

Tannenverjüngung (*Abies alba*) im Misox und Calancatal

Bachelorarbeit

von

Laura Ramstein

Umweltnaturwissenschaften
ETH Zürich

Zürich, Januar 2016



Betreuung

Dr. Peter Bebi

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL/SLF

Korreferenten

Dr. Marco Conedera
WSL Bellinzona

Dr. Josef Senn
WSL Birmensdorf

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Dank	5
3	Einleitung	6
4	Untersuchungsgebiet	8
5	Methode	11
5.1	Datenaufnahme	11
5.1.1	Feldarbeit	11
5.1.2	Variablendefinitionen	11
5.2	Datenanalyse	15
5.2.1	Variablenauswahl	15
5.2.2	Graphische Auswertung	17
5.2.3	Statistische Auswertung	17
6	Resultate	18
6.1	Datencharakterisierung	18
6.2	Univariate Auswertung	20
6.2.1	Eastness	20
6.2.2	Abstand vom Mutterbaum	21
6.2.3	Bestandesentwicklungsstufen	22
6.2.4	Kronenschlussgrad	23
6.2.5	Lichtstunden	24
6.2.6	Bodenvegetation	25
6.2.7	Streu	28
6.2.8	Wildeinfluss	29
6.2.9	Übersicht	30
6.3	Multivariate Auswertung	31
6.3.1	Entscheidungsbäume Keimpotential	31
6.3.2	Entscheidungsbäume Baumhöhe	32
7	Diskussion	33
7.1	Samenverbreitung	33
7.2	Substratbedingungen	34
7.3	Wildeinfluss und Bodenvegetation	35
7.4	Günstige Kombinationen von Einflussfaktoren	36
8	Schlussfolgerung	38
9	Verzeichnisse	39
9.1	Literaturverzeichnis	39
9.2	Abbildungsverzeichnis	40
9.3	Tabellenverzeichnis	41
10	Anhang	42
10.1	Feldprotokoll	42
10.2	Modellannahmen	45
10.2.1	Methode	45
10.2.2	Keimpotentialanalyse	46
10.2.3	Baumhöhenanalyse	47
10.3	Eigenständigkeitserklärung	50

1 Zusammenfassung

Eine möglichst kontinuierliche Verjüngung der Gebirgswälder ist für die nachhaltige Erfüllung von Schutzfunktionen gegenüber Naturgefahren sowie von anderen Waldfunktionen zentral. Eine standortgerechte und möglichst vielfältige Baumartenzusammensetzung ist besonders in Gebirgswäldern, die als Schutzwälder dienen, sehr wichtig.

Im Misox wurden in den letzten Jahren auffällige Verjüngungsprobleme bei der Weisstanne (*Abies alba*) festgestellt. Oft sind viele Tannenkeimlinge vorhanden, aber kaum Tannenverjüngung. Im benachbarten Calancatal, wurden an vergleichbaren Standorten keine Verjüngungsprobleme erkannt. Die Weisstanne ist u.a. aufgrund ihres starken Wurzelsystems, ihrer grossen Schattentoleranz und ihrer geringen Anfälligkeit auf weitverbreitete Waldkrankheiten eine bedeutende Baumart im Schutzwald und deshalb für die Stabilität der steilen Wälder sehr wichtig. Die klimatischen Bedingungen des Misox und des Calancatals entsprechen den Bedürfnissen der Weisstanne, die sich seit über 7000 Jahren in diesen Tälern behauptet hat.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) zuhanden des Parc Adula und des Kantons Graubünden soll die Tannenverjüngung im Misox und Calancatal untersucht werden. Es wird eine ganzheitliche Sicht auf die Verjüngungsproblematik angestrebt und deshalb eine breite Palette an Einflussfaktoren, wie z.B. spezifische Standortbedingungen, demographische Faktoren oder Wilddruck, in die Betrachtung einbezogen. In der vorliegenden Arbeit werden diverse Einflussfaktoren analysiert, um Antworten auf die Frage „Was beeinflusst das Keimpotential und das Wachstum der Tannenverjüngung (*Abies alba*) im Misox und Calancatal?“ zu erhalten.

Im August 2015 wurden in zehn Waldgebieten im Misox und Calancatal insgesamt 257 Stichproben genommen. Eine Stichprobe umfasst einen Plot mit einem Radius von 20 m, der mithilfe eines ausführlichen Feldprotokolls dokumentiert wurde. Es wurden sowohl Kontrollplots, auf denen keine Tannenverjüngung wächst, als auch Tannenplots, in deren Mittelpunkt eine Tanne in der Verjüngung steht, aufgenommen.

Für die detaillierte Auswertung wurden aus der grossen Anzahl aufgenommener Parameter zwei Zielvariablen und zehn abhängige Variablen gewählt. Die Tannenverjüngung wird mit dem Keimpotential einerseits und der Baumhöhe andererseits charakterisiert. Das Keimpotential ist abhängig vom Vorhandensein von Tannenkeimlingen und / oder Tannenverjüngung. Die Baumhöhe beschreibt die Höhe einer Tanne von der Bodenoberfläche bis zum Gipfel. Als abhängige Variablen wurden die Eastness, der Abstand vom Mutterbaum, die Bestandesentwicklungsstufe, der Kronenschlussgrad, die Anzahl Lichtstunden, die Höhe der Bodenvegetation, der Deckungsgrad der Bodenvegetation, die Streu, der Wildverbiss und der Gipfelverbiss gewählt. Die Beziehungen zwischen diesen Variablen wurden mittels univariaten Signifikantstests und multivariaten Analysen (CARD) ausgewertet und graphisch dargestellt.

Der Abstand vom Mutterbaum, der Kronenschlussgrad, die Höhe der Bodenvegetation, die Dicke der Streuschicht, der Wildverbiss und der Gipfelverbiss haben in der univariaten Auswertung einen signifikanten Einfluss auf das Keimpotential und die Baumhöhe der Tannenverjüngung. In der multivariaten Analyse erscheinen die Streu, der Abstand vom Mutterbaum und der Wildverbiss als die wichtigsten Variablen.

Mit zunehmendem Abstand vom Mutterbaum ist Keimpotential seltener vorhanden und die Höhe der Tannenverjüngung nimmt durchschnittlich zu. Mögliche Gründe für

diese Tendenzen sind die Abnahme der Samendichte mit der Vergrößerung des Baumabstands, stärkere intraspezifische Konkurrenz bei höherer Dichte der Tannenverjüngung und allelopathische Effekte.

Eine mitteldicke Streuauflage (ca. 1 - 3 cm) begünstigt das Keimpotential, wohingegen keine oder eine dicke Streuauflage für die Verjüngung hinderlich sind. So kann eine dicke Streuauflage aufgrund ihres geringen Wasserrückhaltevermögens Wasserstress bei den Pflanzen verursachen. In Kombination mit intensiver Nachmittagssonne kann es zu Austrocknungs- und Überhitzungsschäden kommen.

Das Wild verbeisst insbesondere Tannenverjüngung im Aufwuchs. Kleinere Tannen werden vom Wild übersehen oder allenfalls vollständig aufgefressen. Obwohl der Wildverbiss sowohl das Vorhandensein der Tannenverjüngung wie auch ein kontinuierliches Wachstum beeinträchtigt, kann die Tannenverjüngung sich dennoch durchsetzen.

Nach den Erkenntnissen dieser Arbeit sind im Misox Standorte mit einer mitteldicken Streuauflage in weniger als 30 Metern Abstand von einem Samenbaum und weniger als 4,5 Lichtstunden pro Tag ideal für die Tannenverjüngung.

Es wäre sinnvoll, in einem weiteren Schritt die analysierten Einflussfaktoren spezifisch für die zehn untersuchten Waldgebiete des Misox und Calancatal auszuwerten, um im Interesse der betroffenen Bündner Gemeinden und des projektierten Parc Adula Grundlagen für lokal sinnvolle waldbauliche Massnahmen bereitstellen zu können.

2 Dank

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde ich von verschiedenen Personen unterstützt, bei denen ich mich recht herzlich bedanken möchte. An erster Stelle geht mein Dank an meinen Betreuer Peter Bebi (SLF, Davos, Gruppe Gebirgsökosysteme) und an die Korreferenten Marco Conedera (WSL, Bellinzona, Forschungseinheit Ökologie der Lebensgemeinschaften) und Josef Senn (WSL, Birmensdorf, Gruppe Tier-Pflanzen Interaktionen). Sie haben mir wertvolle Inputs gegeben, mit mir Resultate diskutiert und meine Fragen beantwortet. Weiter möchte ich Aron Müller, der die Feldaufnahmen geplant und durchgeführt hat, sowie allen weiteren PraktikantInnen und wissenschaftlichen MitarbeiterInnen danken, welche mitgeholfen haben, die grosse Anzahl Daten zu sammeln. Ein herzlicher Dank geht auch an Christine Moos (HAFL, Abteilung Waldwissenschaften), Janet Prevey (SLF, Gruppe Gebirgsökologie) und Nina Roth (ETH, Seminar für Statistik), die mich mit R-Scripts und Tipps bei der statistischen Auswertung unterstützt haben. Hilfreich waren des Weiteren die Informationen von Luca Plozza (Forstingenieur Region Mittelbünden) zu den Untersuchungsgebieten und die Unterstützung von Thomas Sieber (ETH, Gruppe Forstschutz und Dendrologie) bei der Literatursuche. Nicht zuletzt geht mein Dank an meine Familie, die viele hilfreiche Fragen gestellt hat.

3 Einleitung

Eine gesunde, vielfältige und kontinuierliche Verjüngung ist für das Fortbestehen jedes Waldes essentiell. Eine Vielzahl von Studien und wissenschaftlichen Artikeln befasst sich mit den Effekten einzelner Umwelteinflüsse auf die Verjüngung, wie z.B. Odermatt (1999), Engesser, Forster, und Odermatt (2000) oder Caccia und Ballare (1998). Die Verjüngungsproblematik wurde v.a. im Gebirgswald aufgrund der dort herrschenden rauerer Lebensbedingungen zu einem Dauerthema im 20. Jahrhundert (Rüegg, 1999). Da ein Grossteil der Gebirgswälder als Schutzwälder dient, erspart ein stabiler Wald teure technische Schutzmassnahmen. Für die Waldstabilität sind neben einer kontinuierlichen Verjüngung standfeste und widerstandsfähige Bäume sowie Baum- und Bestandeskollektive erforderlich (Ott, 1997).

Die Weisstanne, die nach Fichte und Buche dritthäufigste einheimische Hauptbaumart, ist ein bedeutender Bestandteil des Schweizer Schutzwalds. Sie kann sich selbst in kleinen Lücken verjüngen, da sie nur sehr wenig Licht braucht. Die tiefen Wurzeln, meist Pfahlwurzeln, erhöhen die Stabilität der Wälder. Eine feste Verwurzelung vermindert die Schäden, die durch Erosion, oberflächliche Rutschungen oder Stürme entstehen können. Die Wurzeln vergrössern das Porensystem im Boden, was zu einer besseren Infiltration und einem grösseren Speichervolumen bei Starkniederschlägen führt. Die Tanne hat die Fähigkeit, sich von Verletzungen, wie z.B. Steinschlägen, schnell zu erholen. Zudem ist sie kaum anfällig auf Schädlinge, wie z.B. den Grossen Buchdrucker (*Ips typographus*). Die Verbreitung und Vermehrung von Schädlingen wird dadurch in Beständen mit hohem Tannenanteil abgeschwächt (Schwitter & Herrmann, 2000).

Für die Schutzfunktion des Waldes ist eine ausgewogene Mischung von Baumarten entscheidend. Die Entwicklung der Wälder in der Schweiz, u.a. die Baumartenzusammensetzung, wird seit den 80er-Jahren alle 10 Jahre mit dem Landesforstinventar (LFI) untersucht. Im Tannen-Buchenwald liegt der ideale Tannenanteil bei 30-40% und im Fichten-Tannenwald bei 50-70% (Frehner, Wasser, Schwitter, & BUWAL, 2005). Im zweiten LFI (1993-95) wurden lediglich 23% für den Tannen-Buchenwald und 11% für den Fichten-Tannenwald gemessen. Die Stabilitätsanforderungen des für Naturwälder postulierten Tannenanteils werden gemäss dem zweiten LFI von den Schweizer Wäldern bei Weitem nicht erreicht (Bucher & Duc, 2000).

Im Gebirgswald wird knapp 30% der Verjüngung verbissen. Wegen der geringen Stammzahldichte sehen v.a. die mittleren und östlichen Alpenregionen der Schweiz (Kantone Uri, Schwyz, Glarus, Graubünden und Teile des Kantons St. Gallen) die Tannenverjüngung als ernsthaftes Problem. Die Daten der ersten beiden LFI zeigen, dass die Tannenbestände innerhalb dieser zehn Jahre gealtert sind. Es ist bei der Tanne zu einer Verschiebung zu grossen Durchmessern gekommen. Ein genereller Tannenrückgang besteht nicht, da v.a. der Vorrat zugenommen hat (Bucher & Duc, 2000).

In einigen Wäldern des Misox (Kanton Graubünden) ist die Verjüngung der Weisstanne als problematisch einzustufen. Im Calancatal, einem Seitental des Misox, wächst die Verjüngung an vergleichbaren Standorten wesentlich besser. Auf Initiative von Luca Plozza, Forstingenieur der Region Mittelbünden, wurde im Jahr 2015 ein Forschungsprojekt zur Waldverjüngung im oberen Misox (Gebiet Lostallo-Mesocco) und inneren Calancatal (Arvigo-Rossa) erstellt (Bebi, Conedera, Senn, & Plozza, 2015).

Viele Wälder im Misox wirken als Schutzwälder, z.B. für die Autobahn A13. Ein Grossteil der betroffenen Wälder liegt im Gebiet des geplanten Nationalparks Parc Adula. Für das Schutzwald- sowie Parkmanagement ist es wichtig, mehr über die Verjüngungsprozesse zu erfahren (Bebi et al., 2015). In der Projektskizze wurden verschiedene potentiell wichtige Einflussfaktoren erwähnt: spezifische Standortbedingungen (u.a. Flachgründigkeit; reduzierte Wasserkapazität des Bodens), klimatische Faktoren (u.a. Trockenheit), walddeschichtliche und demografische Faktoren (u.a. Gleichaltrigkeit von Beständen in der Entwicklungsphase, was für die Wiederverjüngung ungünstig ist), fehlende Samenbäume, Wilddruck und Lebensraumeinschränkungen für das Wild, Nutzungsdruck durch Ziegen und Herbivorie durch andere Pflanzenfresser (u.a. Nagetiere und Schnecken).

Diese Bachelorarbeit soll eine umfassende Sicht auf die Verjüngungsproblematik im Misox werfen. Es gilt, die wichtigsten Einflussfaktoren für die Verjüngung der Weisstanne zu untersuchen, um die Verjüngungsprozesse besser zu verstehen. Bei den ersten Begehungen im Rahmen des Forschungsprojekts im Sommer 2015 wurde festgestellt, dass oft viele Tannenkeimlinge vorhanden sind, aber kaum Verjüngung im Anwuchs- (ab 4. Jahr bis ca. 40 cm Höhe) und im Aufwuchsstadium (ca. 40 cm bis 1.5m) (Bebi et al., 2015). Aus diesen überraschenden Beobachtungen leitet sich die folgende Fragestellung ab:

Was beeinflusst das Keimpotential und das Wachstum der Tannenverjüngung (*Abies alba*) im Misox und Calancatal?

4 Untersuchungsgebiet

Das Misox und das Seitental Calanca bilden den Bezirk Moesa. Die beiden Täler liegen auf der Alpensüdseite und gehören zum italienischsprachigen Teil des Kantons Graubünden (CH). Sie werden von steilen, bewaldeten Hängen begrenzt und haben viele geschichtliche, politische, kulturelle und landschaftliche Gemeinsamkeiten. Im Vergleich ist das Calancatal höher gelegen, enger und wilder als das Misox (Bertossa, 1954).

Das Misox überwindet vom San Bernardino Pass (1639 m ü. M.) am Anfang des Tals bis nach Grono (324 m ü. M.) kurz vor der Tessiner Grenze eine grosse Höhendifferenz. Dies hat klimatische Folgen. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt auf dem San Bernardino 3.9 °C und in Grono 12.4 °C. Auch bei anderen klimatischen Messwerten wie Anzahl Sommertage, Anzahl Eistage oder Anzahl Tage mit Schneebedeckung sind grosse Unterschiede zu erkennen. Lediglich der Niederschlag, der übers ganze Jahr verteilt ist, ist mit 1476 mm in Grono und 1622 mm auf dem San Bernardino ähnlich (MeteoSchweiz, 2014).

Diese klimatischen Gegebenheiten sind mit ein Grund für die vielen verschiedenen Waldgesellschaften, die im Misox vorkommen resp. vorkommen können. In den Seitentälern Val Cama und Val Leggia im unteren Misox gibt es 26 verschiedene Waldtypen, weshalb ProNatura, der Kanton Graubünden und die Gemeinden Cama, Leggia und Verdabbio im Jahr 2007 dieses Gebiet zu einem Waldreservat erklärt haben (ProNatura, 2007).

Die Standortbedingungen im Misox und Calancatal entsprechen den Bedürfnissen der Weisstanne. Sie bevorzugt Gebiete mit einem ausgeglichenen Klima, hohen Niederschlägen und hoher Luftfeuchtigkeit. Sie kann auf Böden mit basischem bis saurem Muttergestein wachsen, wobei sie auf frischer, tiefgründiger und tonreicher Braunerde am besten gedeiht. Von grosser Bedeutung ist eine gute Wasserversorgung. Nur auf tiefgründigen Böden erträgt sie auch eine oberflächliche Austrocknung. In Bezug auf die Nährstoffversorgung hat die Tanne keine besonderen Ansprüche. Sie benötigt eine Vegetationszeit von mindestens drei Monaten (Schwitter & Herrmann, 2000).

In der Schweiz kommt die Tanne hauptsächlich auf montaner Stufe, d.h. in den Voralpen und Alpen bis in Höhen von 1800 m ü. M., vor (Bucher & Duc, 2000). Sie wächst hauptsächlich in Tannen-Buchenwäldern in der obermontanen Stufe und in Tannen-Fichtenwäldern in der hochmontanen Stufe. In diesen Wäldern gehört sie zu den Klimaxbaumarten und ist konkurrenzstark (Schwitter & Herrmann, 2000). Die Konkurrenzfähigkeit kann u.a. durch Trockenheit, extrem kalte Winter, Frosttrocknis und Spätfröste reduziert werden (Aas, 2004).

Die Weisstanne ist im unteren Misox nach einer pollenanalytischen Untersuchung schätzungsweise zwischen 6000 und 5500 v. Chr. eingewandert. Von diesem Zeitpunkt an ist sie im Grossen und Ganzen durchgehend präsent und hat zwischen 4000 und 3000 v. Chr. ein Maximum erreicht (Zoller, 1958).

In den letzten zwei Jahrhunderten ist die Weisstanne an der nördlichen Verbreitungsgrenze nach Süden zurückgedrängt worden; auch ihr Anteil in Beständen hat deutlich abgenommen. Gründe dafür gibt es verschiedene. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erreichte die Ausplünderung der Wälder in den Alpen ihren Höhepunkt. Mit dem wirtschaftlichen Aufschwung der Industrialisierung wurde vermehrt Holz für

den Bau und die Energie benötigt (Bucher & Duc, 2000). Das Holz aus dem Misox wurde in grossen Mengen in die Lombardei geliefert. Zudem wurde im Misox intensive Land-, Vieh- und Weidewirtschaft betrieben (Santi, 2012). Während der beiden Weltkriege machten die Kahlschlagwirtschaft und eine allgemeine Übernutzung der Wälder der Tanne zu schaffen. Weitere Rückschläge waren im 20. Jahrhundert viele neue Fichtenaufforstungen, der zweimalige starke Befall durch die Tannentrieblaus in den 1930er und 1950er-Jahren, die Trockenperiode von 1947 bis 1953 und die heute hohen Schalenwildbestände (Bucher & Duc, 2000).

Neben diesem allgemeinen Rückgang der Weisstanne wurde im zweiten LFI eine Stammzahlabnahme der Tannen mit kleineren Durchmesser, d.h. den Entwicklungsstufen Jungwuchs, Stangenholz, schwaches und mittleres Baumholz, festgestellt. Dies ist das Resultat einer Nutzung, bei der überwiegend Stangenhölzer, schwache und mittlere Baumhölzer durchforstet und kaum flächig verjüngt worden sind (Bucher & Duc, 2000).

Für das Forschungsprojekt wurden Stichproben in zehn verschiedenen Waldgebieten im Misox und Calancatal genommen (Abbildung 2). Die Waldgebiete liegen zwischen 800 und 1600 m ü. M. Sie sind sehr steil und grossteils von Tannen-Buchenwäldern resp. Fichten-Tannenwäldern besiedelt (Abbildung 1). In allen Gebieten sind Tannen mit Samenproduktion vorhanden, jedoch ist sie selten die dominierende Baumart.



Abbildung 1: Waldgebiet im Valle d'Arbedo unterhalb der Alp Valbella (Misox).



Abbildung 2: Geographische Verteilung der Plots im Misox und Calancatal. Die Kontrollplots sind gelb und die Tannenplots grün markiert. Die Kreise entsprechen nicht der tatsächlichen Plotgrösse. (Hintergrundkarte: © 2015 swisstopo, erstellt mit QGIS)

5 Methode

5.1 Datenaufnahme

Die Feldaufnahmen wurden aufgrund der Projektskizze von Aron Müller (Praktikant, SLF) mit Unterstützung von Peter Bebi (SLF, Davos), Marco Conedera (WSL, Bellinzona) und Josef Senn (WSL, Birmensdorf) der Forschungseinheit Ökologie der Lebensgemeinschaften geplant.

5.1.1 Feldarbeit

Die Datenaufnahme erfolgte im August 2015 während rund vier Wochen im Misox und im Calancatal. In den zehn ausgewählten Waldgebieten wurden jeweils mindestens zehn Plots aufgenommen.

Die einzelnen Plots wurden, sofern es vom Gelände her möglich war, auf einer Transekte entlang der Höhenlinie aufgenommen. Die erste gesichtete Tanne im Aufwuchs (zwischen 10 cm und 2 m) wurde als Haupttanne und Mittelpunkt des Tannenplots gewählt. Die Parameter des Feldprotokolls wurden über der Haupttanne bzw. bezogen auf einen 20m-Umkreis um die Tanne herum aufgenommen. Nach einem abgeschlossenen Plot wurde erst nach 40 m Distanz wieder nach Tannen im Aufwuchs Ausschau gehalten, damit sich die aufgenommenen Plots mit einem Radius von 20 m nicht überschneiden. In einzelnen Fällen weisen die GPS-Daten dennoch ein leichtes Überschneiden auf. Da die Überschneidungen nur sehr kleinflächig und allenfalls auf GPS-Ungenauigkeiten basieren, werden diese Daten nicht entfernt. Wurde nach einigen Minuten oder nach einer Bestandesgrenze keine Tannenverjüngung gefunden, wurde ein Kontrollplot erstellt. Ein solcher Plot weist Bedingungen auf, die für das Gedeihen der Tannenverjüngung nicht geeignet sind.

Das Feldprotokoll umfasst eine breite Palette an Variablen, die nach mehreren Probebegehungen im Wald zur jetzigen Form weiterentwickelt worden sind. Die Variablenauswahl des Feldprotokolls deckt den grössten Teil der Hypothesen der Projektskizze ab. Bei der Methodenwahl für die Aufnahmen der einzelnen Variablen wurde ein Kompromiss zwischen schnellen einfachen und langsamen aufwendigen Aufnahmemethoden gewählt.

5.1.2 Variablendefinitionen

Eine Übersicht über die im Rahmen des Forschungsprojekts aufgenommenen Variablen ist im Anhang 10.1 zu finden. Die Variablen, welche für diese Bachelorarbeit relevant sind, werden in den folgenden Unterkapiteln näher definiert. Die Definitionen der Variablen basieren hauptsächlich auf der Schweizer Forstinventur und wurden nur teilweise leicht abgeändert (Stierlin, Gordon, & Hassler-Schwarz, 2000).

5.1.2.1 Plotttyp

Der Plottyp besteht aus den Levels Tannenplot und Kontrollplot. Bei einem Tannenplot befindet sich in der Plotmitte eine Tanne in der Verjüngungsstufe, d.h. mit einer Höhe zwischen 10 cm und 2 m. Diese wird als Haupttanne definiert. Der Kontrollplot beschreibt Standortbedingungen, bei denen sich keine Tannenverjüngung durchsetzen kann.

5.1.2.2 Tannenkeimlinge

Als Tannenkeimlinge werden alle Keimlinge der Weisstanne bis zu 10 cm Höhe bezeichnet. Die Tannenkeimlinge werden anhand der Anzahl Tannenkeimlinge pro Quadratmeter gemessen. Ein Standort kann in die Levels keine ($0/m^2$), wenige ($1-5/m^2$), viele ($6-10/m^2$) und sehr viele Tannenkeimlinge ($> 10/m^2$) eingeteilt werden. Für die Einteilung wird ein Durchschnitt über die ganze Plotfläche genommen. Tannenkeimlinge können auch auf Kontrollplots wachsen.

5.1.2.3 Baumhöhe

Die Variable Baumhöhe enthält die gemessenen Höhen jeder einzelnen im Feld dokumentierten Tanne in der Verjüngung. Es können somit Höhen zwischen 10 cm und 2 m vorkommen. Die Höhe wurde mit einem Doppelmeter von der Bodenoberfläche bis zum Gipfel gemessen.

5.1.2.4 Exposition

Die Exposition wird mit dem Sonnenkompass direkt über der Haupttanne bestimmt; dabei wird der Horizontalwinkel nach der Neugrad-Skala ($0^\circ - 400^\circ$) gemessen. Als Richtung wird die Falllinie resp. die Richtung der grössten Neigung hangabwärts gewählt.

5.1.2.5 Abstand vom Mutterbaum

Der Abstand vom Mutterbaum bezeichnet die Distanz von der Haupttanne bis zum nächsten Samenbaum in Metern. Die Distanz wurde geschätzt.

5.1.2.6 Bestandesentwicklungsstufe

Die Bestände werden nach dem mittleren BHD der 100 stärksten Bäume pro Hektare in die folgenden fünf Entwicklungsstufen eingeteilt (Tabelle 1). Die Kategorie Gemischt wurde in diese Studie nicht aufgenommen.

Tabelle 1: Definition der Bestandesentwicklungsstufen (Stierlin et al., 2000).

Bestandesentwicklungsstufe	Mittlerer BHD der 100 stärksten Bäume pro Hektare
Jungwuchs	< 12 cm
Stangenholz	= 12 – 30 cm
Schwaches Baumholz	= 31 – 40 cm
Mittleres Baumholz	= 41 – 50 cm
Starkes Baumholz	> 50 cm

5.1.2.7 Kronenschlussgrad

Der Kronenschlussgrad ist qualitativ beschrieben (Tabelle 2). Er ist abhängig von der Distanz zwischen den Kronen und bezieht die gegenseitige Beeinflussung der Kronen ein.

Tabelle 2: Definition des Kronenschlussgrads (Stierlin et al., 2000).

Kronenschlussgrad	Definition
Gedrängt	Starke Berührung der Kronen, asymmetrische Formen
Normal	Leichte gegenseitige Beeinflussung, normale Formen, Berührung bei Wind
Locker	Nur kleine Lücken, keine Einschiebung von Kronen möglich
Räumig	Grössere Unterbrechungen des Kronenschlusses, Einschieben von einzelnen oder mehreren Kronen möglich
Aufgelöst	Mit Einzelbäumen wenig zusammenhängende, bestockte Fläche

5.1.2.8 Lichtstunden

Bei den Datenaufnahmen im August 2015 wurde das Licht auf zwei verschiedene Arten gemessen, um diese beiden Methoden zu vergleichen. Einerseits wurde die bewährte Methode der Lichtstundenmessung mit dem Sonnenkompass eingesetzt. Andererseits wurde die Beschattung anhand von Handyfotos ausgewertet. Es wurde direkt über jeder Haupttanne senkrecht in den Himmel fotografiert und mithilfe des Freeware Fotobearbeitungsprogramms GIMP am Computer die Beschattung in Prozenten berechnet. Auf eine fotografische Lichtmessung mit dem Fischauge wurde aufgrund des unwegsamen Geländes verzichtet. Die beiden Aufnahmemethoden korrelieren signifikant (Abbildung 3, p-Wert: $< 2 \cdot 10^{-16}$). Die Modellannahmen sind erfüllt (Anhang 10.2.1).

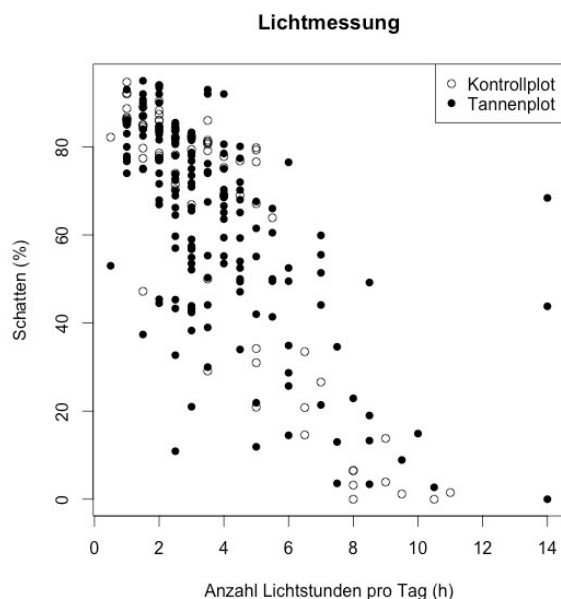


Abbildung 3: Vergleich der Lichtmessungen mit dem Sonnenkompass (x-Achse) und dem Handyfoto (y-Achse).

Bei den detaillierten Auswertungen der Einflussvariablen im Kapitel 6 wird mit der Variablen Anzahl Lichtstunden pro Tag ausgewertet, weil der Sonnenkompass ein bewährtes Messinstrument und eine anerkannte Methode in der Forstwirtschaft ist.

Die Ausreisser mit 14 Lichtstunden pro Tag sind Standorte auf einer grossen Lichtung mit vereinzelt Bäumen. Die Bäume sind auf den Fotos zu sehen, weshalb der Standort mit dieser Messmethode einen gewissen Prozentsatz an Schatten aufweist. Bei der Messung mit dem Sonnenkompass wird der Schattenwurf der Bäume mit dem seitlichen Streulicht kompensiert, weshalb ein vergleichsweise höherer Wert erreicht wurde.

5.1.2.9 Bodenvegetation Deckungsgrad

Zur Bodenvegetation werden Farne, Gräser, Kräuter, Stauden, Rubus-Arten, Zwergsträucher, Alpenrosen und Wacholder, die eine Höhe von ca. 1 m nicht übersteigen, gezählt. Der Deckungsgrad besteht aus den vier Levels keine (0 %), wenig (1-33 %), viel (34-66 %) und sehr viel (>66 %).

5.1.2.10 Bodenvegetation Höhe

Die Höhe der in Kapitel 5.1.2.9 beschriebenen Bodenvegetation wird vom Boden bis zum obersten Punkt der Pflanze geschätzt. Die Bodenvegetation wird in die fünf Levels 0-1 cm, 1-10 cm, 11-30 cm, 31-50 cm und >50 cm eingeteilt.

5.1.2.11 Streuauflage

Die Streu besteht aus totem organischem Material, das noch nicht zu Humus zersetzt worden ist. Die Variable wird aufgrund der Schichtdicke in drei Levels eingeteilt. Eine Schichtdicke von 0-1 cm entspricht keiner, 1-3 cm einer mittelmässigen und > 3 cm einer dicken Streuauflage.

5.1.2.12 Wildschaden

Zum Wildschaden gehören neben den Verbisschäden auch die Fege- und Frassschäden. Fegeschäden sind bei der Tannenverjüngung selten, da die Baumstämme für das Wild noch nicht stabil, hoch und dick genug sind. Frassschäden sind schwierig zu quantifizieren, da es im Feld kaum Hinweise auf vollständig gefressene Tannen gibt. Deshalb wird die Variable hauptsächlich am Verbiss gemessen. Die Tannenverjüngung kann keinen, einen leichten sowie einen starken Verbiss aufweisen oder stark und mehrfach verbissen sein.

5.1.2.13 Gipfelverbiss

Der Gipfeltrieb ist für das Wachstum der Tannenverjüngung entscheidend. Ein verbissener Gipfeltrieb kann die Tanne in ihrer Entwicklung um gut zwei Jahre zurückwerfen (Schwitter & Herrmann, 2000). Beim Gipfelverbiss wird geschaut, ob der Gipfeltrieb vorhanden oder nicht vorhanden ist.

5.2 Datenanalyse

5.2.1 Variablenauswahl

Die Feldaufnahmen generierten einen grossen Datensatz mit 92 Variablen. Der Zustand der Tannenverjüngung wurde anhand verschiedener Variablen gemessen. Für die Auswertung wurden daraus die beiden aussagekräftigen Zielvariablen Keimpotential und Baumhöhe gewählt.

Bei den Feldaufnahmen wurden die Daten in Tannen- und Kontrollplots geteilt. Um die Fragestellung zu beantworten und eine differenzierte Aussage über den Einfluss der Variablen auf das Keimpotential und das Wachstum der Tannenverjüngung zu erhalten, wurden die Daten neu kategorisiert und die Variable Keimpotential erstellt. Sie soll als Zielvariable zeigen, auf welchen Plots Keimung und somit Tannenverjüngung überhaupt möglich ist. Die zweite Zielvariable Baumhöhe ermöglicht in der Verjüngungsphase Aussagen darüber zu machen, von welcher Höhe der Weisstanne an ein gewisser Faktor das Wachstum beeinflusst.

Für die detaillierte Auswertung im Kapitel 6 wurden zehn abhängige Variablen nach den folgenden Faktoren ausgewählt: gut messbar im Feld, einfach interpretierbar und Abdeckung möglichst vieler verschiedener Gruppen von Umwelteinflüssen wie klimatischen Bedingungen, Bodenqualität oder Wildeinfluss. Zudem flossen Erfahrungen aus der Feldarbeit und eine erste explorative statistische Auswertung der Daten in die Auswahl mit hinein.

So wurden je ein bis zwei Variablen zur Lage, zum Bestand, zu den Lichtverhältnissen, zum Boden, zur Bodenbedeckung, zum Verbiss und zum Zustand der Tannenverjüngung ausgewählt. Diese Variablen sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 einzusehen. Zwei der Variablen wurden nicht direkt aufgenommen, sondern erst im Nachhinein mithilfe der Daten berechnet. Es sind dies die Variablen Keimpotential und Eastness, welche in den folgenden Unterkapiteln kurz definiert werden.

Tabelle 3: Für die Analyse ausgewählte Zielvariablen.

Variablen	Kategorien	Art der Variablen
Keimpotential	Nicht vorhanden vorhanden	Kategorial (binominal)
Baumhöhe	cm	Kontinuierlich
Plottyp	Kontrollplot Tannenplot	Kategorial (binominal)
Anzahl Tannenkeimlinge	Keine Wenige Viele Sehr viele	Kategorial (ordinal)

Tabelle 4: Für die Analyse ausgewählte abhängige Variablen.

Variablen	Kategorien	Art der Variablen
Eastness	-1 bis 1	Kontinuierlich
Abstand vom Mutterbaum	m	Kontinuierlich
Bestandesentwicklungsstufe	Jungwuchs Stangenholz Schwachbes Baumholz Mittleres Baumholz Starkes Baumholz	Kategorial (nominal)
Kronenschlussgrad	Gedrängt Normal Locker Räumig Aufgelöst	Kategorial (nominal)
Lichtstunden	0-24 h	Kontinuierlich
Bodenvegetation Deckungsgrad	0-1 % 1-33 % 34 – 66 % > 66 %	Kategorial (ordinal)
Bodenvegetation Höhe	0-1 cm 1-10 cm 11-30 cm 31-50 cm >50 cm	Kategorial (ordinal)
Streuauflage	Keine 1 – 3 cm > 3 cm	Kategorial (ordinal)
Wildschaden	Kein Leicht Stark Stark & Mehrfach	Kategorial (ordinal)
Gipfelverbiss	Ja Nein	Kategorial (binominal)

5.2.1.1 Keimpotential

Das Keimpotential ist eine Ploteigenschaft, die anhand der Variablen Plottyp und Tannenkeimlinge bestimmt wird. An Standorten, die weder Tannenkeimlinge noch Tannenverjüngung aufweisen, ist per Definition kein Keimpotential vorhanden. Alle anderen Plots haben Keimpotential, da die Weisstanne in einem der Jungwuchsstadien vorhanden ist. Der Abstand der Plotmitte von der nächsten Tanne mit Samenproduktion wird nicht in die Variable miteinbezogen. Da in allen Untersuchungsgebieten ausgewachsene Tannen gefunden wurden, wird angenommen, dass die Samen jeden Plot erreichen können.

5.2.1.2 Eastness

Um die Exposition anhand der Himmelsrichtungen auszuwerten, wird sie oft mit der Eastness oder Northness beschrieben. Eastness und Northness sind Funktionen der Exposition und zeigen, wie östlich resp. wie nördlich ein Standort exponiert ist. Da es

bei der explorativen Erstausswertung der Daten kaum Unterschiede in Bezug auf die Nord-Süd-Ausrichtung gab, wird in den detaillierten Auswertungen im Kapitel 6 die Variable Eastness verwendet. Bei der Ost-West-Ausrichtung sind leichte Unterschiede in Bezug auf das Keimpotential vorhanden. Sie ist definiert als Sinus der Exposition in Grad und beschreibt, wie östlich der Plot exponiert ist.

5.2.2 Graphische Auswertung

In der univariaten Auswertung wird der Einfluss einer abhängigen Variablen auf eine Zielvariable betrachtet. Die Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen und den Zielvariablen Keimpotential und Baumhöhe werden einzeln graphisch dargestellt und getestet.

Für die graphische Auswertung wurden Mosaikplots (zwei kategorielle Variablen) und Boxplots (eine kategorielle und eine kontinuierliche Variable) verwendet. Obwohl die Stichprobengröße der verschiedenen Levels teilweise stark variieren, kann mit dem Mosaikplot eine prozentuale Aussage gemacht werden. Der Boxplot zeigt nicht nur die Werte der Mediane und Quantile, sondern auch die Streuung der Daten. Die quantitativen Werte können im Zusammenhang mit der Verteilung der Datenpunkte betrachtet werden. Teilweise wurden die Auswertungen mit Barplots und Streudiagrammen ergänzt.

5.2.3 Statistische Auswertung

Die graphischen Auswertungen wurden statistisch getestet. Aufgrund der im Kapitel 5.1 beschriebenen Vorgehensweise bei den Feldaufnahmen wird angenommen, dass die Plots unabhängig voneinander sind. Aufgrund der geographischen Verteilung der Plots sind die Daten geklumpt. Da der Wald teilweise kleinflächig sehr grosse und grossflächig sehr kleine Unterschiede in den Umweltbedingungen aufweisen kann, wird angenommen, dass die Daten durch die Klumpung kaum beeinflusst werden.

Bei der univariaten Auswertung wurde der p-Wert berechnet, um die Signifikanz der Zusammenhänge zwischen den Zielvariablen und den einzelnen Variablen zu bestimmen. Der p-Wert gibt an, bei welchem Signifikanzniveau die Nullhypothese gerade noch verworfen werden kann (Mittag, 2014). Als Signifikanzniveau wurde 1% angenommen. Je nach Typ der zu untersuchenden Variablen wurden unterschiedliche statistische Tests durchgeführt, um den p-Wert zu bestimmen.

Bei der kategoriellen Variable Keimpotential wurde bei einem Signifikanztest mit einer kategoriellen erklärenden Variablen ein Chi-square-Test durchgeführt und bei einem Signifikanztest mit einer kontinuierlichen erklärenden Variablen eine einfache Logistische Regression erstellt. Bei der kontinuierlichen Variablen Baumhöhe wurde eine Lineare Regression resp. eine One-Way Anova verwendet. Die Modellannahmen der Signifikanztests sind im Anhang 10.2 einzusehen.

Die multivariate Auswertung basiert auf der statistischen Methode der Entscheidungsbäume. Entscheidungsbäume werden nach dem Prinzip der binären, rekursiven Aufteilung berechnet. Der gesamte Datensatz bildet den Wurzelknoten des Entscheidungsbaums. Er wird anhand der wichtigsten Variablen binär in zwei Tochterknoten geteilt. Die wichtigste Variable ist diejenige, welche den Datensatz bestmöglich in zwei Teilmengen teilt. Der Teilungsprozess wird solange weiter angewendet, bis die Grösse der Teilmengen der Tochterknoten eine gewisse Grösse unterboten hat (Lewis, 2000).

6 Resultate

6.1 Datencharakterisierung

Der Datensatz enthält Informationen von 257 Plots und umfasst 92 Variablen. Es wurden 180 Tannenplots und 77 Kontrollplots aufgenommen. Die Daten werden in diesem Unterkapitel anhand der beiden Zielvariablen näher charakterisiert.

Die Variable Keimpotential umfasst 44 Plots ohne Keimpotential und 212 Plots mit Keimpotential. Sie setzt sich, wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben, aus den Variablen Plottyp und Tannenkeimlinge zusammen. Die Abbildung 4 zeigt die Beziehung zwischen dem Plottyp und der Anzahl Tannenkeimlinge. Mit der Zunahme der Tannenkeimlinge nimmt die Anzahl Kontrollplots tendenziell ab. Einen grossen Unterschied gibt es v.a. zwischen Plots ohne Tannenkeimlinge und Plots mit Tannenkeimlingen. Von den Plots ohne Tannenkeimlinge sind mehr als die Hälfte Kontrollplots. Bei den Plots mit Tannenkeimlingen sind es weniger als ein Viertel.

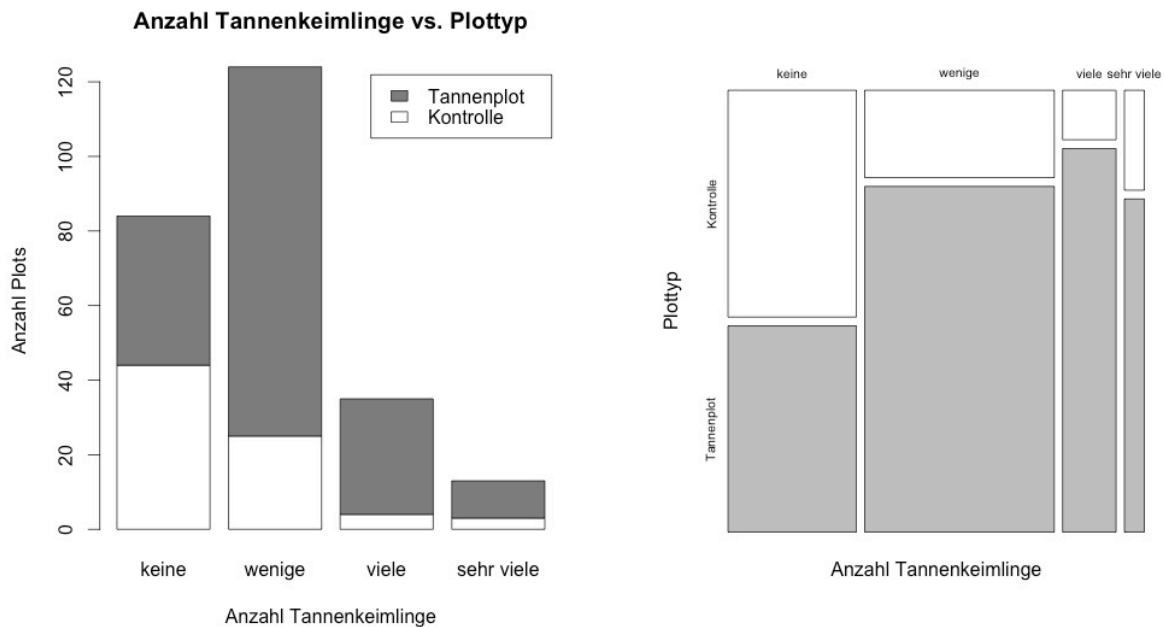


Abbildung 4: Vergleich der Anzahl Tannenkeimlinge mit dem Plottyp quantitativ anhand der Anzahl Plots (links) und prozentual anhand des Mosaikplots (rechts).

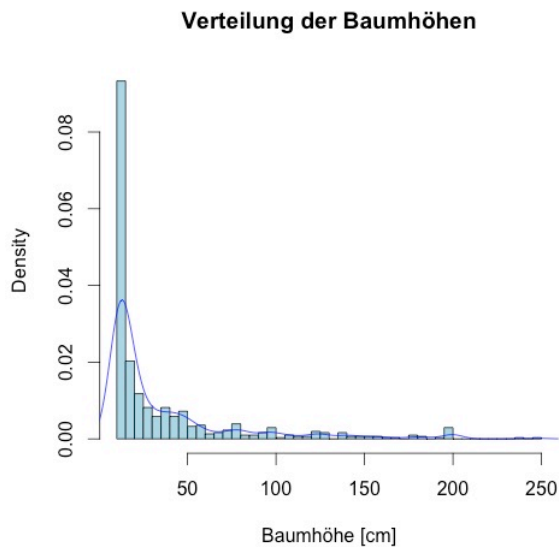


Abbildung 5: Verteilung der Baumhöhen der Tannenverjüngung sowie ihre Dichtefunktion.

Die überwiegende Mehrheit der gemessenen Tannen weist eine Baumhöhe von knapp über 10 cm auf (Abbildung 5). Die Baumhöhe von 10 cm ist das Minimum, bei dem per Definition die Tanne bei den Feldaufnahmen überhaupt dokumentiert wurde. Ab 50 cm ist die Verteilung relativ ausgeglichen, mit einer leichten Tendenz zur Abnahme der Anzahl Plots, je höher die Tannen werden. Diese Verteilung ist nahe einer reverse-J-shaped-Kurve, welche die Stammzahlabnahme in einem ausgeglichenen Bestand von Bäumen mit kleineren zu grösseren Stammdurchmessern beschreibt (Clatterbuck, Stringer, & Tankersley, 2011). Je grösser die Tanne wird, desto robuster ist sie und desto weniger Individuen sterben ab. Im Vergleich zu einer lehrbuchmässigen reverse-J-shaped-Kurve ist die Abnahme der Stammanzahl nach der kleinsten Tannenverjüngung sehr stark.

Die Plots befinden sich zwischen 800 und 1600 m ü. M. Die Dichteverteilung der Stichproben ist in der Abbildung 6 zu sehen. Die Mehrheit der Plots wurde in einer Höhenlage von ca. 1400 m ü. M. aufgenommen. Zwischen den Tannenplots und den Kontrollplots wurde kein Unterschied in Bezug auf die Höhenverteilung gefunden. Die Medianwerte unterscheiden sich um weniger als 50 m.

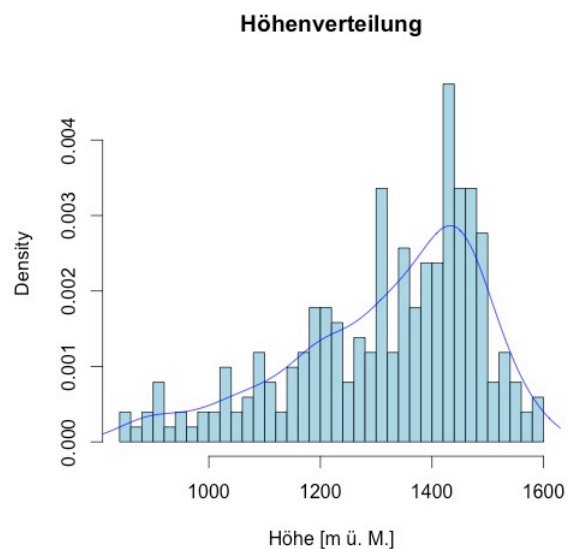


Abbildung 6: Höhenverteilung der Plots und ihre Dichtefunktion.

6.2 Univariate Auswertung

In diesem Kapitel werden die ausgewählten abhängigen Variablen mit den Zielvariablen Keimpotential und Baumhöhe verglichen, um den univariaten Einfluss der einzelnen Variablen auf die Tannenverjüngung zu untersuchen. Die Modellannahmen der statistischen Tests sind im Anhang 10.2 einzusehen.

6.2.1 Eastness

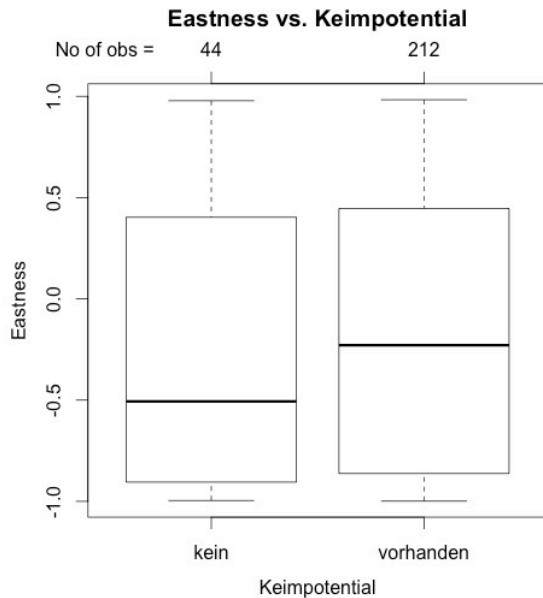


Abbildung 7: Verteilung der Eastness für Plots mit und ohne Keimpotential.

Auf weniger westlich exponierten Plots wurden mehr Tannen über 20 cm gefunden als auf stärker westlich exponierten Plots (Abbildung 8). Die Medianwerte liegen für Tannen ≤ 20 cm bei -0.51 und für Tannen zwischen 20 cm und 2 m bei -0.08. Beide Levels sind fast gleich stark gestreut (25%- und 75%-Quantil).

Der Einfluss der Eastness auf die Baumhöhe ist nicht signifikant (p-Wert: 0.07).

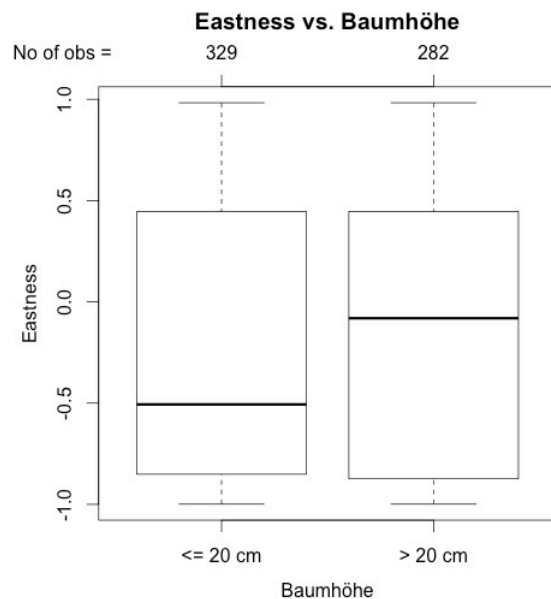


Abbildung 8: Verteilung der Eastness bei Tannenverjüngung mit einer Baumhöhe ≤ 20 cm und > 20 cm.

6.2.2 Abstand vom Mutterbaum

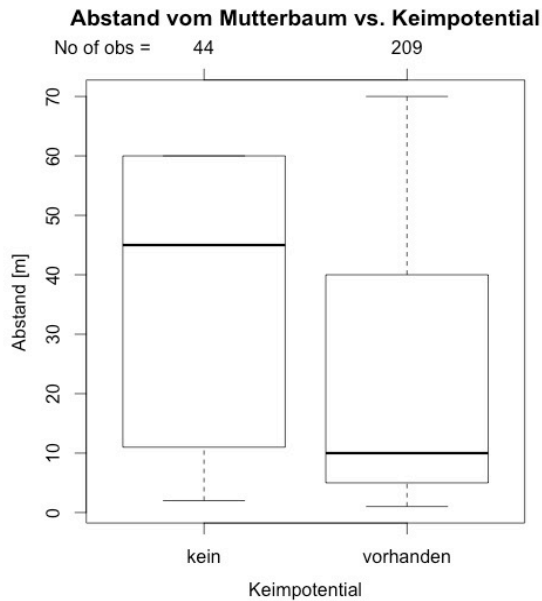


Abbildung 9: Verteilung des Abstands zwischen Mutterbaum und Haupttanne für Plots mit und ohne Keimpotential.

Das Keimpotential war in der Nähe von Mutterbäumen deutlich grösser (Abbildung 9). Bei Plots mit Keimpotential steht der Mutterbaum im Mittel (Median) weniger als 10 m von der Haupttanne entfernt. Bei Plots ohne Keimpotential liegt der Medianwert mit rund 45 m Entfernung deutlich höher. Die Streuung ist bei beiden Kategorien relativ gross. Die Stichprobenverteilung entspricht dem Verhältnis 1 zu 5, wobei viel mehr Plots mit Keimpotential aufgenommen wurden.

Vergleicht man die Variable mit dem Plottyp, ist der Unterschied des Abstands geringer. Kontrollplots sind im Mittel nur 20 m vom Mutterbaum entfernt. Plots, auf denen Tannenkeimlinge, aber keine Tannenverjüngungen vorhanden sind, können somit öfters näher an Mutterbäumen gefunden werden als Plots ohne Keimpotential.

Tannenverjüngung, deren Höhe ≤ 20 cm beträgt, ist durchschnittlich näher bei einem Samenbaum zu finden als Tannenverjüngung, die > 20 cm ist (Abbildung 10). Der p-Wert von $5,2 \cdot 10^{-10}$ ist stark signifikant.

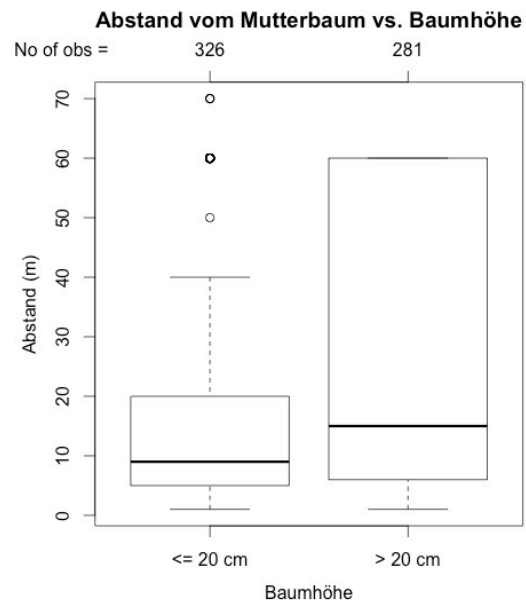


Abbildung 10: Verteilung des Abstands zwischen Mutterbaum und Haupttanne bei Tannenverjüngung mit einer Baumhöhe ≤ 20 cm und > 20 cm.

6.2.3 Bestandesentwicklungsstufen

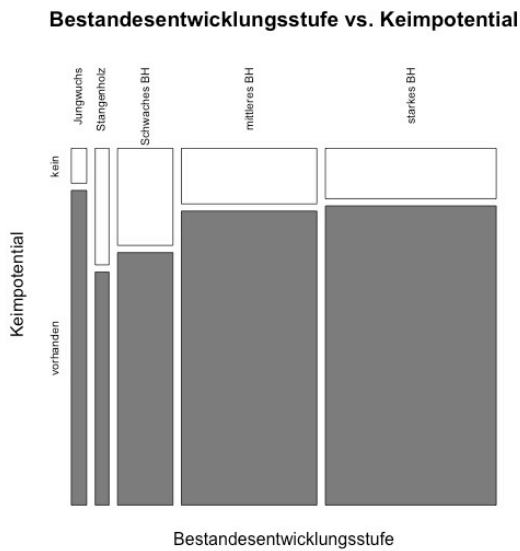


Abbildung 11: Prozentuale Verteilung des Keimpotentials in den verschiedenen Bestandesentwicklungsstufen.

In Beständen mit Stangenholz und schwachem Baumholz als dominierenden Bestandesentwicklungsstufen wurden in der Verjüngung durchschnittlich leicht grössere Tannen gefunden als in den anderen drei Levels (Abbildung 12). Die Werte innerhalb des Quartilabstands weisen bei diesen beiden Levels auch eine stärkere Streuung auf. Tannenverjüngung im Anwuchs dominiert weniger als in den anderen drei Levels.

Der p-Wert eines mässig guten Modellfits weist einen p-Wert von 0.05 auf. Der Zusammenhang ist nicht signifikant.

Plots mit Keimpotential wurden vermehrt in jungen und älteren Beständen gefunden (Abbildung 11). Tannenkeimlinge und Tannenverjüngung wachsen in einem Bestand mit Jungwuchs, mittlerem oder starkem Baumholz besser als in einem Bestand mit Stangenholz oder schwachem Baumholz. Der Mosaikplot relativiert die Aussage insofern, als dass die einzelnen Stufen nicht die gleichen Stichprobengrößen aufweisen. Die meisten Stichproben (mehr als zwei Drittel aller Stichproben) wurden in Beständen mit Samenbäumen genommen.

Der oben beschriebene Trend kann durch den p-Wert von 0.2 nicht bestätigt werden.

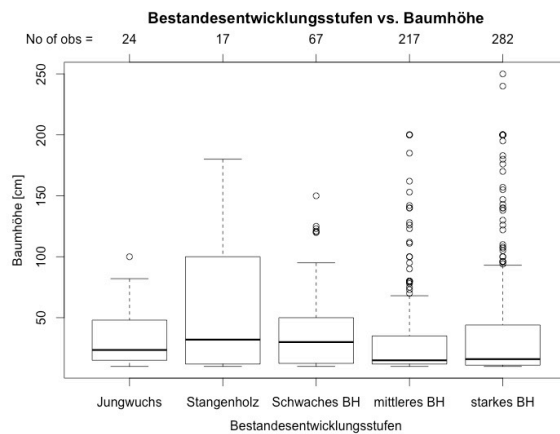


Abbildung 12: Verteilung der Baumhöhen in den verschiedenen Bestandesentwicklungsstufen Jungwuchs, Stangenholz, schwaches Baumholz, mittleres Baumholz und starkes Baumholz.

6.2.4 Kronenschlussgrad

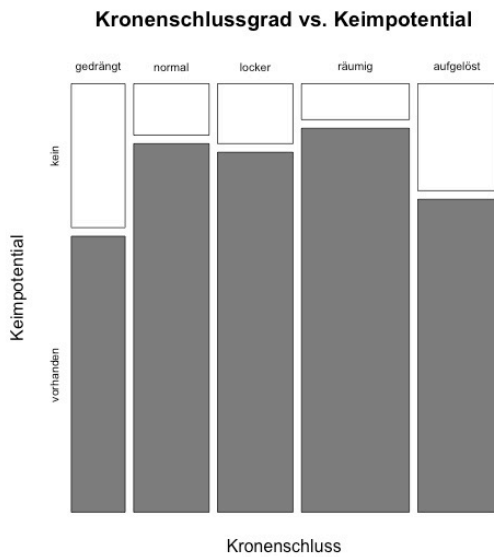


Abbildung 13: Prozentuale Verteilung der Plots mit und ohne Keimpotential in den verschiedenen Levels des Kronenschlussgrads.

Plots mit mittlerer Kronenbedeckung verfügen über ein grösseres Keimpotential als Plots mit einem sehr geringen oder sehr hohen Kronenschlussgrad (Abbildung 13). Es gibt prozentual weniger Plots mit Keimpotential an Standorten mit gedrängtem bzw. aufgelöstem Kronenschluss.

Der Zusammenhang ist signifikant (p -Wert: 0.007). Die Anzahl der Stichproben ist relativ ausgeglichen über die Levels verteilt.

Je aufgelöster die Kronenschicht ist, desto kleiner ist die Tannenverjüngung und desto kleiner ist die Streuung (Abbildung 14). Mit einem p -Wert von $8.4 \cdot 10^{-8}$ hat der Kronenschlussgrad einen signifikanten Einfluss auf die Baumhöhe.

Die Kronenschlussdaten korrelieren über alle Levels mit den Lichtdaten. Die p -Werte der linearen Regression liegen alle zwischen 0.0007 und $< 2 \cdot 10^{-16}$. Der R^2 -Wert ist 0.40.

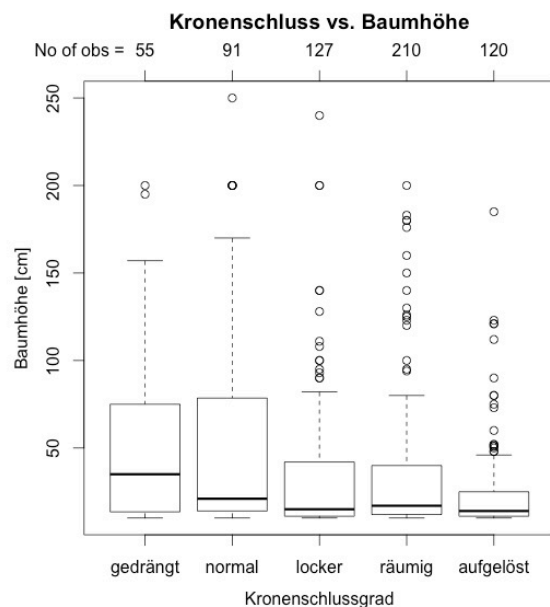


Abbildung 14: Verteilung der Baumhöhe in den verschiedenen Levels des Kronenschlussgrads.

6.2.5 Lichtstunden

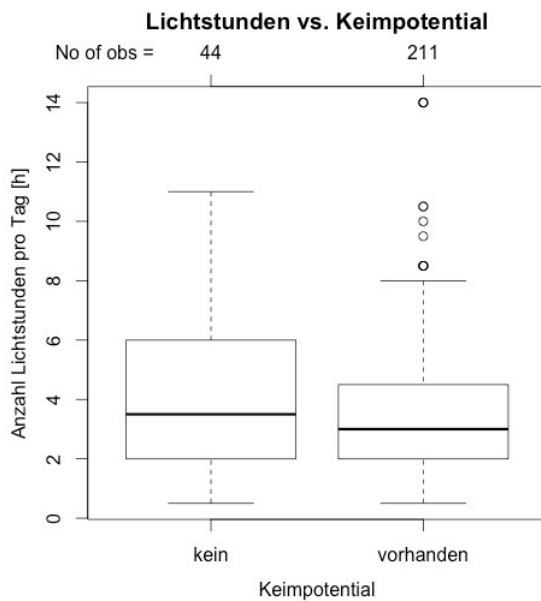


Abbildung 15: Verteilung der Anzahl Lichtstunden pro Tag in Plots mit Keimpotential und ohne Keimpotential.

Die Anzahl der Lichtstunden der Plots mit Tannenverjüngung ≤ 20 cm unterscheiden sich kaum von der Anzahl der Lichtstunden der Plots mit Tannenverjüngung > 20 cm (Abbildung 16). Bei beiden Levels sind die Mediane und die Streuung sehr ähnlich. Tannenverjüngung wurde v.a. auf Plots mit 3 – 4 Lichtstunden pro Tag gefunden. Der Zusammenhang ist nicht signifikant (p -Wert: 0.3).

Das Keimpotential wird von der Anzahl Lichtstunden nicht stark beeinflusst (Abbildung 15). Plots ohne und mit Keimpotential erhalten durchschnittlich fast gleich viele Lichtstunden pro Tag. Plots ohne Keimpotential haben als Medianwert eine nur leicht höhere Anzahl Lichtstunden pro Tag, wobei die Streuung in dieser Kategorie viel grösser ist. Betrachtet man den Vergleich mit dem Plottyp, so liegt der Median der Tannenplots leicht höher. Plots ohne Tannenkeimlinge, aber mit Tannenverjüngung können somit an Standorten mit einer etwas geringeren Anzahl Lichtstunden gefunden werden. Der Zusammenhang zwischen der Anzahl Lichtstunden pro Tag und dem Keimpotential ist nicht signifikant (p -Wert: 0.18).

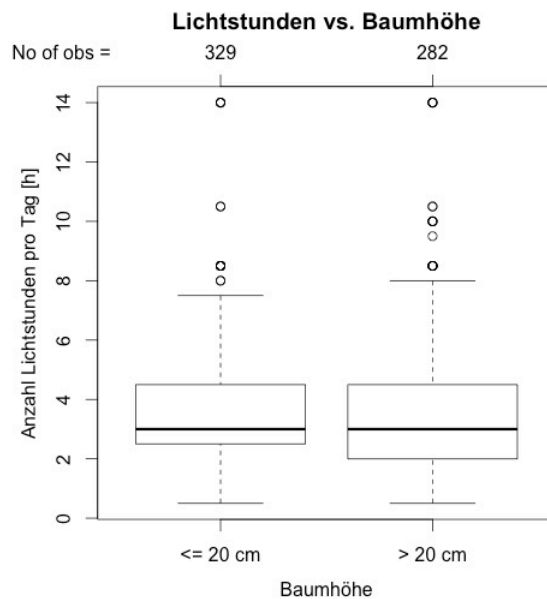


Abbildung 16: Verteilung der Anzahl Lichtstunden für Tannenverjüngung mit einer Baumhöhe ≤ 20 cm und > 20 cm.

6.2.6 Bodenvegetation

6.2.6.1 Bodenvegetation Deckungsgrad

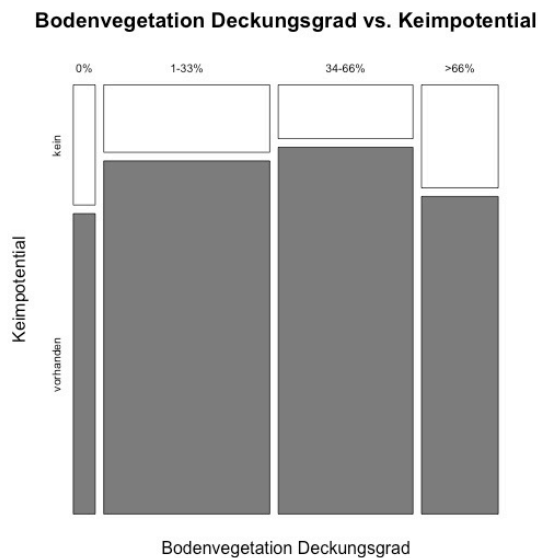


Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Plots mit und ohne Keimpotential in Bezug auf den Deckungsgrad.

Die durchschnittlichen Baumhöhen in den verschiedenen Levels des Deckungsgrads der Bodenvegetation unterscheiden sich kaum (Abbildung 18). Es gibt eine leichte Tendenz, dass Standorte mit geringem oder sehr hohem Deckungsgrad durchschnittlich eine etwas höhere Tannenverjüngung aufweisen als Standorte mit mittlerem Deckungsgrad. Da in den gleichen Levels auch weniger Plots mit Keimpotential gefunden wurden, scheinen die Bedingungen in diesen Levels für die Tannenverjüngung im Anwuchs nicht so günstig wie in den anderen beiden Levels zu sein. Die Streuung der Werte ist in allen Levels sehr ähnlich.

Der Einfluss des Deckungsgrads der Bodenvegetation auf das Keimpotential ist statistisch nicht signifikant (p -Wert: 0.091). Die Stichprobengröße ist beim Level keine (0 %) sehr klein und auch beim Level sehr viel (> 66 %) deutlich kleiner als bei den mittleren Levels.

An Standorten mit geringem und sehr hohem Deckungsgrad wurden prozentual weniger Plots mit Keimpotential gefunden als bei einem kleinen bis mittleren Deckungsgrad (Abbildung 17). Ein Deckungsgrad der Bodenvegetation zwischen 1 – 66 % fördert tendenziell das Keimpotential.

Der Zusammenhang ist nicht signifikant (p -Wert: 0.23). Die Stichprobengröße variiert zwischen den verschiedenen Levels und ist bei den mittleren Levels am grössten.

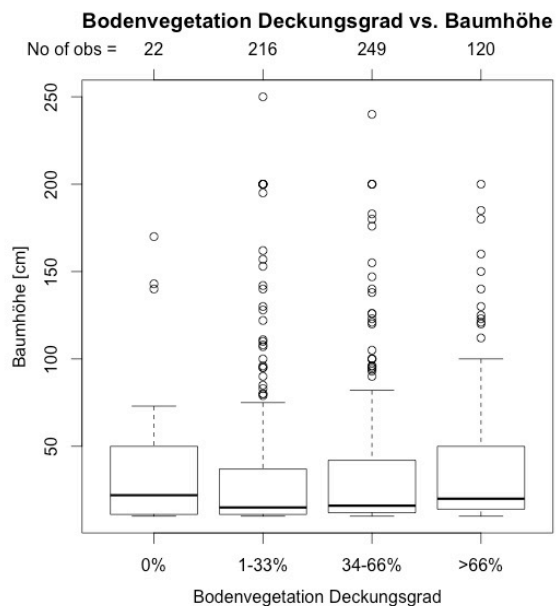


Abbildung 18: Verteilung der Baumhöhe in den vier Levels des Deckungsgrads der Bodenvegetation.

6.2.6.2 Bodenvegetation Höhe

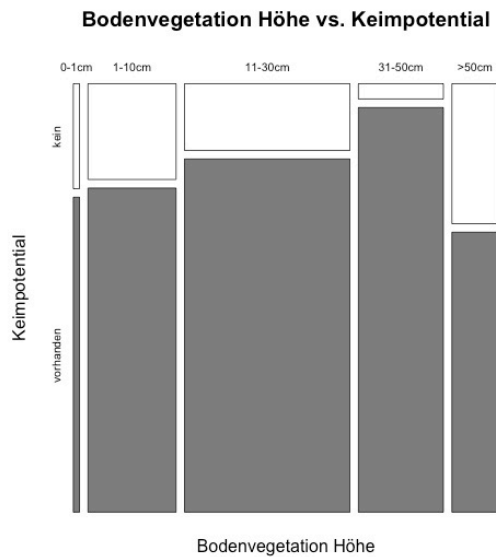


Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Plots mit und ohne Keimpotential in Abhängigkeit von der Höhe der Bodenvegetation.

Die Höhe der Bodenvegetation hat keinen grossen Einfluss auf die Baumhöhe (Abbildung 20). Mit Ausnahme des Levels keine Bodenvegetation (0-1 cm) ist kaum ein Unterschied zwischen den Medianwerten in den jeweiligen Boxplots vorhanden. Die äusseren Levels 1-10 cm und > 50cm weisen einen leicht höheren Medianwert und eine stärkere Streuung auf.

Das Level keine Bodenvegetation (0-1 cm) muss aufgrund der kleinen Stichprobengrösse separat betrachtet werden. Die beiden Werte gehören zu Kontrollplots, bei denen ein sehr blockiges Bodenprofil die Bodenvegetation am Wachsen hindert.

Der Zusammenhang ist nicht signifikant (p-Wert: 0.24).

Die Höhe der Bodenvegetation hat einen Einfluss auf das Keimpotential (Abbildung 19). In den mittleren drei Levels steigt die prozentuale Anzahl Plots mit Keimpotential mit der Höhe der Bodenvegetation. Plots mit einer Bodenvegetation zwischen 31 und 50 cm weisen prozentual am häufigsten Keimpotential auf.

Der Zusammenhang ist signifikant (p-Wert: 0.0080). Abgesehen vom Level keine Bodenvegetation sind die Stichprobengrössen einigermaßen ausgeglichen, wobei das mittlere Level (11-30 cm) am meisten aufgenommene Plots enthält.

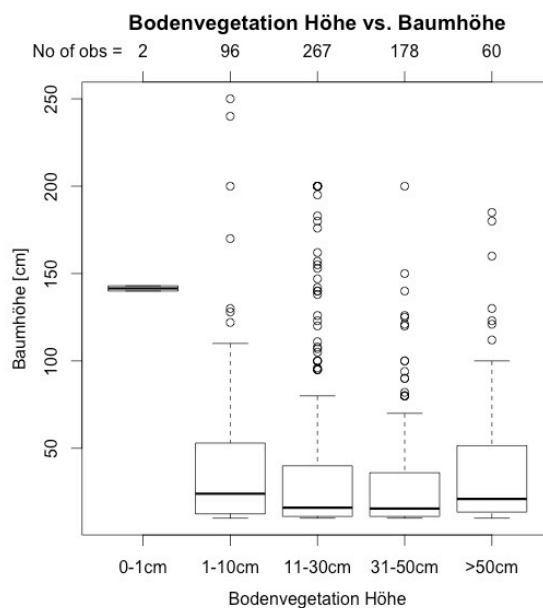
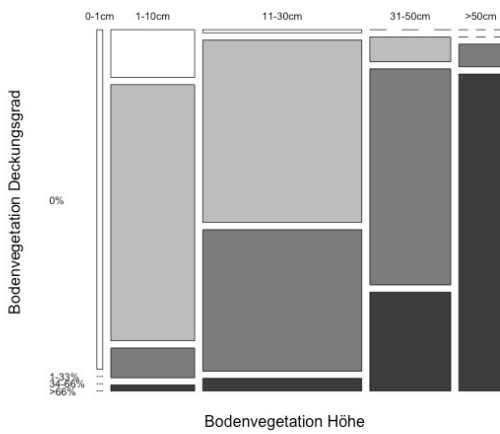


Abbildung 20: Verteilung der Baumhöhen in Abhängigkeit von der Höhe der Bodenvegetation.

Bodenvegetation Höhe vs. Bodenvegetation Deckungsgrad



Die abhängigen Variablen Bodenvegetation Höhe und Bodenvegetation Deckungsgrad korrelieren (Abbildung 21). Plots mit einem hohen Deckungsgrad weisen häufig eine hohe Bodenvegetation auf, wohingegen bei einem geringen Deckungsgrad meist eine kleinere Bodenvegetation vorhanden ist.

Abbildung 21: Vergleich der abhängigen Variablen Bodenvegetation Höhe und Bodenvegetation Deckungsgrad.

6.2.7 Streu

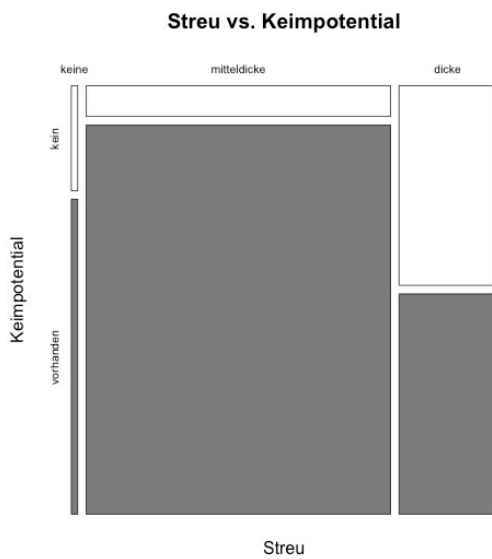


Abbildung 22: Prozentuale Verteilung des Keimpotentials in den drei Levels keine Streu, 1-3 cm Streu (mitteldicke Streuauflage) und > 3 cm (dicke Streuauflage).

Bei einer Streuauflage von 1-3 cm ist die Tannenverjüngung durchschnittlich deutlich kleiner als bei den anderen beiden Levels (Abbildung 23). Die Tannen im Anwuchs dominieren in diesem Level. Eine mitteldicke Streuauflage ist v.a. für Tannen im Anwuchs günstiger als keine oder eine sehr dicke.

Der kleine p-Wert von $3.16 \cdot 10^{-5}$ würde den Effekt bestätigen. Die Modellannahmen sind aber aufgrund der unterschiedlichen Stichprobenanzahl der Levels nicht erfüllt. Die Aussage kann statistisch weder widerlegt noch bestätigt werden.

Bei einer mitteldicken Streuauflage von ca. 1-3 cm wurden prozentual deutlich mehr Plots mit Keimpotential gefunden als bei einer sehr dünnen oder sehr dicken Streuauflage (Abbildung 22).

Der positive Einfluss einer mitteldicken Streuauflage auf das Wachstum der Verjüngung wird mit einem p-Wert von 0.0005 bestätigt. Der Zusammenhang ist signifikant. Die Stichprobengrößen sind bei dieser Variablen sehr ungleich verteilt, wobei das mittlere Level deutlich mehr Stichproben als die anderen Kategorien aufweist.

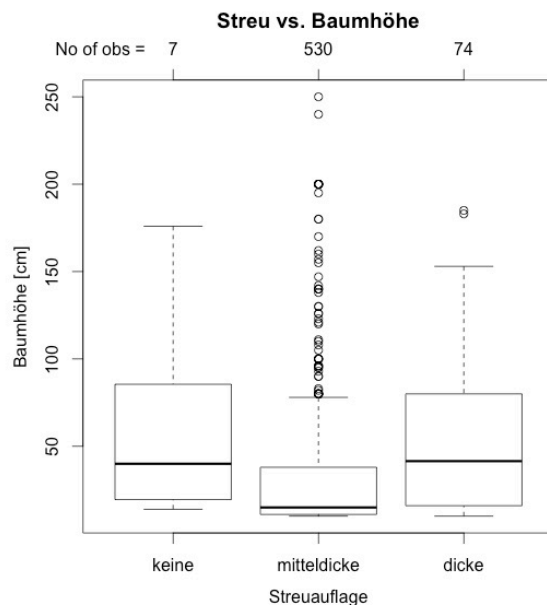
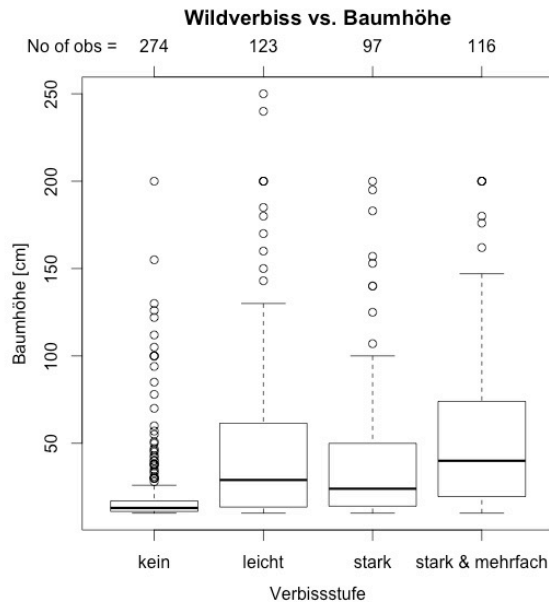


Abbildung 23: Verteilung der Baumhöhen in den drei Levels keine Streu, 1-3 cm Streu (mitteldicke Streuauflage) und > 3 cm Streu (dicke Streuauflage).

6.2.8 Wildeinfluss

Der Wildeinfluss kann lediglich bei den Tannenplots analysiert werden. Frassschäden auf Kontrollplots sind möglich, können aber kaum nachgewiesen werden.

6.2.8.1 Wildverbiss



Grössere Tannen werden tendenziell stärker verbissen als kleinere (Abbildung 24). Vor allem Tannen, die gerade 10 cm Höhe erreicht oder überschritten haben, werden noch kaum verbissen. Von ca. 20 cm an setzt ein deutlicher Verbiss ein. Die Tannenverjüngung kann jedoch trotz Verbiss aufwachsen (Abbildung 25). Welchen Schaden sie davonträgt, ist nicht feststellbar. Die Streuung ist, abgesehen vom Level kein Wildverbiss, ähnlich ausgeprägt.

Der Zusammenhang zwischen dem Verbiss und der Baumhöhe ist signifikant (p -Wert: $< 2 \cdot 10^{-16}$).

Abbildung 24: Verteilung der Baumhöhen bezogen auf die verschiedenen Verbisstufen.

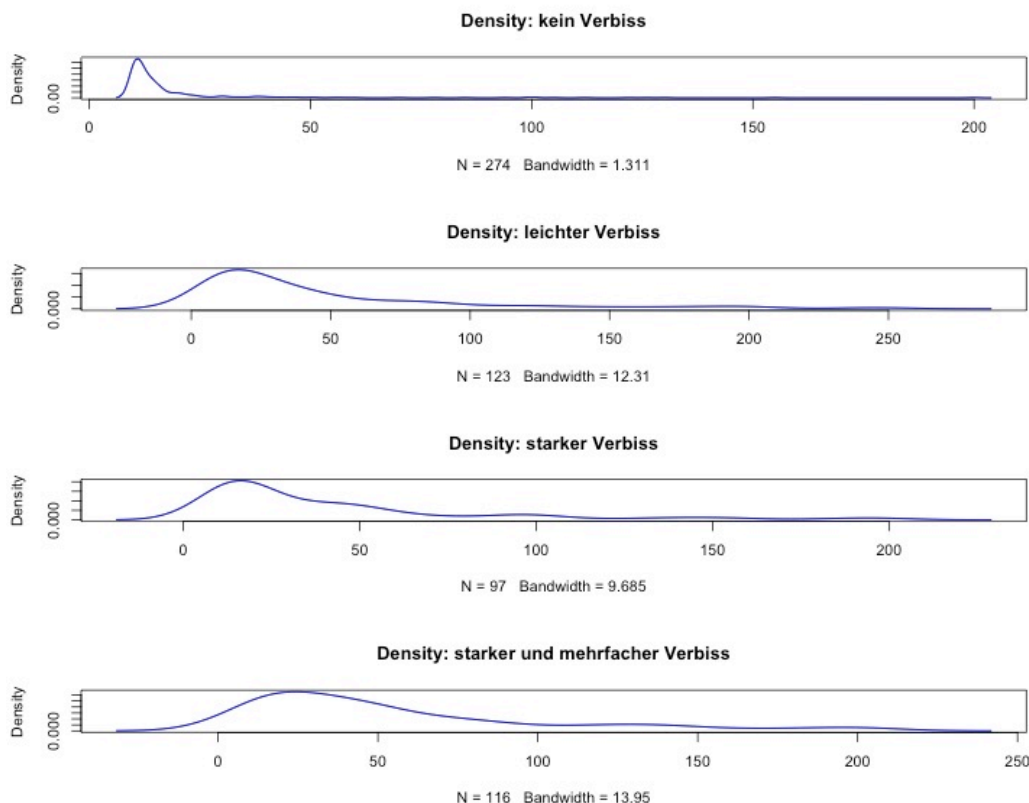
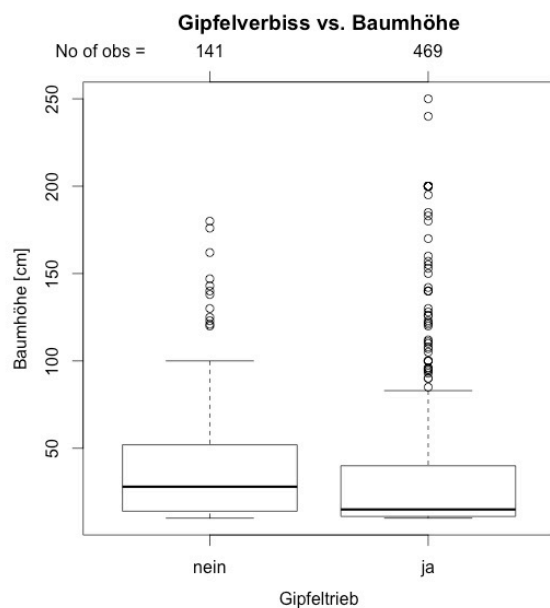


Abbildung 25: Dichtefunktionen der Baumhöhen in den verschiedenen Verbisstufen.

6.2.8.2 Gipfeltrieb



Tannen mit verbissenem Gipfeltrieb sind tendenziell etwas grösser als Tannen mit intaktem Gipfeltrieb (Abbildung 26). Die Mediane unterscheiden sich um ca. 10 cm und beim Level Gipfeltrieb nicht vorhanden ist die Streuung breiter. Der Zusammenhang zwischen dem Verbiss des Gipfeltriebs und der Baumhöhe ist signifikant (p-Wert: 0.0010).

Abbildung 26: Verteilung der Baumhöhen in den beiden Levels Gipfeltrieb nicht vorhanden (nein) und Gipfeltrieb vorhanden (ja).

6.2.9 Übersicht

Eine kurze Zusammenfassung der statistischen Auswertung ist in Tabelle 5 ersichtlich. Die signifikanten p-Werte sind grau hinterlegt.

Tabelle 5: Übersicht der p-Werte der univariaten Auswertung mit den verschiedenen statistischen Tests.

Variablen	Chi-square Test (Keimpotential)	Generalized Linear Model (Keimpotential)	One-way ANOVA (Baumhöhe)	Lineare Regression (Baumhöhe)
Eastness		0.646	0.069	0.0454
Abstand Mutterbaum		0.00192	$5.23 \cdot 10^{-10}$	0.0396
Bestandes- entwicklungsstufe	0.2479		0.12	
Kronenschlussgrad	0.004998		0.00000181	
Anzahl Lichtstunden		0.176	0.299	0.328
Bodenvegetation Deckungsgrad	0.2029		0.644	
Bodenvegetation Höhe	0.008996		0.000282	
Streuauflage	0.0004998		0.000106	
Wildschaden			$< 2 \cdot 10^{-16}$	
Gipfelverbiss			0.000993	

6.3 Multivariate Auswertung

Die Anzahl Lichtstunden korrelieren mit den Variablen Kronenschlussgrad, Bodenvegetation Deckungsgrad und Bodenvegetation Höhe. Deshalb wird in den folgenden Entscheidungsbäumen nur die Variable Anzahl Lichtstunden verwendet.

Die Variablen Wildschaden und Gipfelverbiss haben ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang. In den Entscheidungsbäumen mit der Zielvariablen Baumhöhe wird die Variable Wildverbiss als Parameter für den Wildschaden benutzt.

6.3.1 Entscheidungsbäume Keimpotential

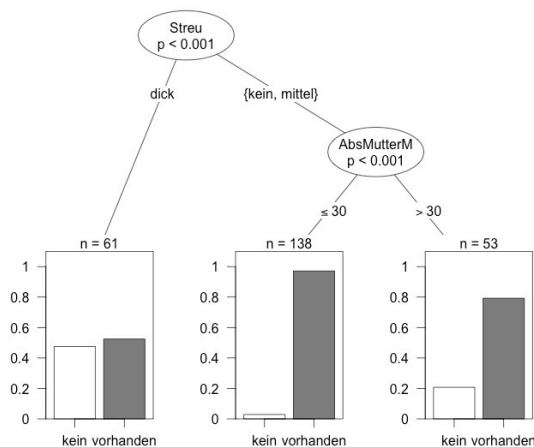


Abbildung 27: Entscheidungsbaum mit der Zielvariablen Keimpotential und den abhängigen Variablen Eastness, Abstand vom Mutterbaum, Anzahl Lichtstunden und Streu.

geringen bis mitteldicken Streuauflage und einem Abstand zum nächsten Mutterbaum von weniger als 30 m ist für das Keimpotential am optimalsten.

Wenn man auch die korrelierenden Variablen dazu nimmt, sieht der Entscheidungsbaum gleich aus.

Wird die zweitwichtigste Variable Abstand vom Mutterbaum aus dem obigen Entscheidungsbaum entfernt, erscheint die Anzahl Lichtstunden als zweitwichtigste Variable (Abbildung 28). Plots mit einer dicken Streuauflage weisen wiederum am häufigsten kein Keimpotential auf. Einige Plots ohne Keimpotential wurden bei einer mittleren bis geringen Streu und mehr als 4.5 Lichtstunden pro Tag gefunden. Tannenverjüngung, die auf einem Boden mit mässig viel Streu und weniger als 4.5 Lichtstunden pro Tag gefunden wird, wächst fast immer gut.

Wird ein Entscheidungsbaum mit allen Variablen der univariaten Analyse - ausgenommen der korrelierenden - erstellt, erscheint Streu als wichtigste Variable und Abstand vom Mutterbaum als zweitwichtigste (Abbildung 27). Diese beiden Variablen haben in der univariaten Auswertung einen signifikanten Einfluss auf das Keimpotential.

Entscheidend ist, ob die Streuauflage dick oder mittel bis klein ist. Fast alle Plots ohne Keimpotential wurden bei einer dicken (> 3 cm) Streuauflage gefunden. Einige Plots ohne Keimpotential, die eine geringe bis mitteldicke Streu aufweisen, wurden auch bei einem Abstand vom Mutterbaum von mehr als 30 m gefunden. Die Kombination aus einer

geringen bis mitteldicken Streuauflage und einem Abstand zum nächsten Mutterbaum von weniger als 30 m ist für das Keimpotential am optimalsten.

Wenn man auch die korrelierenden Variablen dazu nimmt, sieht der Entscheidungsbaum gleich aus.

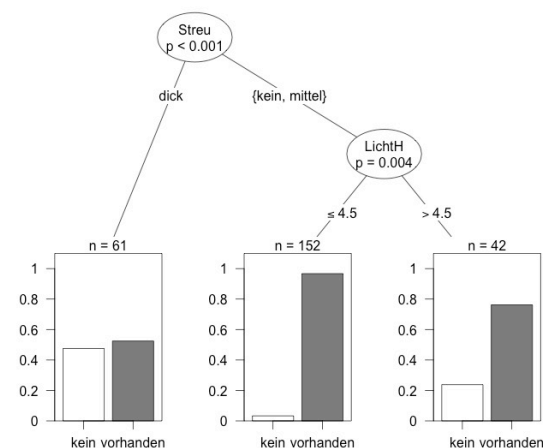
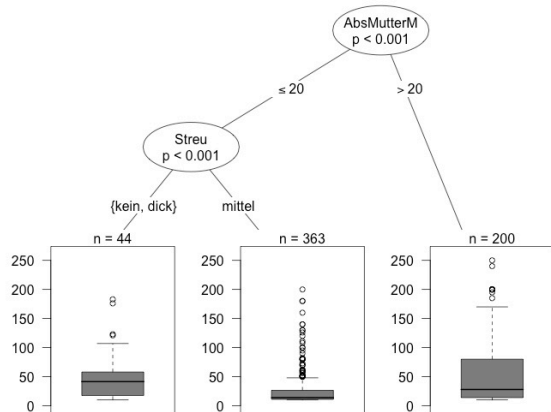


Abbildung 28: Entscheidungsbaum mit der Zielvariablen Keimpotential und den abhängigen Variablen Eastness, Anzahl Lichtstunden und Streu.

6.3.2 Entscheidungsbäume Baumhöhe



Werden alle nicht korrelierenden Variablen der univariaten Auswertung ohne die Variable Wildschaden modelliert, ist für die Höhe der Tannenverjüngung der Abstand vom Mutterbaum am wichtigsten (Abbildung 29). Durchschnittlich weisen Plots mit einem Abstand von mehr als 20 m wie auch solche mit einem Abstand von weniger als 20 m und keiner oder einer sehr dicken Streu höhere Tannenverjüngung auf.

Abbildung 29: Entscheidungsbaum mit der Zielvariablen Baumhöhe und den abhängigen Variablen Eastness, Abstand vom Mutterbaum, Anzahl Lichtstunden und Streu.

Die Variable Wildschaden ist von allen nicht korrelierenden Variablen der univariaten Auswertung für die Höhe der Tannenverjüngung am wichtigsten (Abbildung 30). Der erste Knoten teilt die Tannen in Gruppen mit und ohne Verbiss, wobei die Tannen mit Verbiss tendenziell höher als Tannen ohne Verbiss sind. Die Variable Abstand vom Mutterbaum teilt als zweitwichtigste und Streu als drittwichtigste Variable die Daten. An Standorten nahe von Mutterbäumen werden durchschnittlich kleinere Tannen gefunden als bei Standorten weiter weg. Die Grenze des Abstands vom Mutterbaum liegt zwischen 20 und 30 m, je nachdem ob die Tannen verbissen sind oder nicht. Bei der Streu weist jeweils das mitteldicke Level durchschnittlich kleinere Tannen als das dicke auf.

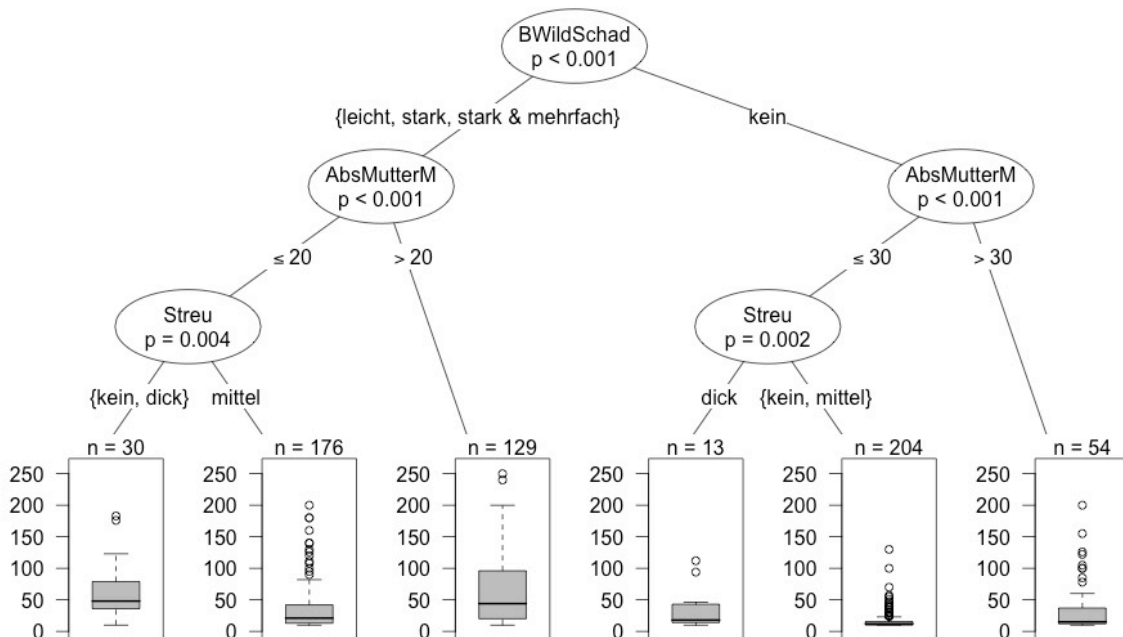


Abbildung 30: Entscheidungsbaum der Zielvariablen Baumhöhe mit den abhängigen Variablen Wildverbiss, Abstand Mutterbaum, Streu, Anzahl Lichtstunden und Eastness.

7 Diskussion

Das Keimpotential und das Wachstum der Verjüngung der Weisstanne werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die Resultate der ausgewählten Variablen zeigen in der univariaten Analyse grosse Unterschiede im Ausmass des Einflusses. In der multivariaten Analyse erscheinen drei Variablen als zentral. Der Abstand vom Mutterbaum, die Streuauflage sowie der Wildverbiss wirken sich signifikant auf das Keimpotential und die Baumhöhe aus. In den folgenden Unterkapiteln werden diese drei Variablen, teilweise thematisch mit weiteren Variablen ergänzt, diskutiert.

7.1 Samenverbreitung

Die Resultate der Variablen Abstand vom Mutterbaum können mit der Verbreitung der Samen erklärt werden. Ein Mutterbaum kann mit einer Punktquelle verglichen werden. Mit zunehmendem Abstand vom Mutterbaum sinkt die Anzahl Samen und somit deren Dichte (Anzahl Samen pro Fläche). Umweltfaktoren wie Wind, Niederschlag oder Hangneigung können das Verbreitungsmuster der Samen zusätzlich beeinflussen. Bereits bei der Keimung findet eine grosse natürliche Selektion statt und nur ein kleiner Anteil Samen wächst zu Keimlingen. Die Chancen auf Keimung sind bei einer höheren Samendichte grösser. Dies bestätigen die Erkenntnisse aus dieser Arbeit. Das Keimpotential ist näher beim Mutterbaum grösser als weiter weg.

Der Unterschied in den durchschnittlichen Baumhöhen - neben einer grossen Tanne lassen sich durchschnittlich kleinere Tannen finden als weiter weg - kann durch verschiedene Phänomene erklärt werden. An Standorten mit mehr Keimlingen gibt es im Normalfall auch mehr Tannenverjüngung im Anwuchs. Mehr Tannenverjüngung bedeutet stets eine gewisse intraspezifische Konkurrenz, weswegen viele Tannen im Anwuchs nicht überleben. Standorte, die weiter entfernt sind, weisen aufgrund der kleineren Samendichte weniger intraspezifische Konkurrenz auf und mehr Tannenverjüngung im Anwuchs überlebt. Zusätzlich zur intraspezifischen Konkurrenz könnten allelopathische Effekte eine Rolle spielen. Der Begriff wurde 1937 von Molisch eingeführt und umfasst alle gegenseitigen biochemischen Interaktionen, sowohl hemmende wie auch stimulierende, zwischen Pflanzen inklusive Mikroben. Viele Gymnospermen weisen eine Form von Allelopathie auf, so auch die Weisstanne, wie Becker und Drapier (1985) feststellten.

Die Samenverbreitung ist über die Zeit auch von den Schwankungen der Samenproduktion abhängig. Mastjahre können zu grösseren Unterschieden in den Keimlingszahlen zwischen den Jahren führen und die Stammzahlverteilung über die Baumhöhe beeinflussen. Die starke Stammzahlabnahme bei Tannen mit einer Höhe zwischen 15 und 20 cm könnte auf ein schlechtes Samenjahr zurückzuführen sein. Eine geringe Samenproduktion in Kombination mit bspw. einer Trockenperiode kann einen ganzen Jahrgang von Keimlingen töten. Die Datenreihe des WSL betreffend Mast der Weisstanne zeigt keine besonderen Vorkommnisse in den letzten Jahren. Die Weisstanne in der Schweiz hat seit 2009 abwechselungsweise eine Vollmast und eine Sprengmast. Dies sollte eine gute Basis für eine kontinuierliche Verjüngung sein. In einer weiterführenden Untersuchung könnten Faktoren wie Temperatur oder Niederschlag mit den Daten zur Mast verglichen werden, um allfällige übermässige Ausfälle von Keimlingen aufgrund geringer Samenproduktion in den letzten Jahren zu erkennen (Burkart, 2016).

7.2 Substratbedingungen

Die Dicke der Streuauflage beeinflusst sowohl das Keimpotential wie auch die Höhe der Tannenverjüngung. Für die Keimung und die erste Phase der Jungpflanze sind Umwelteinflüsse und inter- sowie intraspezifische Konkurrenz entscheidend (Ponge et al., 1998).

Die Streu beeinflusst u.a. die Temperatur-, Wasser- und Nährstoffverhältnisse. Eine moderate Schicht bietet den Samen resp. den Jungpflanzen einen gewissen Schutz und Stabilität. Zu wenig oder zu viel Streu kann sich nachteilig auswirken. Plots ohne Streuauflagen wurden v.a. in Blockhalden gefunden, wo die Nährstoff- und Wasserverhältnisse aufgrund der fehlenden Streu- und Humusschicht sowie dem gering ausgebildeten Mineralboden ungünstig sind. Eine sehr dicke Streuschicht hemmt die Keimung und den Aufwuchs von Tannenverjüngung. Es könnten ähnliche Mechanismen, wie sie bei einer Studie zur Douglasie erkannt wurden, eine Rolle spielen (Caccia & Ballare, 1998). Die Streuauflage verlängert die Distanz zwischen dem Samen und dem Mineralboden resp. der Bodenoberfläche und kann aufgrund ihres niedrigen Wasserrückhaltevermögens Wasserstress verursachen. Des Weiteren kann eine dicke Streu u.a. folgende negative Auswirkungen haben: die Keimung mechanisch behindern, den pH-Wert vermindern, Mykorrhiza-Interaktionen sowie allelopathische Effekte beeinflussen. Indirekte Auswirkungen von zu wenig oder zu viel Streu bspw. auf die Bodenvegetation können nicht beurteilt werden.

An Standorten mit günstigeren Keimbedingungen, d.h. einer mitteldicken Streuschicht, überwiegt die Tannenverjüngung im Anwuchs; die etwas grösseren Tannen im Aufwuchs fallen weniger stark ins Gewicht und erscheinen z.T. sogar als Ausreisser. Bei Plots mit keiner oder einer sehr dicken Streu ist die durchschnittliche Baumhöhe der Tannenverjüngung deutlich höher. Grundsätzlich ist eine Stammzahlabnahme der Weisstanne mit zunehmender Baumhöhe eine natürliche Entwicklung (Assmann, 1961). Unklar ist jedoch, ob die Verteilung der Baumhöhen bei einer mitteldicken Streu oder bei keiner resp. zu dicker Streu der natürlichen Entwicklung besser entsprechen. Entweder sterben die Tannen auf Plots mit mitteldicker Streu ab ca. 20 cm durch bspw. interspezifische Konkurrenz, intraspezifische Konkurrenz oder Wildverbiss übermässig ab oder die Tannen ≤ 20 cm werden auf den anderen Plots durch Umweltfaktoren wie Streu am Wachsen gehemmt. Die einzelnen Tannen, die überleben, wachsen meist ohne Probleme auf.

Eine weitere Variable, die sich auf das Substrat auswirken könnte, ist die Eastness. Die Sonneneinstrahlung ist von der Exposition abhängig und kann u.a. die Bodenbedingungen beeinflussen.

Die Sonneneinstrahlung beeinflusst den Wärmehaushalt des Bodens. Wärme ist für das Wurzelwachstum entscheidend. In Gebirgswäldern liegen die Temperaturen im Oberboden oft deutlich unter den optimalen Werten. An Standorten mit Nachmittags-sonne wird das Wachstum begünstigt, da der Oberboden besser als durch die Morgensonne aufgewärmt wird. Zuviel Sonneneinstrahlung kann jedoch zu Überhitzungsschäden an Keimlingen und Verjüngung im Anwuchs führen. Zudem besteht v.a. in Kombination mit einer dicken Streuschicht Austrocknungsgefahr (Ott, 1997). Keimlinge und Tannenverjüngung im Anwuchs sind sensibler auf Wasserstress, da ihr Wurzelsystem noch nicht stark ausgebildet ist (Caccia & Ballare, 1998).

Im Misox und Calancatal ist an Standorten mit einer weniger westlichen Exposition das Keimpotential grösser. Da Westhänge mehr Nachmittags-sonne als Osthänge haben, ist eine westliche Exposition für die Tannenverjüngung von Vorteil. Eine zu stark westliche Exposition erhöht jedoch die Gefahr von Überhitzungs- und Austrocknungsschäden.

7.3 Wildeinfluss und Bodenvegetation

Von den Hauptbaumarten wird die Tanne am stärksten verbissen und reagiert am empfindlichsten darauf. Weshalb die Tanne bevorzugt wird, ist umstritten. Sicherlich ist sie dem Verbiss länger ausgesetzt, da die Tannenverjüngung teilweise lange im Schatten ausharrt (Engesser et al., 2000).

Die Tannenverjüngung wird erst ab einer gewissen Grösse (ca. ab 20 – 30 cm) sichtbar verbissen. Die kleineren Tannen sind für das Wild zu klein, werden von ihm übersehen oder dann vollständig aufgefressen, sodass man den Wildschaden nicht mehr abschätzen kann. Nach Engesser et al. (2000) reduziert sich die negative Wirkung des Verbisses für eine Tannenverjüngung, wenn sie grossflächig 20 cm Höhe erreicht hat. Dies könnte die starke Stammzahlabnahme - stärker als bei einer reverse-J-shaped-Kurve zu erwarten ist - zwischen 15 und 20 cm Baumhöhe und das Wachsen der Tannenverjüngung im Aufwuchs trotz Verbiss erklären. Da sich die Tanne im Misox jedoch nicht grossflächig verjüngt, ist der negative Einfluss des Verbisses auf die Weiterentwicklung der Verjüngung beträchtlich. Die einzelnen Individuen werden durch Verbiss am Gipfeltrieb um rund zwei Jahre in der Entwicklung zurückgeworfen oder können gar absterben. Zudem beansprucht ein mehrfacher Verbiss die Ressourcen der Tanne stark. Diese Verluste können von den anderen Individuen aufgrund der geringen Verjüngungsdichte kaum kompensiert werden (Schwitter & Herrmann, 2000). In solchen Gebieten wird oft eine Schwerpunktjagd angeordnet; die Tannenverjüngung soll durch eine intensive Jagd über einen gewissen Zeitraum geschützt werden (Engesser et al., 2000).

Die Besichtigung von drei Wildzäunen im Rahmen der Feldarbeiten bestätigt den Einfluss des Wilds auf die Tannenverjüngung. Innerhalb der Zäune konnten deutlich mehr Tannen in allen Jungwuchsstadien gefunden werden.

Der Wildeinfluss darf nicht nur isoliert betrachtet werden. Er steht im Zusammenhang mit anderen Variablen wie der Anzahl Lichtstunden und den damit korrelierenden Variablen Kronenschlussgrad, Bodenvegetation Höhe und Bodenvegetation Deckungsgrad. Diese Variablen und das Frassverhalten des Wildes beeinflussen sich möglicherweise gegenseitig. Dabei kann das Wild auch einen positiven Einfluss auf die Tannenverjüngung haben, z.B. durch Abäsen von Konkurrenzvegetation (Odermatt, 1999).

Die Anzahl Lichtstunden weist keinen signifikanten direkten Einfluss auf das Keimpotential und die Baumhöhe auf. Die Lichtstundenanzahl ist an allen Standorten genügend hoch, sodass Tannenverjüngung aufkommen kann. Nach Schwitter und Herrmann (2000) reichen für die Tanne 1 % Tageslicht in der Keimphase resp. 5 % Tageslicht in der Jugendphase aus, um zu wachsen. Das Licht kann jedoch indirekt die Tannenverjüngung beeinträchtigen, indem es bspw. bei aufgelöstem Kronenschluss die Bodenvegetation fördert oder das Frassverhalten des Wilds beeinflusst. Die Variable Anzahl Lichtstunden korreliert mit dem Kronenschlussgrad, der Bodenvegetationshöhe und dem Bodenvegetationsdeckungsgrad.

Standorte mit keiner oder sehr viel Bodenvegetation sind für das Keimpotential weniger günstig als ein mittlerer Deckungsgrad der Bodenvegetation. Die Bodenvegetation und die Tannenverjüngung im Anwuchs konkurrieren u.a. um Licht, Nährstoffe und Wasser. Aufgrund der hohen Schattentoleranz der Tanne ist es jedoch sehr unwahrscheinlich, dass die Tannenverjüngung von zu wenig Licht gehemmt wird. Vielmehr besteht an Standorten mit viel Bodenvegetation und einem aufgelöstem Kronendach eine erhöhte Gefahr für Überhitzungs- und Austrocknungsschäden. Keine

Bodenvegetation kann ein Hinweis auf ungünstige Bodenbedingungen, wie z.B. Blockhalden oder schattige Standorte, deren Oberboden von der Sonne nur schwach aufgewärmt wird, sein.

Die Höhe der Bodenvegetation hat einen stärkeren Einfluss auf die Tannenverjüngung als der Deckungsgrad. Niedrige und sehr hohe Bodenvegetation scheinen die Verjüngung zu behindern. Die Gründe entsprechen denjenigen des Deckungsgrads. Bei hoher Bodenvegetation spielt u.a. die Konkurrenz um Licht und Nährstoffe eine Rolle. Bei niedriger Bodenvegetation kommen vermutlich indirekte Effekte zum Ausdruck. So kann eine niedrige Bodenvegetation bspw. die Folge von ungünstigen Bodenbedingungen oder von einem zu kalten Oberboden sein.

An Standorten mit vermehrter Bodenvegetation und einem aufgelösten Kronendach hält sich das Wild bevorzugt zum Fressen auf, wodurch die Tannenverjüngung an diesen Orten öfter zu Schaden kommt. Im Winter und Anfang Frühling, wenn die alternative Nahrung vom Schnee bedeckt ist, wird die immergrüne Tanne (und Fichte) vermehrt verbissen. Allerdings weicht das Wild häufig in tiefere Höhenlagen aus, wodurch die Tannenverjüngung in höheren Lagen in der kalten Jahreszeit eher verschont bleibt.

Die vorliegende Arbeit stellt eine Momentaufnahme der Verjüngungssituation dar. Viele Einflussfaktoren im Wald - wie z.B. die Bodenvegetation oder der Kronenschlussgrad - sind dynamisch. Die Möglichkeit eines time-lags sollte deshalb berücksichtigt werden. Als die Tannenverjüngung kleiner war, war wohl die Bodenvegetation noch nicht so hoch, der Kronenschluss noch nicht so dicht oder der Bestand noch nicht so alt. Bei der relativ schnell wachsenden Bodenvegetation ist eine leichte Verschiebung der Baumhöhe von einem geringen Deckungsgrad resp. einer geringen Höhe zu einem hohen Deckungsgrad resp. einer grossen Höhe zu erkennen.

7.4 Günstige Kombinationen von Einflussfaktoren

Unabhängig davon, ob die Variablen isoliert oder in Kombination betrachtet werden, sind die Variablen Abstand vom Mutterbaum, Streu und Wildschaden am wichtigsten. Für das Keimpotential günstigere und ungünstigere Standorte können mit Hilfe der Streuauflage an erster und dem Abstand vom Mutterbaum an zweiter Stelle bereits relativ gut bestimmt werden. Eine mitteldicke Streuauflage in weniger als 30 m Abstand zu einem Samenbaum erhöht die Chance auf Tannenverjüngung. Diese Kombination weist auch deutlich mehr Tannen im Anwuchs (v.a. zwischen 10 und 15 cm Höhe) auf. Wird der Abstand vom Mutterbaum nicht beachtet, sind nach der Streu die Anzahl Lichtstunden entscheidend. Standorte mit einer mitteldicken Streuauflage und weniger als 4.5 Lichtstunden pro Tag haben ein grosses Keimpotential. In dichten Beständen hat vermutlich die Streu einen grösseren Einfluss auf die Tannenverjüngung als das Licht.

Die günstigsten Bedingungen für die Tannenverjüngung betreffend Bodenvegetation sind ein mittlerer Deckungsgrad und eine Höhe zwischen 10 – 50 cm. Diese Erkenntnisse entsprechen den von Schwitter und Herrmann (2000) definierten optimalen Bedingungen für die Ansamung: eine lockere, artenarme Krautschicht mit moosbedecktem, eher saurem Oberboden. Die Tannenverjüngung kann mit kleinflächigen Eingriffen, welche lange Verjüngungszeiträume ermöglichen, am besten gefördert werden. Bei Kahlschlägen kann sich die Tanne aufgrund des kurzen Verjüngungszeitraums schlecht gegen die Bodenvegetation oder Verjüngung anderer Baumarten durchsetzen. Deshalb sollte in der Aufwuchsphase eine plötzliche Freistellung

vermieden werden, denn die Tanne passt sich an veränderte Lichtverhältnisse nur langsam an (Schwitter & Herrmann, 2000).

Der Wildschaden ist die wichtigste Variable für die Baumhöhe der Tannenverjüngung. Daneben wird die Baumhöhe auch vom Abstand vom nächsten Mutterbaum und der Streuauflage deutlich beeinflusst. Tannenverjüngung im Anwuchs (v.a. zwischen 10 und 15 cm Höhe) konnte v.a. an Standorten ohne Verbiss, nahe von Samenbäumen und mit einer mitteldicken Streuauflage gefunden werden.

8 Schlussfolgerung

Die Verjüngung der Weisstanne (*Abies alba*) wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst: von spezifischen Standortbedingungen, Lichtverhältnissen, waldgeschichtlichen und demographischen Faktoren, fehlenden Samenbäumen, Wilddruck und Lebensraumeinschränkungen. Die entscheidende Rolle spielen nach den Resultaten dieser Arbeit die drei Faktoren Abstand vom Mutterbaum, Dicke der Streuauflage und Wildverbiss. Für den Erfolg der Tannenverjüngung kommt es auf eine günstige Kombination dieser zentralen Faktoren an.

Nach den Erkenntnissen aus dieser Studie ist es für die Tannenverjüngung im Misox und Calancatal bedeutsam, dass in weniger als 30 m Abstand zu einer Tanne mit Samenproduktion genügend Standorte mit einer mitteldicken Streuauflage vorhanden sind. Eine regelmässige Verteilung von Samenbäumen in ca. 60 Meter-Abständen wäre wünschenswert, um die Tannenpopulation im Misox zu erhalten. Die Dicke der Streu beeinflusst v.a. die Anzahl Keimlinge sowie die Anzahl Tannen in der Anwuchsphase. Eine mitteldicke Schicht weist oft eine günstige Kombination von weiteren Einflussfaktoren auf, wohingegen eine sehr dicke Schicht negative Auswirkungen, wie z.B. mechanische Behinderung bei der Keimung oder Wasserstress, haben kann. Der Faktor Trockenheit wurde in dieser Arbeit nur indirekt mit der Streu und der Eastness ausgewertet; eine dicke Streu sowie eine stark westliche Orientierung könnten das Wachsen der Tannenverjüngung wegen der Austrocknung behindern. Wie die Trockenheit die Tannenverjüngung generell beeinflusst, müsste noch untersucht werden.

Wildverbiss beeinflusst das Vorhandensein der Tannenverjüngung und ab einer Höhe von ca. 15 cm auch das Wachstum. Der Wildschaden inkl. Verbiss, Schälen und Frass kann kaum quantifiziert werden, da Keimlinge und Tannen im Anwuchs vom Wild z.T. ganz aufgefressen werden.

Die Anzahl Lichtstunden pro Tag haben keinen direkten, signifikanten Einfluss auf die Tannenverjüngung, können aber indirekte Auswirkungen haben. Die Höhe und der Deckungsgrad der Bodenvegetation werden stark von der Anzahl Lichtstunden beeinflusst. Wenn die Bodenvegetation eine Höhe von 30 cm übersteigt, kann sie die Tannenverjüngung vor intensiver Sonneneinstrahlung schützen sowie dem Wild als alternative Ernährungsmöglichkeit dienen. Zudem konkurriert die Bodenvegetation die Tannenverjüngung in Bezug auf Nährstoffe und Wasser. Es wäre interessant, in einer weiteren Studie detailliertere Zusammenhänge zwischen den Lichtverhältnissen, der Bodenvegetation und dem Wildeinfluss zu analysieren.

Für den Erhalt der Tanne als wichtigen Bestandteil der Waldgesellschaft ist eine kontinuierliche Tannenverjüngung von Bedeutung. Ein heterogenes Baumartenspektrum ist für verschiedene Funktionen des Waldes - wie der Biodiversität oder der Baumkrankheitsprävention - zentral und kommt insbesondere der Funktion des Schutzwalds zugute. Im Misox, wo in den letzten Jahren auffällige Verjüngungsprobleme festgestellt worden sind, gilt es nun, die erhobenen Daten, die in dieser Arbeit im Überblick ausgewertet worden sind, noch spezifischer nach der geographischen Lage zu analysieren, um lokal sinnvolle Massnahmen für das Waldmanagement erarbeiten zu können.

9 Verzeichnisse

9.1 Literaturverzeichnis

- Aas, G. (2004). Die Weißtanne (*Abies alba*) – Dendrologische Anmerkungen. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LFWWissen), 45, 11-18.
- Assmann, E. (1961). Waldertragskunde: organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München: BLV.
- Bebi, P., Conedera, M., Senn, J., & Plozza, L. (2015). Projektskizze: Waldverjüngung im oberen Misox (Gebiet Lostallo-Mesocco) und inneren Calancatal (Arvigo-Rossa).
- Becker, M., & Drapier, J. (1985). The part of allelopathy in the difficulties of white fir regeneration (*Abies alba*): II. In-situ study of natural leachates of needles, litter and humus. *Acta Oecologica-Oecologia Plantarum*, 6(1), 31-40.
- Bertossa, R. (1954). Das Misox: geographische Eigenart, Klima und Bevölkerung des Tales. *Bündner Schulblatt*, 13(4), 167.
- Bucher, H.-U., & Duc, P. (2000). Die Weisstanne ist auf dem Rückzug. Faktenblatt Weisstanne (WSL), 1-4.
- Burkart, A. (2016). Zapfenbehang bei Tanne von 1965 bis 2015. WSL Versuchsgarten. Birmensdorf.
- Caccia, F. D., & Ballare, C. L. (1998). Effects of tree cover, understory vegetation, and litter on regeneration of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in southwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(5), 683-692.
- Clatterbuck, W. K., Stringer, J. W., & Tankersley, L. (2011). Uneven-age Management in Mixed Species, Southern Hardwoods: Is It Feasible and Sustainable? Knoxville, TN: University of Tennessee Extension, Institute of Agriculture.
- Engesser, R., Forster, B., & Odermatt, O. (2000). Nicht alle Weisstannen wachsen in den Himmel. Faktenblatt Weisstanne (WSL), 1-4.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., & BUWAL. (2005). Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald: Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: BUWAL.
- Lewis, R. J. (2000). An introduction to classification and regression tree (CART) analysis. Paper presented at the Annual Meeting of the Society for Academic Emergency Medicine, San Francisco, California.
- MeteoSchweiz. (2014). Klimanormwerte Grono und San Bernardino (1981 - 2010). Retrieved 14.01.2016 from MeteoSchweiz <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klimanormwerte.html>
- Mittag, H.-J. (2014). Statistik: eine Einführung mit interaktiven Elementen (3., überarb. u. erweiterte Aufl. ed.). Berlin: Springer Spektrum.
- Odermatt, O. (1999). Einfluss freilebender Wiederkäuer auf die Verjüngung des Schweizer Waldes. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 150(9), 313-326.
- Ott, E. K. (1997). Gebirgsnadelwälder: ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt.
- Ponge, J. F., Andre, J., Zackrisson, O., Bernier, N., Nilsson, M. C., & Gallet, C. (1998). The forest regeneration puzzle. *Bioscience*, 48(7), 523-530.
- ProNatura. (2007). "Neuer" wilder Wald im Misox. *Mediencommuniqué* (19. Oktober 2007).

- Rüegg, D. (1999). Erhebungen über die Verjüngung in Gebirgswäldern und den Einfluss von freilebenden Paarhufern als Grundlage für die forstliche und jagdliche Planung. (Diss. Techn. Wiss.), ETH Zürich.
- Santi, C. (2012). Misox. Historisches Lexikon der Schweiz (HLS). Retrieved 10.01.2016 from <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D8073.php>
- Schwitter, R., & Herrmann, B. (2000). Die Weisstanne ist das Rückgrat vieler Wald-Ökosysteme. Faktenblatt Weisstanne (WSL), 1-4.
- Stierlin, H.-R., Gordon, R., & Hassler-Schwarz, J. (2000). Aufnahmeanleitung LFI 2. Chur: Amt für Wald Graubünden.
- swisstopo. Maps of Switzerland. Retrieved 27.12.2015 from swisstopo <http://www.map.geo.admin.ch>
- Zoller, H. (1958). Pollenanalytische Untersuchungen im unteren Misox mit den ersten Radiocarbon-Datierung in der Südschweiz. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich, 34, 166.

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Waldgebiet im Valle d'Arbedo unterhalb der Alp Valbella (Misox).....	9
Abbildung 2: Geographische Verteilung der Plots im Misox und Calancatal. Die Kontrollplots sind gelb und die Tannenplots grün markiert. Die Kreise entsprechen nicht der tatsächlichen Plotgrösse. (Hintergrundkarte: © 2015 swisstopo, erstellt mit QGIS).....	10
Abbildung 3: Vergleich der Lichtmessungen mit dem Sonnenkompass (x-Achse) und dem Handyfoto (y-Achse).	13
Abbildung 4: Vergleich der Anzahl Tannenkeimlinge mit dem Plottyp quantitativ anhand der Anzahl Plots (links) und prozentual anhand des Mosaikplots (rechts).....	18
Abbildung 5: Verteilung der Baumhöhen der Tannenverjüngung sowie ihre Dichtefunktion.	19
Abbildung 6: Höhenverteilung der Plots und ihre Dichtefunktion.....	19
Abbildung 7: Verteilung der Eastness für Plots mit und ohne Keimpotential.	20
Abbildung 8: Verteilung der Eastness bei Tannenverjüngung mit einer Baumhöhe ≤ 20 cm und > 20 cm.....	20
Abbildung 9: Verteilung des Abstands zwischen Mutterbaum und Haupttanne für Plots mit und ohne Keimpotential.	21
Abbildung 10: Verteilung des Abstands zwischen Mutterbaum und Haupttanne bei Tannenverjüngung mit einer Baumhöhe ≤ 20 cm und > 20 cm.	21
Abbildung 11: Prozentuale Verteilung des Keimpotentials in den verschiedenen Bestandesentwicklungsstufen.....	22
Abbildung 12: Verteilung der Baumhöhen in den verschiedenen Bestandesentwicklungsstufen Jungwuchs, Stangenholz, schwaches Baumholz, mittleres Baumholz und starkes Baumholz.	22
Abbildung 13: Prozentuale Verteilung der Plots mit und ohne Keimpotential in den verschiedenen Levels des Kronenschlussgrads.....	23
Abbildung 14: Verteilung der Baumhöhe in den verschiedenen Levels des Kronenschlussgrads.	23
Abbildung 15: Verteilung der Anzahl Lichtstunden pro Tag in Plots mit Keimpotential und ohne Keimpotential.....	24
Abbildung 16: Verteilung der Anzahl Lichtstunden für Tannenverjüngung mit einer Baumhöhe ≤ 20 cm und > 20 cm.	24
Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Plots mit und ohne Keimpotential in Bezug auf den Deckungsgrad.	25
Abbildung 18: Verteilung der Baumhöhe in den vier Levels des Deckungsgrads der Bodenvegetation.....	25
Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Plots mit und ohne Keimpotential in Abhängigkeit von der Höhe der Bodenvegetation.....	26
Abbildung 20: Verteilung der Baumhöhen in Abhängigkeit von der Höhe der Bodenvegetation.....	26
Abbildung 21: Vergleich der abhängigen Variablen Bodenvegetation Höhe und Bodenvegetation Deckungsgrad.	27
Abbildung 22: Prozentuale Verteilung des Keimpotentials in den drei Levels keine Streu, 1-3 cm Streu (mitteldicke Streuauflage) und > 3 cm (dicke Streuauflage).....	28
Abbildung 23: Verteilung der Baumhöhen in den drei Levels keine Streu, 1-3 cm Streu (mitteldicke Streuauflage) und > 3 cm Streu (dicke Streuauflage).....	28

Abbildung 24: Verteilung der Baumhöhen bezogen auf die verschiedenen Verbissstufen.	29
Abbildung 25: Dichtefunktionen der Baumhöhen in den verschiedenen Verbissstufen.	29
Abbildung 26: Verteilung der Baumhöhen in den beiden Levels Gipfeltrieb nicht vorhanden (nein) und Gipfeltrieb vorhanden (ja).....	30
Abbildung 27: Entscheidungsbaum mit der Zielvariablen Keimpotential und den abhängigen Variablen Eastness, Abstand vom Mutterbaum, Anzahl Lichtstunden und Streu.	31
Abbildung 28: Entscheidungsbaum mit der Zielvariablen Keimpotential und den abhängigen Variablen Eastness, Anzahl Lichtstunden und Streu.	31
Abbildung 29: Entscheidungsbaum mit der Zielvariablen Baumhöhe und den abhängigen Variablen Eastness, Abstand vom Mutterbaum, Anzahl Lichtstunden und Streu.	32
Abbildung 30: Entscheidungsbaum der Zielvariablen Baumhöhe mit den abhängigen Variablen Wildverbiss, Abstand Mutterbaum, Streu, Anzahl Lichtstunden und Eastness.	32
Abbildung 31: Modellannahmen der Lichtmessungen mit dem Sonnenkompass und dem Handyfoto (Lineare Regression).....	45
Abbildung 32: Modellannahmen Anzahl Lichtstunden pro Tag vs. Keimpotential (glm).	46
Abbildung 33: Modellannahmen Eastness vs. Keimpotential (glm).....	46
Abbildung 34: Modellannahmen Abstand vom Mutterbaum vs. Keimpotential (glm).....	46
Abbildung 35: Modellannahmen der Linearen Regression von Eastness vs. Baumhöhe (logarithmiert).....	47
Abbildung 36: Modellannahmen der Linearen Regression von Abstand vom Mutterbaum vs. Baumhöhe (logarithmiert).....	47
Abbildung 37: Modellannahmen Bestandesentwicklungsstufen vs. Baumhöhe (One-Way Anova).	47
Abbildung 38: Modellannahmen Kronenschlussgrad vs. Baumhöhe (One-Way Anova).	47
Abbildung 39: Modellannahmen der Linearen Regression von Anzahl Lichtstunden pro Tag vs. Baumhöhe (logarithmiert).....	48
Abbildung 40: Modellannahmen Bodenvegetation Deckungsgrad vs. Baumhöhe (One-Way Anova).	48
Abbildung 41: Modellannahmen Bodenvegetation Höhe vs. Baumhöhe (One-Way Anova).....	48
Abbildung 42: Modellannahmen Streu vs. Baumhöhe (One-Way Anova).....	48
Abbildung 43: Modellannahmen Wildverbiss vs. Baumhöhe (One-Way Anova).....	49
Abbildung 44: Modellannahmen Gipfelverbiss vs. Baumhöhe (One-Way Anova).....	49

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definition der Bestandesentwicklungsstufen (Stierlin et al., 2000).	12
Tabelle 2: Definition des Kronenschlussgrads (Stierlin et al., 2000).	13
Tabelle 3: Für die Analyse ausgewählte Zielvariablen.	15
Tabelle 4: Für die Analyse ausgewählte abhängige Variablen.	16
Tabelle 5: Übersicht der p-Werte der univariaten Auswertung mit den verschiedenen statistischen Tests.....	30

10 Anhang

10.1 Feldprotokoll

Das nachfolgende Feldprotokoll wurde bei den Feldaufnahmen im August 2015 im Rahmen des Forschungsprojekts Waldverjüngung im oberen Misox (Gebiet Lostallo-Mesocco) und inneren Calancatal (Arvigo-Rossa) verwendet. Die Daten dieser Feldaufnahmen dienen der vorliegenden Arbeit als Grundlage.

Unterschrift	Plot Nr.	Datum	Foto Dateiname			
Plot-Typ	Tannenplot 1		Kontrollplot 0			
Entfernung vom letzten Plot		Wegstrecke		m		
Tannenkeimlinge auf dem Weg	Keine 0	wenige 1-5/m ² 1	viele 6-10/m ² 2	sehr viele >10/m ² 3		
Verjüngung auf dem Weg (alles außer Tanne)	Keine 0	wenig 1-10% 1	viel 10-50% 2	sehr viel >50% 3		
Konkurrenzvegetation auf dem Weg	Keine 0	wenig 1-33% 1	viel 34-66% 2	sehr viel >66% 3		
Kronenschlussgrad auf dem Weg	Gedrängt 1	Normal 2	Locker 3	Räumig 4	Aufgelöst 5	*Gruppen gedrängt 1/ leer

GPS Koordinaten Zentrum CH1903	Y	X	Höhe
Relief	Hang 1		Ebene 2
Form	(Konvex) 1)Konkav(2
Exposition Nord \triangleq 0° \triangleq 400°		1-400°	
Lichtmessung Juli und Mai		h/Tag	

Boden pH	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Bodenprofil	Flachgründig 1			Tiefgründig 2				Blockig 3			
Streuauflage	Keine 0			vorhanden 1-3cm 1				limitierend >3cm 2			
Humus	Kein 0			schnelle Zersetzung 1-5cm 1				langsame Zersetzung 5-30cm 2			

Totholz Deckungsgrad im Bestand	keines 0-1% 0			wenig 2-10% 1			viel >10% 2		
Bodenvegetation Deckungsgrad	Keine 0		wenig 1-33% 1			viel 34-66% 2		sehr viel >66% 3	
Bodenvegetation Höhe	1-10cm 1		11-30cm 2			31-50cm 3		>50cm 4	
Zeigerarten	Reitgras 0/1	Hainsimse	Heidelbeere	Waldsauerklee	Adlerfarn	Moos			
Baumarten nach Häufigkeit sortiert									
Tannenkeimlinge	Keine 0		wenige 1-5/m ² 1			viele 6-10/m ² 2		sehr viele >10/m ² 3	

Bestand Entwicklungsstufe	Jungwuchs 1	Stangenholz 2	Schwaches Baumholz 3	Mittleres Baumholz 4	Starkes Baumholz 5	*Bestandesgrenze 1/0	
Bestandesgrundfläche							m ² /ha
Kronenschlussgrad	Gedrängt 1	Normal 2	Locker 3	Räumig 4	Aufgelöst 5	*Gruppen Gedrängt 1/leer	
Deckungsgrad insgesamt 100%	Lücken%		Oberschicht %	Mittelschicht %	Unterschicht %		
Deckungsgrad Tanne % In den einzelnen Schichten	Oberschicht		Mittelschicht		Unterschicht		
Abstand zum Mutterbaum Zentrum							m

Zustand Tannenverjüngung	Höhe	Durchmesser Baumfuß	Schutzeffekt durch Nachbarn o. Ä.			Abstand	
Baum 1 erster in Sicht als Zentrum	cm	cm	Kein 0	Gering 1	Deutlich 2	längster Ast cm	
Baum 2	cm	cm	kein	gering	deutlich	zu Baum 1 cm	
Baum 3	cm	cm	kein	gering	deutlich	zu Baum 1 cm	
Baum 4	cm	cm	kein	gering	deutlich	zu Baum 1 cm	
Wildschäden Verbiss, Fegen, Fraß					Gipfeltrieb vorhanden		
Baum 1	Kein 0	Leicht 1	Stark 2	Stark und mehrfach 3		Ja 1	Nein 0
Baum 2	Kein	Leicht	Stark	Stark und mehrfach		ja	nein
Baum 3	Kein	Leicht	Stark	Stark und mehrfach		ja	nein
Baum 4	Kein	Leicht	Stark	Stark und mehrfach		ja	nein
sonstige Schäden Bemerkungen							
Alles gemessen?	Foto	GPS	Exposition	Licht	Boden pH	Winkelzählprobe	

10.2 Modellannahmen

10.2.1 Methode

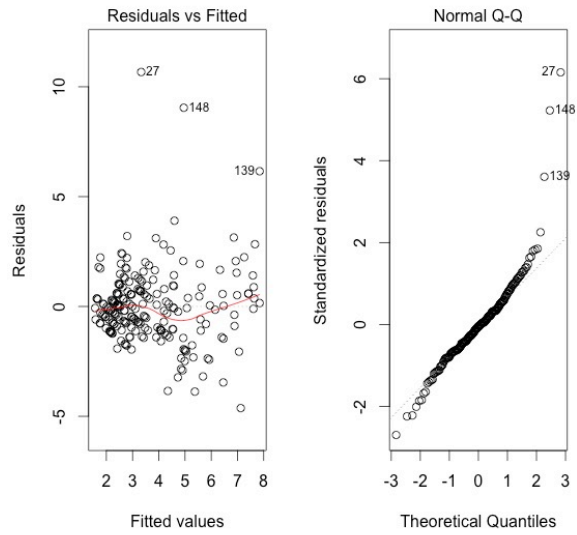


Abbildung 31: Modellannahmen der Lichtmessungen mit dem Sonnenkompass und dem Handyfoto (Lineare Regression).

10.2.2 Keimpotentialanalyse

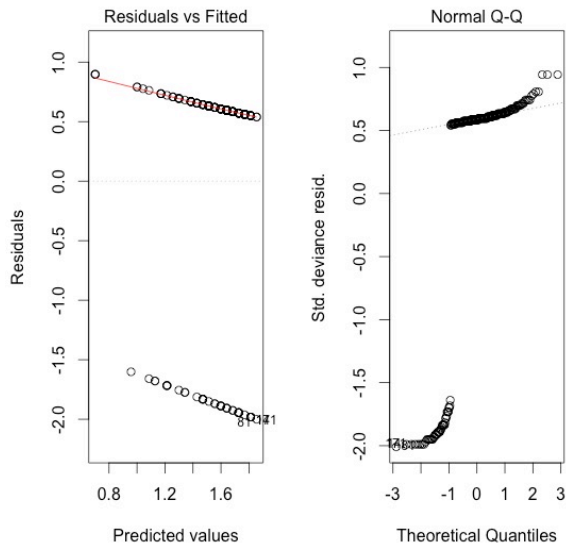


Abbildung 32: Modellannahmen Anzahl Lichtstunden pro Tag vs. Keimpotential (glm).

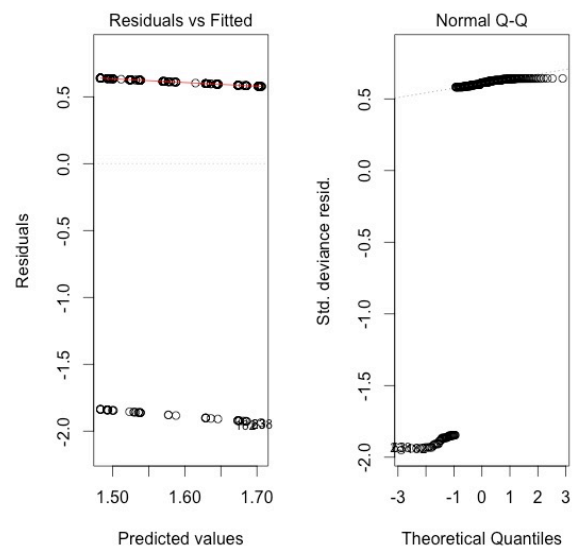


Abbildung 33: Modellannahmen Eastness vs. Keimpotential (glm).

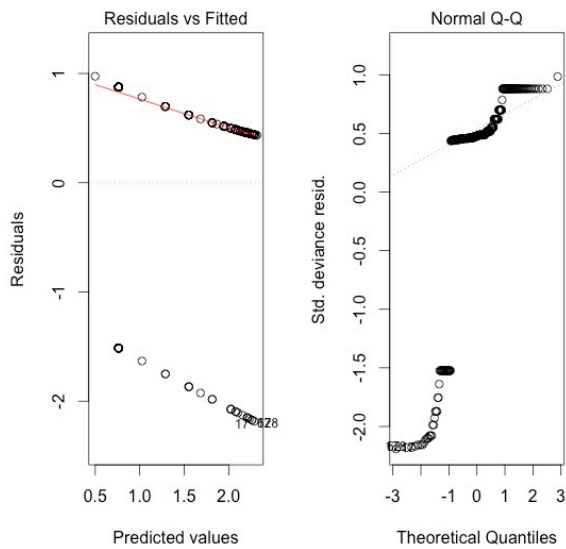


Abbildung 34: Modellannahmen Abstand vom Mutterbaum vs. Keimpotential (glm).

10.2.3 Baumhöhenanalyse

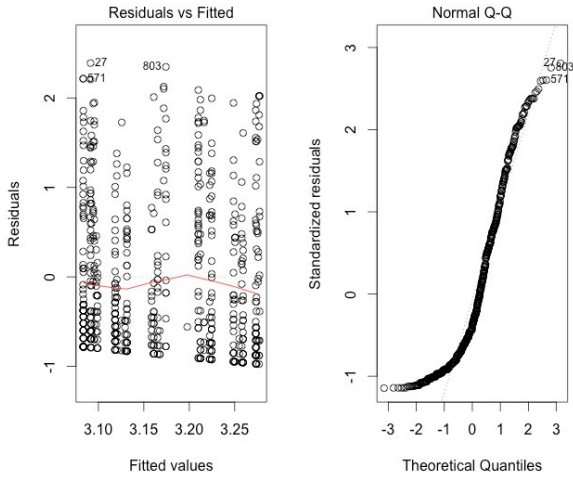


Abbildung 35: Modellannahmen der Linearen Regression von Eastness vs. Baumhöhe (logarithmiert).

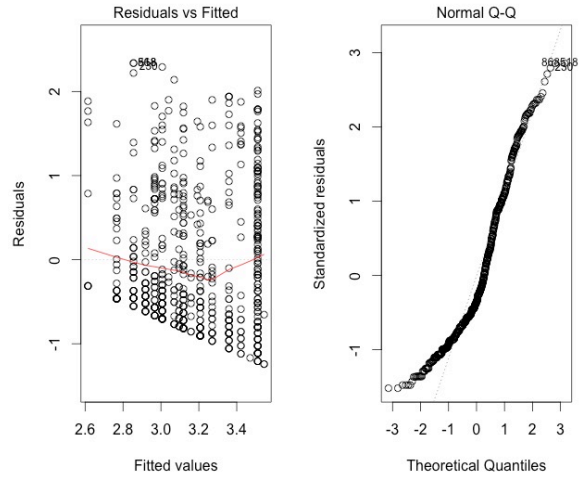


Abbildung 36: Modellannahmen der Linearen Regression von Abstand vom Mutterbaum vs. Baumhöhe (logarithmiert).

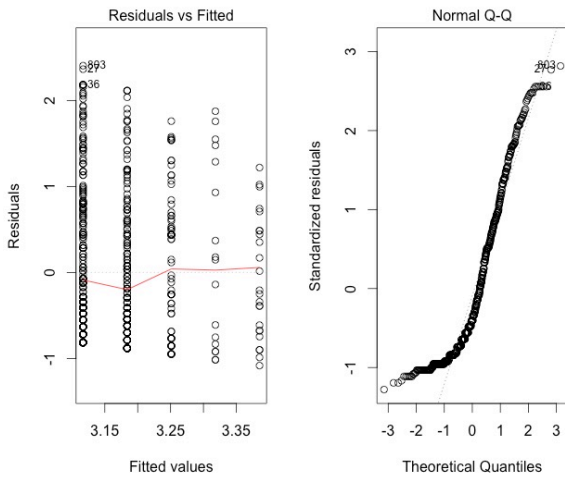


Abbildung 37: Modellannahmen Bestandeseentwicklungsstufen vs. Baumhöhe (One-Way Anova).

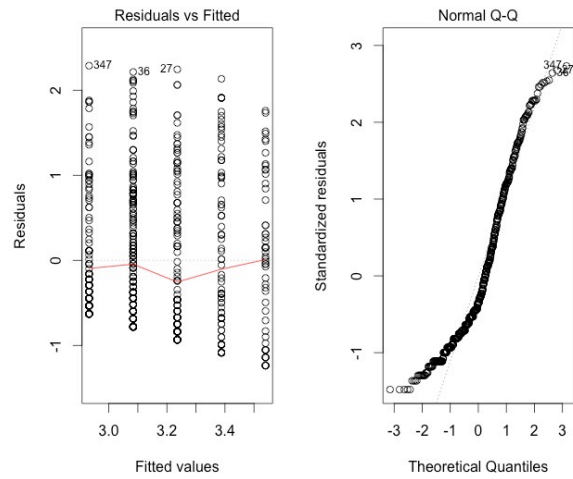


Abbildung 38: Modellannahmen Kronenschlussgrad vs. Baumhöhe (One-Way Anova).

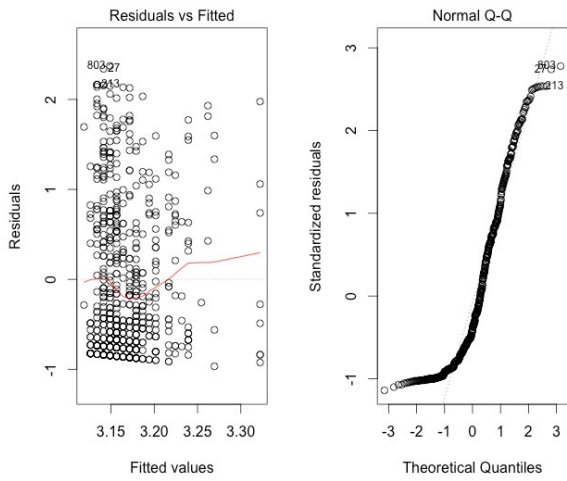


Abbildung 39: Modellannahmen der Linearen Regression von Anzahl Lichtstunden pro Tag vs. Baumhöhe (logarithmiert).

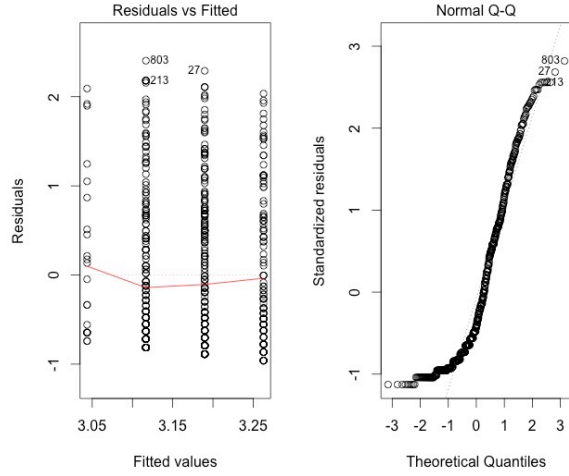


Abbildung 40: Modellannahmen Bodenvegetation Deckungsgrad vs. Baumhöhe (One-Way Anova).

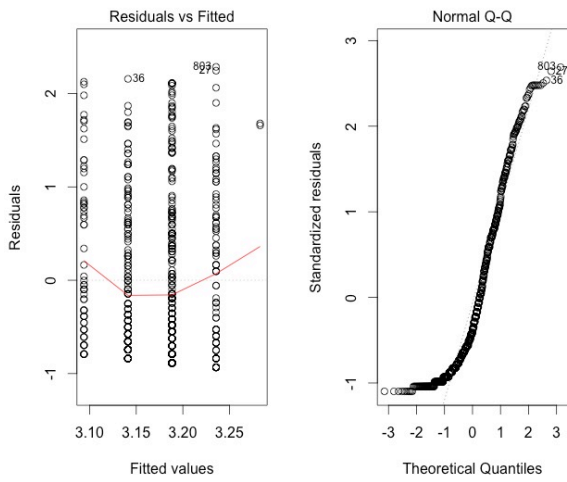


Abbildung 41: Modellannahmen Bodenvegetation Höhe vs. Baumhöhe (One-Way Anova).

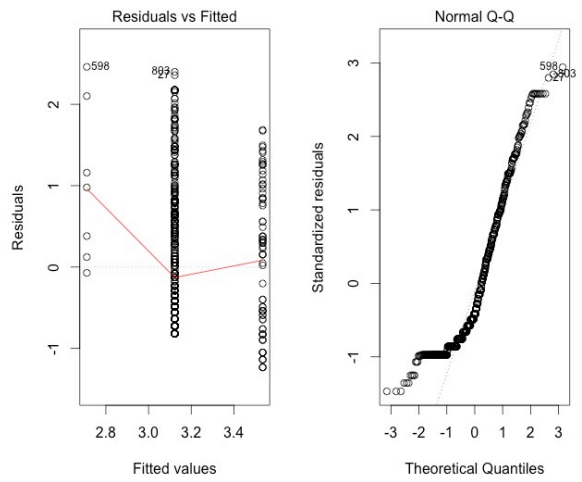


Abbildung 42: Modellannahmen Streu vs. Baumhöhe (One-Way Anova)

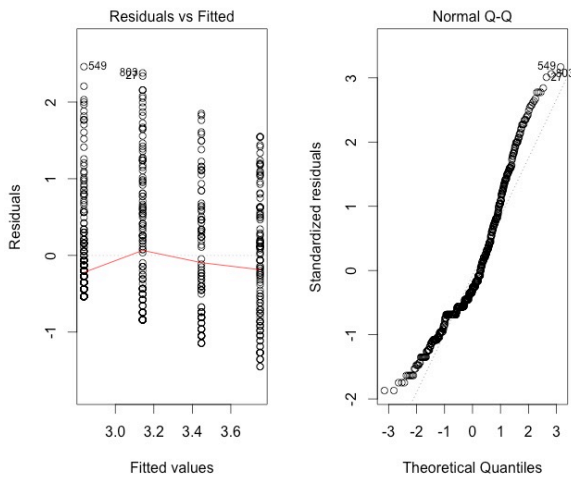


Abbildung 43: Modellannahmen Wildverbiss vs. Baumhöhe (One-Way Anova).

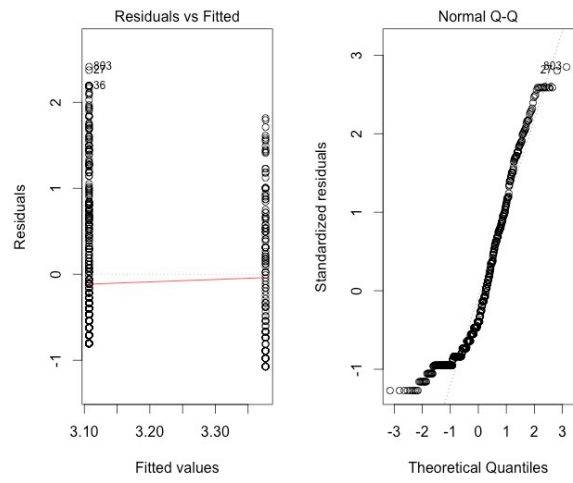


Abbildung 44: Modellannahmen Gipfelverbiss vs. Baumhöhe (One-Way Anova).

10.3 Eigenständigkeitserklärung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Tannenverjüngung (Abies alba) im Miso x
und Calançatal

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Ramstein

Vorname(n):

Laura

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Muttenz, 30. Januar 2016

Unterschrift(en)

Laura Ramstein

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.