariazeller_erklaerung_unterschriften.pdf
- Mayer, H. (1975). *Die Tanne: ein unentbehrlicher ökologischer Stabilisator des Gebirgswaldes*. Verein zum Schutze d. Alpenpflanzen u.-Tiere eV.
- Mayer, H., & Ott, E. (1991). *Gebirgswaldbau – Schutzwaldpflege: Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz* (2nd ed.). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Mayrhofer, E. (2018). www.kalkalpen.at. Retrieved from http://www.nationalparksaustria.at/fileadmin/pdf_s/NPA_News/03_Mayrhofer.pdf
- Messner, L., Nothdurfter, F., & Reimoser, F. (2016). *Schwerpunktbejagung auf Gams (Rupicapra rupicapra)–Auswirkungen auf die Jungwaldentwicklung im alpinen Bergwald*. 23.
- Müller, J., & Goßner, M. (2004). Zur tierökologischen Bedeutung der Weißtanne. *LWF Wissen*, 45, 74–77.

- Muralt, G. (2006). *Kleinsäugergemeinschaften in biotoptypen des nationalparks o. ö. Kalkalpen und deren verbisseinfluss auf die Waldverjüngung im vergleich zu wildlebenden Wiederkäuern*. na.
- Nathan, R., Katul, G. G., Horn, H. S., Thomas, S. M., Oren, R., Avissar, R., ... Levin, S. A. (2002). Mechanisms of long-distance dispersal of seeds by wind. *Nature*, *418*(6896), 409–413. <https://doi.org/10.1038/nature00844>
- Nather, J. (1992). *Hochwertiges Saatgut sichern*. Österreichisches Forst-Jahrbuch.
- Nationalpark Kalkalpen. (2011). Eckdaten Nationalpark Kalkalpen. Retrieved January 13, 2019, from Nationalpark O.ö. Kalkalpen GmbH website: <https://www.kalkalpen.at/system/web/zusatzseite.aspx?menuonr=221633446&detailonr=222311403%0D>
- Nationalpark Kalkalpen. (2018). *20 Jahre! Nationalpark Kalkalpen – Band 20* (Schriftenr). Nationalpark O.ö. Kalkalpen Ges.m.b.H. 2018, Nationalpark Allee 1, 4591 Molln.
- Österreichische Bundesforste AG. (2020). Folder ÖBf-Forstbetrieb Steyrta. Retrieved May 18, 2020, from https://www.bundesforste.at/fileadmin/bundesforste/Betriebsfolder/Folder_OEBf-Forstbetrieb_Steyrtal.pdf%0D
- Ott, E., Frehner, M., Frey, H.-U., & Lüscher, P. (1997). *Gebirgsnadelwälder - Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung* (1st ed.). Bern, Stuttgart, Wien: Haupt.
- Paci, M. (2011). *Ecologia forestale: elementi di conoscenza dei sistemi forestali applicati alla selvicoltura*. Edagricole.
- Paluch, J. G. (2011). Ground seed density patterns under conditions of strongly overlapping seed shadows in *Abies alba* Mill. stands. *European Journal of Forest Research*, *130*(6), 1009–1022.
- Piechocki, R. (2002). Biodiversitätskampagne 2002: „Leben braucht Vielfalt“ XI. Biodiversität und Nachhaltigkeit. *Natur Und Landschaft Jg, 77*, 464–466.
- Prietzl, J., & Ammer, C. (2008). Montane Bergmischwälder der Bayerischen Kalkalpen: Reduktion der Schalenwildichte steigert nicht nur den Verjüngungserfolg, sondern auch die Bodenfruchtbarkeit. *Allgemeine Forst-Und Jagdzeitung*, *179*, 104–112.
- Pröll, E., & Prüller, S. (2008). Geologie und Klima des Nationalpark Kalkalpen. In *10 Jahre Nationalpark Kalkalpen* (pp. 18–21). Schriftenreihe Nationalpark Kalkalpen.
- R Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 3.5. 3, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019). *Version.String R Version 3.5.3*

(2019-03-11). Retrieved from <https://www.r-project.org/>

- Reimoser, F., Reimoser, S., & Zedka, H.-F. (2012). *Richtiges Erkennen von Wildschäden am Wald: ein Arbeitsbuch der Zentralstelle Österr. Landesjagdverbände*. Zentralstelle Österr. Landesjagdverbände.
- Ripullone, F., Gentilesca, T., Lauteri, M., Rita, A., Rivelli, A. R., Schettino, A., & Borghetti, M. (2016). Apical dominance ratio as an indicator of the growth conditions favouring *Abies alba* natural regeneration under Mediterranean environment. *European Journal of Forest Research*, *135*(2), 377–387.
- Robakowski, P., Montpied, P., & Dreyer, E. (2002). Temperature response of photosynthesis of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings. *Annals of Forest Science*, *59*(2), 163–170.
- Robakowski, P., Montpied, P., & Dreyer, E. (2003). Plasticity of morphological and physiological traits in response to different levels of irradiance in seedlings of silver fir (*Abies alba* Mill.). *Trees*, *17*(5), 431–441.
- Rothe, A., Dittmar, C., & Zang, C. (2011). Tanne–vom Sorgenkind zum Hoffnungsträger. *LWF Wissen*, *66*, 59–63.
- Rüegg, D., Baumann, M., Struch, M., & Capt, S. (1999). Wald, Wild und Luchs-gemeinsam in die Zukunft! Ein Beispiel aus dem Berner Oberland | Forest, Game and Lynx-a Future Together! The Bernese Oberland as an Example. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, *150*(9), 342–346.
- Schirmer, R. (2004). Zum Vermehrungsgut der Weißtanne. *LWF Wissen*, *45*, 54–57.
- Schnyder, J., Ehrbar, R., Reimoser, F., & Robin, K. (2016). Huftierbestände und Verbissintensitäten nach der Luchswiederansiedlung im Kanton St. Gallen. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, *167*(1), 13–20.
- Schodterer, H. (1999). *Grundlagen für die Beurteilung der Wildschäden an der Verjüngung im österreichischen Wald im Rahmen der Österreichischen Waldinventur:[Forschungsinitiative gegen das Waldsterben]*. na.
- Schwitzer, R., & Herrmann, B. (2000). Die Weisstanne ist das Rückgrat vieler Wald-Ökosysteme. *Wald+ Holz*, (1).
- Schwitzer, R., Sandri, A., Bebi, P., Wohlgemuth, T., & Brang, P. (2015). Lehren aus Vivian für den Gebirgswald–im Hinblick auf den nächsten Sturm. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, *166*(3), 159–167.

- Senn, J., & Häslner, H. (2005). Wildverbiss: Auswirkungen und Beurteilung. *Forum Für Wissen, 2005*, 17–25.
- Suter, W. (2005). Vom Verbissprozent zur Walddynamik: Der weite Weg zum Verständnis der Wechselbeziehungen zwischen Wald und Huftieren. *Forum Für Wissen, 7–16*.
- Thom, D., Rammer, W., Garstenauer, R., & Seidl, R. (2018). Legacies of past land use have a stronger effect on forest carbon exchange than future climate change in a temperate forest landscape. *Biogeosciences, 15*(18), 5699–5713. <https://doi.org/10.5194/bg-15-5699-2018>
- Thom, D., Rammer, W., & Seidl, R. (2017). The impact of future forest dynamics on climate: interactive effects of changing vegetation and disturbance regimes. *Ecological Monographs, 87*(4), 665–684.
- Trakhtenbrot, A., Nathan, R., Perry, G., & Richardson, D. M. (2005). The importance of long-distance dispersal in biodiversity conservation. *Diversity and Distributions, 11*(2), 173–181.
- Waldinventur, Ö. (2019). ÖWI–Datenportal, Erhebung 2007–2009. Retrieved November 19, 2019, from <http://bfw.ac.at/rz/wi.auswahl>
- Wieser, G., Gigele, T., & Pausch, H. (2005). The carbon budget of an adult *Pinus cembra* tree at the alpine timberline in the Central Austrian Alps. *European Journal of Forest Research, 124*(1), 1–8.
- Winter, M.-B., Baier, R., & Ammer, C. (2015). Regeneration dynamics and resilience of unmanaged mountain forests in the Northern Limestone Alps following bark beetle-induced spruce dieback. *European Journal of Forest Research, 134*(6), 949–968. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0901-3>

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten ($\exp(B)$) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	32
Tabelle 2: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	33
Tabelle 3: : Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (Tannenverbiss) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten ($\exp(B)$) und dem Ergebnis der Signifikanz (p)..	35
Tabelle 4: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Verbiss) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	36
Tabelle 5: Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Tannensamenbaum) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten ($\exp(B)$) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	37
Tabelle 6: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Tannensamenbaum) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	39
Tabelle 7: : Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Überschirmungsgrad) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten ($\exp(B)$) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	40
Tabelle 8: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Überschirmungsgrad) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	41
Tabelle 9: Generalisiertes logistisches Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Exposition) mit	

dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten (exp(B)) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).....	43
Tabelle 10: Lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängige Variable (Exposition) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).....	44
Tabelle 11: Multiples lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (das Vorhandensein von Tanne in der Verjüngung) und die unabhängige Variable (Bejagt) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem exponierten Regressionskoeffizienten (exp(B)) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).	45
Tabelle 12: Multiples lineares Regressionsmodell für die abhängige Variable (Höhenklasse) und die unabhängigen Variablen (Exposition, Bejagt, Tannensamenbaum, Überschirmungsgrad und Verbiss) mit dem Regressionskoeffizienten (B), dem standardisierten Koeffizienten (β) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).....	46
Tabelle 13: T-Test für den Überschirmungsgrad im FBS und NPK mit dem Mittelwert (mean), T- Wert (T), Freiheitsgrade (df) und dem Ergebnis der Signifikanz (p).....	48

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ökogramm mit dem natürlichen Feuchtigkeits- und Säurebereich wichtiger Baumarten Mitteleuropas in der submontanen Stufe des gemäßigt-subozeanischen Klimas (Ellenberg, 2010).....	9
Abbildung 2: Schematische Darstellung pflanzlicher Reaktionsmöglichkeiten auf Stress (Körner, 2012).....	10
Abbildung 3: Wildschadensdiagnose (Reimoser et al., 2009)	13
Abbildung 4: Überlebensrate und Verbissprozent 20 Jahre nach der Pflanzung (El Kateb et al., 2009).....	14
Abbildung 5: Samenverbreitungskurve von <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Picea abies</i> und <i>Abies alba</i> (Kutter, 2007)	16
Abbildung 6: Lagekarte der Betriebsstandorte: Nationalpark Kalkalpen in Grün markiert und Forstbetrieb Steyrtal in Gelb markiert (https://www.bundesforste.at/betriebsstandorte.html , 2019).....	20
Abbildung 7: Zonierung durch den Wildtiermanagementplan (https://gis.kalkalpen.at/NPK_WebGIS/synserver?project=WebGIS&client=core&language=de&user=gast&password=gast , 2019)	23
Abbildung 8: Übersicht über die Verteilung der Bestandspunkte (rot) sowie der neuen Intensivierungspunkte (blau) im Nationalpark Kalkalpen.	24
Abbildung 9: Skizze der einzelnen Schritte zur Ermittlung der Probefläche (Österreichische Bundesforste AG, 2006).....	25
Abbildung 10: Höhenverteilung der Probekreise im Nationalpark Kalkalpen (1) und im Forstbetrieb Steyrtal (2).	28
Abbildung 11: Die Grafik zeigt den Anteil der Probekreise (PK) ohne beziehungsweise mit Tannen in der Verjüngung, in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS (0= Anteil ohne Tanne, 1= Anteil mit Tanne).	29
Abbildung 12: Die Grafik zeigt den Verbissprozent der Tannenverjüngung von den Aufnahmen in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS.	29

Abbildung 13: Die Grafik zeigt den Anteil der Probekreise ohne beziehungsweise mit Tannensamenbäumen in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS (0= Anteil ohne Samenbaum, 1= Anteil mit Samenbaum).	30
Abbildung 14: Die Grafik zeigt die Verteilung der PK nach den Überschirmungsgraden, in 10er Stufen angesprochen, für den NPK sowie für den FBS.	30
Abbildung 15: Die Verteilung der PK nach den Expositionen gibt es nur für den NPK.	31
Abbildung 16: Anteile an PK im NPK in denen Tannen in der Verjüngung (1) oder keine Tannen in der Verjüngung vorgekommen sind (0).	31
Abbildung 17: Die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen in den bejagten und unbejagten Gebieten.	33
Abbildung 18: Verbissprozent der Tannen in den bejagten und unbejagten PK.	34
Abbildung 19: Die Anteile der verbissenen und unverbissenen Tannen in den einzelnen Höhenklassen.	35
Abbildung 20: Anteile an PK im NPK in denen Tannen in der Verjüngung (1), oder keine Tannen in der Verjüngung vorgekommen sind (0), für PK mit und ohne Samenbaum in der näheren Umgebung.	37
Abbildung 21: Die Grafik zeigt die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen für PK mit und ohne Samenbaum	38
Abbildung 22: Die Anteile der PK mit und ohne Tanne in den einzelnen Überschirmungsgraden (0= keine Tanne im PK, 1= Tanne im PK) Auf der X- Achse sind die Überschirmungsgrade für den Nationalpark Kalkalpen (NPK) eingetragen.	39
Abbildung 23: Die Grafik zeigt die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen in den jeweiligen Überschirmungsgraden.	41
Abbildung 24: Anteile an PK für die jeweilige Exposition in denen Tannen in der Verjüngung (1) oder keine Tannen in der Verjüngung vorgekommen sind (0).	42
Abbildung 25: Die Grafik zeigt die Anteile der Tannen in den einzelnen Höhenklassen für die jeweilige Exposition.	43
Abbildung 26: Anteil der Probekreise ohne beziehungsweise mit Tannensamenbäumen in den Untersuchungsgebieten NPK und FBS (0= Anteil ohne Samenbaum, 1= Anteil mit Samenbaum).	47

Abbildung 27: Verteilung des Überschirmungsgrades der Probekreise im Nationalpark Kalkalpen (1) und im Forstbetrieb Steyrtal (2)	48
Abbildung 28: Bild einer ehemals eingezäunte Verjüngungsfläche die sich ohne Wildeinfluss entwickeln konnte.	50
Abbildung 29: Tannensamenbaum im Hintergrund einer Jungwuchsfläche.	51
Abbildung 30: Geringer Lichteinfall durch den hohen Überschirmungsgrad des Kronendaches	52
Abbildung 31: Ermittlung der Exposition im freien Gelände	53