



ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN



Tannenverjüngung im Misoxer Schutzwald – ein Wildproblem?

Bachelorarbeit

von

Alena Bareiss

Bachelorstudiengang 2016

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

September 2019

Fachkorrektoren:

Dr. Peter Bebi

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos

Samuel Zürcher

Fachstelle Gebirgswaldpflege, Maienfeld

Impressum

Titelbild

Beispiel einer stark verbissenen Weisstanne im Untersuchungsgebiet Lostallo (Foto: Alena Bareiss, 11.06.2019)

Keywords

Tannenverjüngung, Weisstanne, Verbiss, Misox, Schutzwald, Wildverbiss

Zitiervorschlag

Bareiss, A. (2019). Tannenverjüngung im Misoxer Schutzwald – ein Wildproblem?. *Bachelorarbeit, ZHAW Wädenswil CH*, unveröffentlicht.

Adresse des Instituts

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Life Sciences und Facility Management
Grüental, Postfach
CH-8820 Wädenswil

Zusammenfassung

Die Wälder an den Talflanken des Misox (Kanton Graubünden) fungieren fast gesamthaft als Schutzwald. Um die Schutzfunktionen gegenüber Naturgefahren zu gewährleisten, sind nachhaltige Verjüngung, sowie alters- und artendurchmischte Bestände essenziell. Durch ihre zahlreichen positiven Eigenschaften, wie Standhaftigkeit und Schattentoleranz ist die Weisstanne (*Abies alba*) ein wichtiger Bestandteil von Schutzwäldern.

Bereits vor drei Jahren wurden im Misoxer Schutzwald grosse Probleme in der Tannenverjüngung festgestellt. Diese Arbeit basiert auf ersten Untersuchungen im Jahr 2016 und orientiert sich an der Frage «Wie verändert sich das durch Wildverbiss gestörte Vorkommen an Tannenaufwuchs im Misoxer Schutzwald?». Vor drei Jahren wurden 30 permanente Plots in zwei Untersuchungsgebieten auf beiden Talseiten markiert und der Zustand der Tannenverjüngung und des Verbisses aufgenommen. Im Frühsommer 2019 wurden die Plots im Rahmen der vorliegenden Arbeit wieder aufgesucht, um die Veränderungen und den aktuellen Zustand der Tannenverjüngung zu erfassen. Ein Plot entspricht einer Fläche mit einem Radius von fünf Metern, in welchen verschiedene Standortvariablen dokumentiert wurden.

In den drei Jahren seit der letzten Datenaufnahme hat sich die Zahl an gemessenen Tannen um 12 % verringert. Über die Hälfte der Tannen konnte nicht in die Höhe wachsen, resp. hat an Höhe verloren. Die Zahl der Keimlinge hat sich währenddessen verdreifacht, zurückzuführen auf ein mögliches Mastjahr der Weisstanne, sowie auf vitale Samenbäume in deren Nähe. Die deutliche Zunahme der Verbissstärke geht einher mit der Zunahme an Hirschen im Gebiet Misox. Mittelhohe Bodenvegetation von 11-30 cm Höhe fördert den Verbiss an der Weisstanne ursächlich über den Aufenthaltsort des Wildes. Währenddessen haben die getesteten Parameter wie Streudicke, Licht, Meereshöhe, Örtlichkeit und Kronenschlussgrad keinen statistisch signifikanten Einfluss auf das Tannen- und Keimlingswachstum, sowie den Verbiss.

Die erhobenen Daten und der Verlauf der Entwicklung auf den permanenten Plots weisen sehr stark darauf hin, dass Wachstum und Überleben der jungen Tannen weitgehend durch überhöhte Wildbestände bestimmt werden. Verstärkt wird dieser Einfluss vermutlich mit den trockenen Sommern in den vergangenen Jahren, die die Bäume geschwächt haben.

Für eine an die Lebensform des Waldes angemessene, langfristige Planung ist es wichtig, auf mehrjährige Datenreihen zurückgreifen zu können. Es ist deshalb sinnvoll, die Erhebungen der permanenten Plots in regelmässigen Abständen weiterzuführen. Des Weiteren soll der Wilddruck auf ein tragbares Mass reduziert und dem Wild offene Flächen in Form von Freihalteflächen oder Bejagungsschneisen zur Verfügung gestellt werden.

Abstract

The forests on each side of the Val Mesolcina (Canton Graubünden) function almost entirely as protection forest. In order to ensure their protection functionality against natural hazards, sustainable forest regeneration, as well as age- and species-mixed forests are essential. Due to its several positive properties, like stability and shade tolerance, the silver fir (*Abies alba*) is an important component of protection forests.

Three years ago, enormous problems have been noticed in the fir rejuvenation of Val Mesolcina's protection forests. This thesis is based on research made in 2016 and is orientated at the question "How does the occurrence of fir trees of Val Mesolcina's protection forest, disturbed by ungulate browsing, change?". 30 permanent plots have been installed three years ago in two investigation areas on both sides of the valley, allowing to monitor the progress in fir rejuvenation and browsing. In the early summer of 2019, these mentioned plots were sought out again for this thesis, in order to observe the changes and the current condition of the fir rejuvenation. A plot is an area of a five-meter radius, in which several location variables are being documented.

In the past three years since data has last been collected, the number of measured silver firs has decreased by 12 %. More than half of the firs were not able to grow or have even lost height. In the meantime, the number of seedlings has tripled, which leads back to a possible mast year of the fir, as well as to vital seed trees nearby. The distinctive increase of strong browsing correlates with the slight growth of the deer population in the Val Mesolcina. Medium-high ground vegetation of 11-30 cm promotes browsing of the silver fir causally over the grazing area of the game. Meanwhile, the tested parameters such as litter, sunlight, sea level, locality and canopy cover do not have any significant influence to the growth of firs, seedlings as well as its browsing.

The collected data and the development on the permanent plots strongly indicate, that growth and survival of young firs are vastly influenced by the raised population of game. This influence is most likely being intensified with the the dry summers of recent years that weakened young firs.

For a suitable long-term plan of the forest's life-form, it is important to be able to consider data from multiple years back. Therefore, it is reasonable to continue the collection of data of the established permanent plots in regular intervals. Also, the abundance of ungulates should be reduced to an acceptable level and the game should be offered open spaces for browsing, grazing and to be hunted.

Inhalt

1	Einleitung.....	7
2	Untersuchungsgebiet.....	11
3	Methode.....	13
3.1	Datenaufnahme im Feld.....	13
3.1.1	Parameter.....	13
3.1.2	Verbiss	15
3.2	Datenanalyse.....	15
4	Ergebnisse.....	17
4.1	Ergebnisse der Aufnahmen 2019.....	17
4.1.1	Tannen	17
4.1.2	Keimlinge.....	17
4.1.3	Verbiss	19
4.2	Entwicklung im Zeitraum von 2016 bis 2019.....	22
4.2.1	Tannen	22
4.2.2	Keimlinge.....	26
4.2.3	Verbiss	27
4.3	Übersicht	28
4.4	Vergleich der Tannenverjüngung zwischen den Gebieten Lostallo und Soazza.....	29
5	Diskussion	32
5.1	Diskussion der Ergebnisse.....	32
5.1.1	Zustand der Tannenverjüngung und Einfluss durch Verbiss	33
5.1.2	Standortunterschiede.....	35
5.1.3	Standorteigenschaften.....	36
5.2	Konsequenzen aus den Ergebnissen.....	37
5.2.1	Hinweise auf Einfluss des Wildes im Vergleich zu anderen Faktoren.....	37

5.2.2	Massnahmen	40
5.3	Ausblick	42
6	Schlussfolgerung	44
7	Literatur	46
	Anhang	53

1 Einleitung

In vielen Gebirgsregionen fungieren Wälder als Schutzwälder und vermeiden so teure und aufwändige, technische Schutzmassnahmen. Stabilität, Baumartendurchmischung und kontinuierliche Verjüngung sind für das Einhalten der Schutzfunktion von grösster Wichtigkeit. Die qualitativ und quantitativ immer häufiger mangelhafte Verjüngung der Weisstanne (*Abies alba*; im Folgenden „Tanne“) ist in den vergangenen Jahren immer mehr ins Gespräch gekommen. Wird die Verjüngung einzelner, wichtiger Baumarten durch Wildverbiss verhindert, kann die Erfüllung der Waldfunktionen nicht gewährleistet werden. Schalenwild wie der Rothirsch kann durch Äsen das Wachstum der Pflanzen verändern und so die Waldentwicklung beeinflussen (Kupferschmid & Brang, 2010). Besonders in Gebirgsregionen sind die Probleme deutlich, die Verjüngungsprozesse werden durch limitierende Faktoren zusätzlich erschwert (Rüegg & Schwitter, 2002). Speziell in der Regeneration von Gebirgswäldern ist Wildverbiss ein Problem, was man bereits in den 1970er Jahren festgestellt hat (Mayer, 1973). Gründe dafür sind der fehlende Jungwuchs, sowie das langsame Wachstum der jungen Bäume. In hohen Lagen haben Pflanzen ausserdem mit extremen klimatischen Bedingungen zu kämpfen (Eiberle & Nigg, 1987).

Die Waldgebiete im Misox sind beidseits des Tals als Schutzwälder zum Schutz vor kleinen bis grossen Risiken ausgewiesen ('Graubünden Interaktive Karten', 2012). In vergangenen Jahren wurden jedoch auch in diesen Gebieten immer mehr Probleme in der Verjüngung der Weisstanne beobachtet. Nebst Erhebungen durch das Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden im Misox, wurden, initiiert durch die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und Luca Plozza (Forstingenieur Region Mittelbünden) im Jahr 2015 weitere Untersuchungen zum Wildverbiss im Misoxer Schutzwald durchgeführt: Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden die Einflüsse auf das Keimlingspotenzial und die Tannenverjüngung im Misox und Calancatal untersucht (Ramstein, 2016), worüber ein Schlussbericht im Auftrag des Parc Adula und des Amtes für Wald und Naturgefahren verfasst wurde (Bebi, Conedera, Senn, & Ramstein, 2016). Dazu wurden in zehn Waldgebieten im Calancatal und im Misox 257 Stichproben genommen. In diesen Arbeiten wurde der Mangel an Tannenverjüngung (insbesondere Tannen über 25 cm) ersichtlich. Im Frühsommer 2016 wurden die Aufnahmen weitergeführt und dafür 30 Plots, verteilt auf zwei Gebiete im Misox permanent markiert (Ramstein, Rechsteiner, Conedera, & Bebi, 2016). Die ausschlaggebenden Parameter, die einen Einfluss auf das Tannenwachstum und den Wildverbiss zu haben scheinen, wurden wiederum aufgenommen und ausführlich notiert. Damit eine Serie an Daten und umfassende Informationen zum Wildverbiss und dem Zustand der Tannenverjüngung in diesem Gebiet eruiert werden können, wurden im Juni 2019 die markierten Plots im Rahmen der vorliegenden Arbeit wieder aufgesucht. Während der Begehung wurden die gleichen Parameter erneut protokolliert, basierend auf den Daten von Ramstein et al. (2016) konnten dann Veränderungen und Diskrepanzen

festgestellt werden. Die Arbeit orientiert sich dafür an der Fragestellung: «Wie verändert sich das durch Wildverbiss gestörte Vorkommen an Tannenaufwuchs im Misoixer Schutzwald?»

Die Tanne ist für Schutzwälder ein wichtiger Bestandteil und soll auf Tannenstandorten gemäss Frehner, Wasser & Schwitter (2005) zu Anteilen von 30 – 70 %, je nach Waldtyp, am Gesamtbestand vorhanden sein. Die Weisstanne zeichnet sich unter anderem durch ihre vorteilhaften Standortansprüche aus. Zum Aufwachsen braucht die Baumart nur wenig Licht. Bereits ab 5 % des Tageslichtes können Jungtannen aufwachsen. Ist nicht genügend Licht vorhanden, können Tannen im Schatten das Wachstum einstellen und Jahrzehnte warten, bis der Lichteinfall von oben genügend gross ist. Dies ist für den Schutzwald insofern von Bedeutung, dass die Tannenverjüngung auch in kleinen Lücken entstehen kann, wo es für andere Baumarten zu wenig Licht zur Verfügung hat. (Schwitter & Herrmann, 2000)

Die tiefreichenden Pfahlwurzeln können auch in dichte Böden vordringen, wirken stabilisierend auf den Boden und verhindern Erosion. Dies hebt die Tanne in Anbetracht auf Sturmschäden von anderen Baumarten ab, die mit flachgründigerem Wurzelwerk auskommen müssen. Ausserdem wird durch die Wurzeln das Porensystem des Bodens verbessert, wodurch der Boden bei Starkniederschlägen mehr Wasser aufnehmen und somit starken Abfluss puffern kann. Auf günstigen Standorten kann die Tanne durch ihre Pfahlwurzel Trockenperioden gut überstehen, auch wenn in einem tiefgründigen Boden die oberste Schicht ausgetrocknet ist. (Schwitter & Herrmann, 2000)

Gegenüber Verletzungen durch Steinschlag oder Fäulnis reagiert die Weisstanne im Vergleich zu anderen Baumarten relativ robust. Borkenkäfer wie der Grosse Buchdrucker (*Ips typographus*) befallen fast ausschliesslich Fichten, andere Käferarten können jedoch auch Tannen beschädigen. Das Risiko von grossflächigen Käferkalamitäten mit negativen Auswirkungen auf die Schutzwirkung wird stark reduziert, wenn es nebst der Fichte auch andere Schutzwaldbaumarten im Bestand hat (Schwitter & Herrmann, 2000).

Einige Eigenschaften der Tanne können ihr jedoch auch zum Verhängnis werden: Durch den hohen Nährstoffgehalt und die gute Verdaulichkeit werden die jungen Triebe der Weisstanne gegenüber anderen Baumarten vom Schalenwild (Reh, Hirsch, Gämse) bevorzugt (Muck et al., 2008). Die Nahrungsbedürfnisse des Schalenwildes können rein durch Waldvegetation jedoch nicht gedeckt werden, so ist das Wild ebenfalls auf das Vorhandensein von Gräsern und Kräutern angewiesen. Sind offene Flächen mit reichem Nahrungsangebot zu spärlich vorhanden, kommt es zur Übernutzung der Waldvegetation durch das Wild (Meile, Boschi, & Sommerhalder, 2001).

Besonders Gipfelverbiss setzt der Tanne zu, da durch dessen Verbiss das Höhenwachstum eingestellt oder unterbrochen ist und die Tanne so nicht an fürs Überleben wichtige Höhe gewinnen kann

(Schwitter & Herrmann, 2000). Dies hat Auswirkungen darauf, ob sich die Tanne in gemischten Beständen ausreichend verjüngen kann (Frank & Büchsenmeister, 2016). Für erfolgreiche Tannenverjüngung ist zudem leichte Beschattung ideal (Kupferschmid, Wasem, & Bugmann, 2014).

Der Winter-, respektive Frühjahrsverbiss kann für die Pflanzen schwerwiegendere Folgen haben als der Sommerverbiss. Der Verbiss in der ersten Jahreshälfte ist insofern problematisch, dass noch nicht ausreichend andere Vegetation vorhanden ist. Im Sommer hingegen verteilt sich das Wild im grossräumigeren Gebiet und es stehen mehr Nahrungsquellen zur Verfügung, womit der Verbissdruck sinkt (Luca Plozza, mündliche Mitteilung). Noch stärker leiden können Bäume unter dem Verbiss im Spätsommer. Dann sind die Seitentriebe nicht mehr in der Lage, das Höhenwachstum zu übernehmen, zusätzlich sind die Kohlenhydratreserven für den Winter noch nicht vollständig in den Wurzeln angelegt (Canham, McAninch, & Wood, 1993).

Verbiss in einem natürlichen und ausgewogenen Ausmass kann für den Wald nützlich sein (Luca Plozza, mündliche Mitteilung). Es ist sogar bekannt, dass starker Verbiss die Verjüngung der verbissbeliebten Arten fördern kann (Reimoser, 2000b): Wird beispielsweise die Weisstanne in der Verjüngungs- und Keimlingsstufe stark verbissen, findet das Wild an diesen Standorten zu wenig Nahrung und hält sich daher vorwiegend in anderen Flächen auf. Durch den verminderten Verbissdruck können die Keimlinge wieder vermehrt wachsen.

Es ist erwiesen, dass sich Wildverbiss auf die Genetik, sowie auf die Anzahl, die Grösse und Qualität der Blätter und Zweige auswirken kann (Danell, Bergström, Edenius, & Ericsson, 2002). Veränderungen in der Wuchsform sind dabei kurzfristiger und dynamischer als Veränderungen der Baumgenetik. Man hat jedoch auch herausgefunden, dass Veränderungen in der Wuchsform und -Intensität abhängig sind von der Intensität und der Zeitwahl des Frasses durch Herbivoren (Danell et al., 2002). Millard, Hester, Wendler, & Baillie (2001) haben Unterschiede in der Reaktion auf Frass zwischen Immergrünen und Laubbaumarten festgestellt. Nadelgehölze lagern Stickstoff in den Nadeln ein, durch das Abfressen dieser steht danach nur wenig Stickstoff für die Erneuerung zur Verfügung.

In den ersten Untersuchungen im Jahr 2015 und 2016 wurden bereits massive Probleme in der Tannenverjüngung festgestellt. Vor allem Tannen über 25 cm Höhe waren sehr spärlich vorhanden und es wurde ein negativer Einfluss durch Verbiss auf die Tannenverjüngung festgestellt. Tannenverjüngung wurde vorwiegend an Standorten ohne Verbiss gefunden. (Ramstein, 2016)

Um die Entwicklung der Tannenverjüngung im Gebiet Misox weiter zu verfolgen, wurden 30 permanente Plots eingerichtet, welche im Rahmen der vorliegenden Arbeit nochmal aufgesucht wurden. Dabei sollen Veränderungen im Tannenaufwuchs und Wildverbiss an Tannen in den Schutzwäldern des Misox aufgezeigt und untersucht werden. Die Daten dienen als Grundlage für eine längerfristige Datenreihe, um die Entwicklung der Tannenverjüngung aufzuzeigen. Es soll untersucht werden, was

den Verbiss an jungen Tannen im Gebiet Misox fördert, unter welchen Umständen sich der Tannenaufwuchs etablieren kann oder nicht. Daraus abgeleitet werden können Pflege- oder Managementmassnahmen für die Zukunft.

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 1 und Abb. 2; vollständige Karten im Anhang 2) setzt sich zusammen aus zwei Standorten in der Region Misox, im italienischsprachigen Teil Graubündens. Die Gebiete befinden sich oberhalb Soazza, sowie oberhalb der Gemeinde Lostallo. Die Plots in Lostallo decken eine Fläche von ca. 14 Hektaren ab, in Soazza beträgt die Fläche ca. 4 Hektaren. Die Plots in Lostallo sind nach Westen ausgerichtet (durchschnittliche Exposition 253), jene in Soazza nord-östlich (durchschnittliche Exposition 67).

Die Plots 301 – 314 befinden sich in Lostallo rund um die Alp de Scimetta, auf durchschnittlich 1375 m ü. M. Damit liegen die Plots in Lostallo durchschnittlich 300 m höher als jene in Soazza (1077 m ü. M.). Die durchschnittliche Anzahl Lichtstunden im Mai und Juli auf den Plots liegt bei 3 Stunden pro Tag. Beide Standorte sind relativ schneearm und apert im Frühjahr rasch aus (Luca Plozza, mündliche Mitteilung).

Beide Gebiete sind als Nadel(-misch)Wald ausgeschieden ('Swiss Geoportal', 2015). Der Untergrund ist kristallines Gestein, die Gründigkeit ist «sehr flach». Die Wasserdurchlässigkeit ist in beiden Gebieten «übermässig», was die Ansprüche der Weisstanne gemäss Zeigerwerten nach Landolt auf mässig wechselnde, sehr feuchte Böden nicht deckt (Info Flora, 2019). Das Wasserspeichervermögen ist «sehr» bis «extrem gering» ('Swiss Geoportal', 2012). Die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen ist in beiden Gebieten jedoch im unproblematischen Bereich ('Swiss Geoportal', 2019).

Im Kanton Graubünden wird mit Abschussvorschriften für die Regulierung des Wildbestandes gesorgt. Nordwestlich von Mesocco, im Gebiet Trescolmen ist eine Fläche von knapp 2400 ha als eidgenössisches Jagdbanngebiet ausgeschieden ('Graubünden Interaktive Karten', 2016).

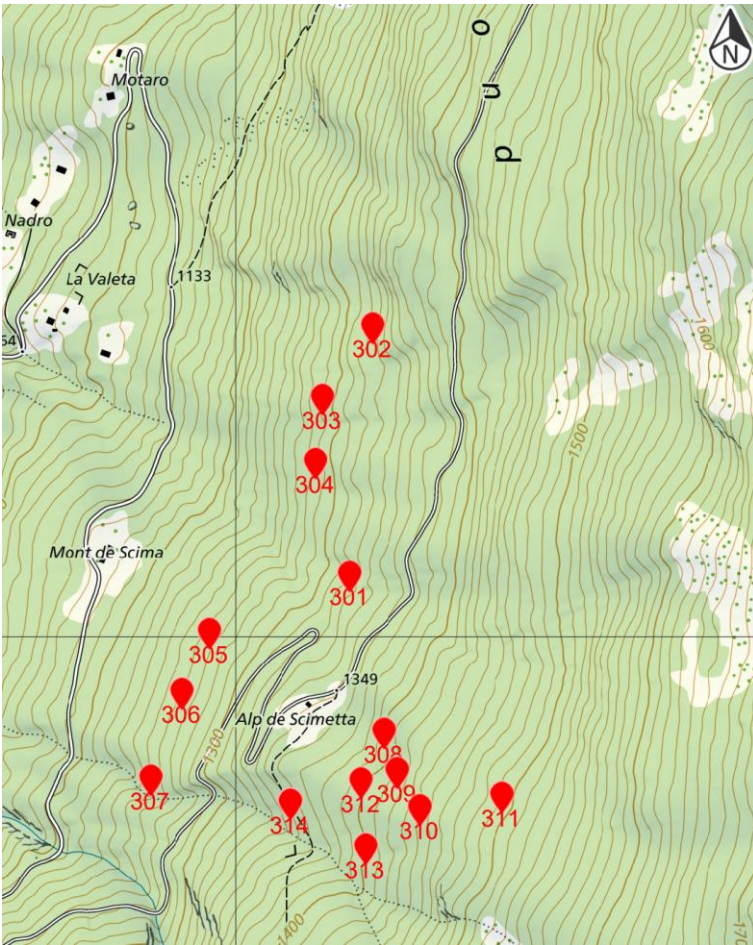


Abb. 1: Plots im Untersuchungsgebiet Lostalio. Kartenquelle: map.geo.admin.ch, verändert

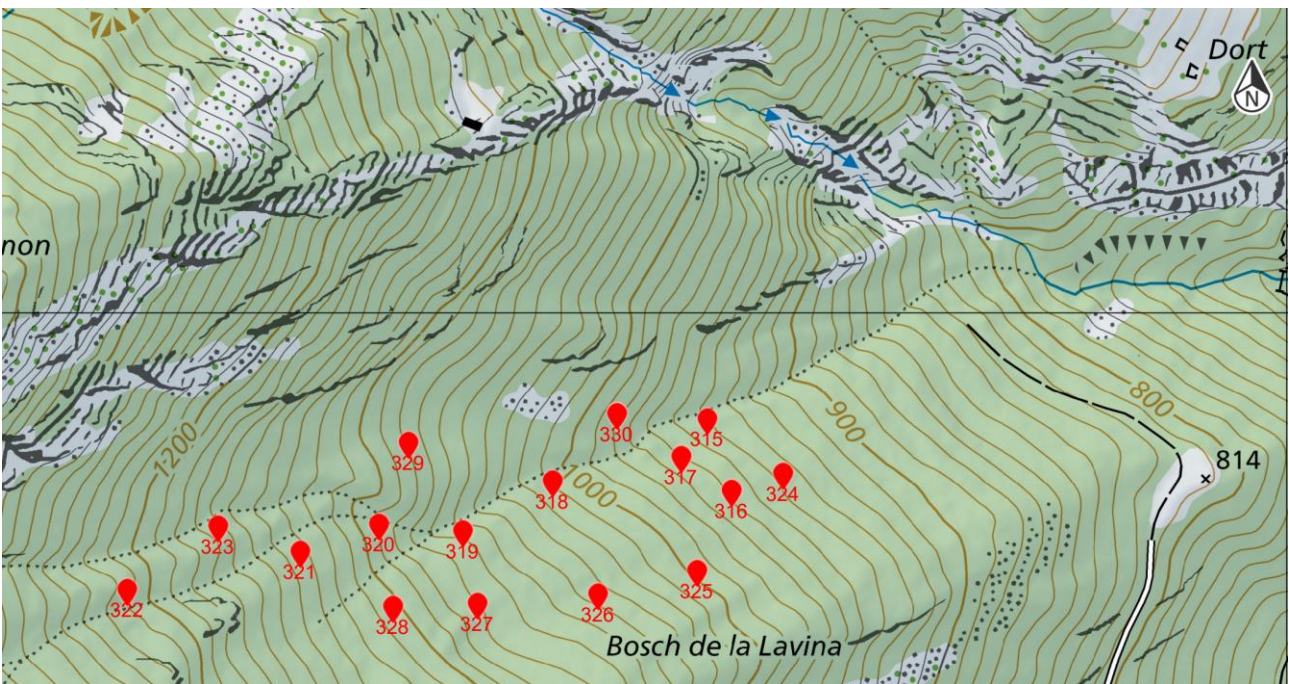


Abb. 2: Plots im Untersuchungsgebiet Soazza. Kartenquelle: map.geo.admin.ch, verändert

3 Methode

3.1 Datenaufnahme im Feld

Die Datenaufnahme im Feld erfolgte im Zeitraum zwischen dem 10. und dem 14. Juni 2019. Um den Winterverbiss zu beurteilen, wurden die Feldaufnahmen nach der Schneeschmelze durchgeführt. Beim Monitoring wird der Zustand der Tannenverjüngung erhoben und die Standortvariablen wie Meereshöhe, Koordinatenpunkte und GPS-Genauigkeit auf den permanenten Plots dokumentiert (gemäss Feldprotokoll, Anhang 1).

Die Plots befinden sich oberhalb Soazza und Lostallo zwischen gut 900 und 1550 m ü. M. Die 30 im Jahr 2016 markierten Plots wurden mittels GPS wieder aufgesucht. Die Plots weisen einen Radius von 5 m auf, eine Tanne in der Verjüngungsphase (0.1-2 m) macht jeweils das Zentrum des Plots aus und ist mit einem Metallpfosten markiert. Dieser wurde zur besseren späteren Auffindbarkeit orange besprayt.

Die aufgenommenen Daten werden im Feldprotokoll festgehalten. Der Einfachheit halber wurde das Feldprotokoll gegenüber 2016 leicht abgeändert, statische Daten wurden somit nicht noch einmal aufgenommen.

3.1.1 Parameter

Im Feldprotokoll werden Variablen aufgenommen, die einen potenziellen Einfluss auf die Tannenverjüngung haben können. Das vollständige Feldprotokoll ist dem Anhang 1 zu entnehmen. Die wichtigsten Variablen, welche in dieser Untersuchung Beachtung bekommen, sind in Tab. 1 ersichtlich.

Tab. 1: Wichtigste aufgenommene Parameter, die sich potenziell auf die Tannenverjüngung auswirken, sowie deren Klassifizierung/Kategorisierung. Statische Parameter wie Exposition und Streudicke wurden nicht erneut erhoben.

Tannenkeimlinge	Die Anzahl Tannenkeimlinge (1-10 cm) im gesamten Plot mit Radius 5 Meter werden gezählt. Zur besseren Übersicht wird die Anzahl pro Viertelkreis ausgezählt und anschliessend addiert.	
Deckungsgrad der Bodenvegetation	Geschätzter Deckungsgrad der Bodenvegetation innerhalb des Plots. Es werden alle Farne,	Klassen: 0: Kein 1: 1-33 %

	Gräser, Kräuter, (Hoch-)Stauden, Zwergsträucher, Alpenrosen, Wacholder und Moose, sowie auch trockene Pflanzenteile berücksichtigt.	2: 34-66 % 3: > 66 %
Höhe der Bodenvegetation	Geschätzte Höhe der dominierenden Bodenvegetation.	Klassen: 1: 1-10 cm 2: 11-30 cm 3: 31-50 cm 4: > 50 cm
Kronenschlussgrad	Der Kronenschlussgrad ist das Mass für die gegenseitige Bedrängung der Baumkronen eines Bestandes (20 m Radius um das Plotzentrum). Die Einteilung erfolgt gemäss Schweizerischem Landesforstinventar, Stierlin et al., 2000.	Klassen: 1: Gedrängt 2: Normal 3: Locker 4: Räumig 5: Aufgelöst 6: Gruppen gedrängt
Baumhöhe	Höhe der Tannenverjüngung, es werden Weisstannen in der Höhe von 0.1-2 m mit einem Doppelmeter gemessen. Gemessen wird senkrecht von der Bodenoberfläche bis zum unteren Rand der letzten Knospe des höchsten Triebes.	
Baumdurchmesser	Der Durchmesser wird am Baumfuss, möglichst nahe über der Bodenoberfläche mit der Schieblehre gemessen. Wenn möglich wird zusätzlich der Bruthöhendurchmesser auf 1.30 m Höhe gemessen.	
Gipfelverbiss	Verbissbelastung nach Eiberle (Eiberle & Nigg, 1987). Es wird festgestellt, ob der Leittrieb verbissen worden ist oder nicht.	Klassen: 0: nicht verbissen 1: verbissen
Verbissstärke	Die vom Wild verursachten Schäden an Zweigen durch Abäsen der Knospen oder jungen Triebe. Die Klassifizierung orientiert sich an der Einteilung nach Kupferschmid (Kupferschmid et	Klassen: 1: unverbissen, kein Verbiss 2: schwach, nur die Endknospe verbissen

	al., 2014). Wurde eine Tanne nur an Seitentrieben und nicht an der Endknospe verbissen wird sie der Klasse 3 zugeteilt.	3: mittel, Teil des letzten Höhenzuwachses verbissen 4: stark, grosse Teile des Höhenzuwachses oder End- und Seitentriebe alle stark abgeäst
Verbisschäden an anderen Baumarten im Plot	Beobachtete Schäden an anderen Baumarten. Baumart und Kategorie nach Kupferschmid wird notiert.	

3.1.2 Verbiss

Um die Verbissbelastung zu bestimmen, werden zwei verschiedene Methoden angewandt: Zum einen die Verbissintensität nach Eiberle und Nigg, zum anderen die Verbissstärke nach Kupferschmid.

Die Verbissintensität beschreibt den Anteil verbissener Endtriebe in Prozent der Gesamtpflanzenzahl. Im Unterschied zur Methode Eiberle & Nigg (1987) werden in der vorliegenden Arbeit Bäume von 0.1-2.0 m Höhe (nicht 0.1-1.30 m) analysiert. Als Gesamtpflanzenzahl wird die Anzahl Tannen im betreffenden Plot verwendet. Es wurde nur der Winterverbiss des vergangenen Jahres aufgenommen.

Zusätzlich wurde die Verbissstärke nach Kupferschmid (Kupferschmid, Wasem, & Bugmann, 2014) beurteilt. Diese gibt an, ob nur die Endknospe, ein Teil des letzten Höhenzuwachses, grosse Teile des Höhenzuwachses oder End-/Seitentriebe alle stark abgeäst sind. Abstufungen dazu sind «1: unverbissen», «2: schwach», «3: mittel», «4: stark».

3.2 Datenanalyse

Für die Datenanalyse wurden voraussichtlich wichtige Einflussgrössen auf die Tannenverjüngung und den Verbiss gegenübergestellt und allfällige Unterschiede oder Tendenzen eruiert. Die Resultate wurden mit R Studio grafisch dargestellt und statistisch auf die Signifikanz überprüft. Dafür wurden aufgrund nicht normalverteilter Daten parameterfreie Tests eingesetzt.

Als Variablen wurden jene Parameter gewählt, die am meisten Aussagekraft zur Beantwortung, respektive Widerlegung der Fragestellung haben und am meisten Einfluss auf Keimlings- und Baumwachstum, sowie auf Verbiss der Tannen haben.

Für die graphische Darstellung und deskriptive Beurteilung wurden Boxplots (1 kategorielle, 1 kontinuierliche Variabel), oder Mosaikplots (2 kategorielle Variablen) verwendet. Zur Darstellung von Verhältnissen wurden Barplots verwendet.

Nach der graphischen Darstellung wurden die Daten statistisch getestet. Es wird davon ausgegangen, dass die Plots und die zwei Untersuchungsstandorte unabhängig voneinander sind. Es besteht jedoch eine Abhängigkeit zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten in den Jahren 2016 und 2019.

Die Signifikanz der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen wurde mittels univariater Auswertungen getestet. Als Signifikanzniveau wurde 5 % angenommen. Abhängig von der zu untersuchenden Variable und der Anzahl Stichproben wurden unterschiedliche statistische Tests eingesetzt, um den p-Wert zu bestimmen. Für kategorielle Variablen wurde jeweils ein Wilcoxon-Test durchgeführt, bei ordinalen Daten der Chi-square-Unabhängigkeitstest, und bei metrischen Daten der Kruskal-Wallis-Test mit anschliessendem Post-hoc-Test. Für Korrelationen wurde jeweils der Spearman'sche Rangkorrelationstest durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Aufnahmen 2019

Das folgende Kapitel enthält die relevanten Ergebnisse aus den Erhebungen im Jahr 2019 und zeigt den aktuellen Zustand der Tannen im Verjüngungsstadium (10 cm - 2 m, nachfolgend und in der gesamten Arbeit als «Tannen» bezeichnet), der Tannenkeimlinge (< 10 cm) und des Verbisses.

4.1.1 Tannen

In Lostallo wurden total 77, in Soazza 59 Tannen gezählt. Dies ergibt einen Mittelwert von 5.9 Tannen pro Plot in Lostallo und 3.9 Tannen pro Plot in Soazza. Zwischen den beiden Standorten Lostallo und Soazza gab es keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der Tannen (Chi-square, $p = 0.5223$, Abb. 3). Der Median beider Standorte liegt bei 3. Die Streuung (25 % - und 75 %-Quantil) ist in Lostallo relativ gross, was darauf hindeutet, dass es auch Plots mit vielen Tannen gab.

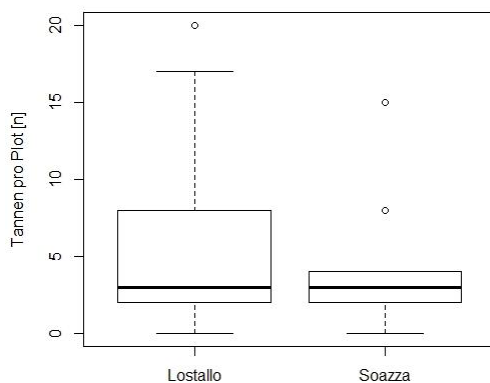


Abb. 3: Anzahl gemessener Tannen im Plot mit Radius 5 Meter, je nach Untersuchungsgebiet. Die Anzahl unterscheidet sich nicht signifikant nach Standort ($p = 0.5223$), der Median liegt jeweils bei 3.

Plots, auf welchen überdurchschnittlich viele Tannen (> 6) verzeichnet wurden, lagen häufig in Schneisen, waren zum Teil sehr licht oder es wurde rundherum frisch geholt.

Die Parameter Streudicke, Anzahl Sonnenstunden, Kronenschlussgrad, Deckungsgrad, Meereshöhe und Bodenvegetation hatten im Rahmen der vorliegenden Arbeit keinen Einfluss auf das Vorkommen von Tannen. Die Resultate sind der Tab. 2 zu entnehmen.

4.1.2 Keimlinge

In Lostallo wurden mit 825 deutlich mehr Keimlinge gezählt als in Soazza mit 70. Der Mittelwert liegt bei 63.5 in Lostallo, bei 4.7 Keimlingen pro Plot in Soazza. Die Mediane sind bei 29 in Lostallo, bei 1 in Soazza. Statistisch unterscheiden sich die Keimlingszahlen signifikant, je nach Wuchsort (Wilcoxon, $p = 7.711e-05$; Abb. 4).

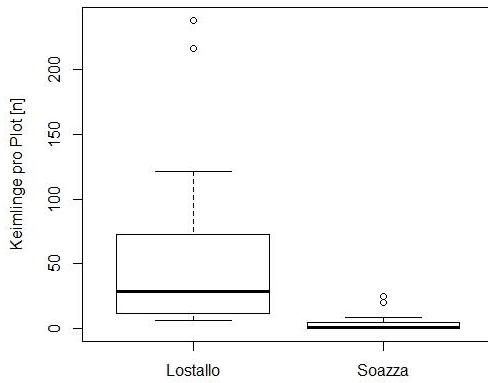


Abb. 4: Anzahl gemessener Keimlinge je nach Untersuchungsgebiet. Mit durchschnittlich 63.5 Keimlingen pro Plot überstieg die Zahl der Keimlinge in Lostallo jene in Soazza (4.7) deutlich.

An Standorten, die nicht mit Streu bedeckt waren, wuchs die grösste Anzahl an Tannenkeimlingen (113; Abb. 5). Über die Hälfte der Plots war mit 1-3 cm dicker Streu bedeckt, mit Median = 3 wuchsen Keimlinge darauf jedoch am wenigsten. Mit einem Median von 15 Keimlingen hat die Streudicke von > 3 cm eher zum Wachstum beigetragen. Die Streudicke hatte jedoch statistisch keinen signifikanten Einfluss auf das Keimlingswachstum (Wilcoxon, $p=0.24$).

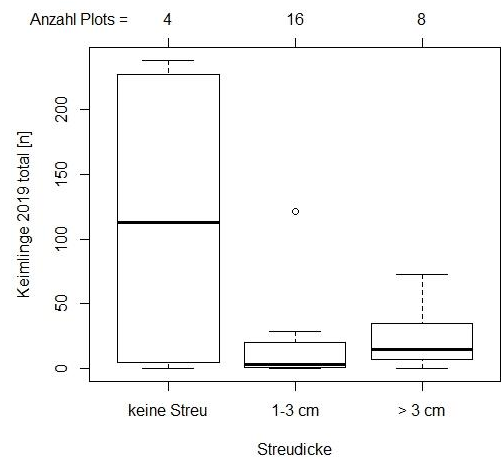


Abb. 5: Anzahl Keimlinge auf Plots mit unterschiedlichen Streudicken. Auf Plots ohne Streu sind am meisten Keimlinge gewachsen.

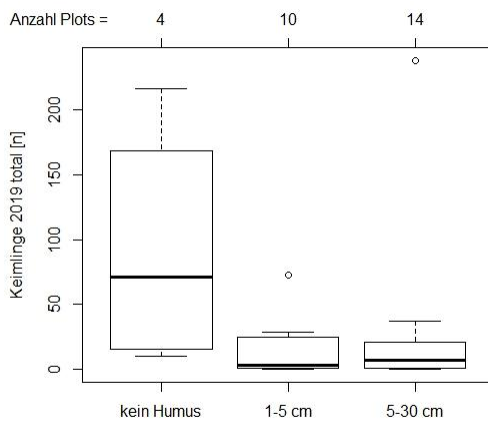


Abb. 6: Keimlingswachstum auf Plots mit unterschiedlich dicker Humusschicht. Die grösste Zahl an Keimlingen wuchs auf Plots ohne Humus.

Auf Plots ohne Humus waren deutlich mehr Keimlinge (Median = 73) vorhanden, als wenn eine Humusschicht bestand (Abb. 6). Am wenigsten Keimlinge wuchsen auf Plots mit einer Humusdicke von 1-5 cm (5.5 Keimlinge pro Plot). Bei einer 5-30 cm starken Humusschicht wuchsen durchschnittlich 9 Keimlinge auf dem Plot. Die Humusdicke hatte statistisch keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl vorhandener Keimlinge. Die Streuung auf Plots ohne Humus war relativ gross.

Die Parameter Bodenvegetation (Höhe und Deckungsgrad), Kronenschlussgrad, Streu, Licht, Standort und Meereshöhe hatten auf die Anzahl Keimlinge keinen signifikanten Einfluss (Resultate siehe Tab. 2).

4.1.3 Verbiss

Verschiedene Parameter hatten Auswirkungen darauf, ob Weisstannen verbissen wurden oder nicht. Zur besseren Übersicht wurden die wichtigsten Parameter nachfolgend einzeln untersucht.

Bodenvegetation – (Gipfel)Verbiss

Nach Kupferschmid (2014)

Die meisten Tannen standen auf Plots mit Bodenvegetations-Höhe 1-10 cm (Kategorie 1; Abb. 7). An diesen Tannen wurden alle Verbissstärken festgestellt, in ungefähr gleicher Anzahl (1: 26; 2: 22; 3: 21; 4: 19). Die Bodenvegetations-Höhe 11-30 cm (Kategorie 2) kam deutlich weniger häufig vor. Auch an diesen Tannen wurden alle Verbissstärken festgestellt, am häufigsten wurden die Tannen in diesen Plots jedoch der Verbissklasse 4 (am stärksten verbissen) zugeteilt (18). Die Anzahl verbissener Tannen nahm in dieser Bodenvegetations-Höhe pro Verbissklasse mit 7, 4 und 3 Tannen ab.

Am wenigsten Plots gab es mit Bodenvegetations-Höhe 31-50 cm (Kategorie 3). Die Tannen auf diesen Plots wurden alle verbissen, am häufigsten trat Verbissklasse 2 (nur Endknospe verbissen) auf. Auf zwei Plots war keinerlei Bodenvegetation vorhanden (dichter Fichtenbestand), ein Grossteil der sich darauf befindlichen Tannen war jedoch am Gipfeltrieb verbissen.

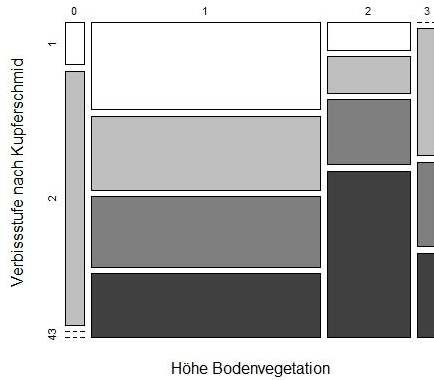
Der Kruskal-Wallis-Test ergab einen signifikanten Einfluss der Bodenvegetations-Höhe auf den Verbiss der Tannen ($p = 0.00056$, Abb. 7). Die Auswirkungen des Deckungsgrades der Bodenvegetation auf die Verbissstärke waren ebenfalls signifikant (Kruskal-Wallis-Test, $p = 0.0139$; Abb. 9).

Nach Eiberle und Nigg (1987)

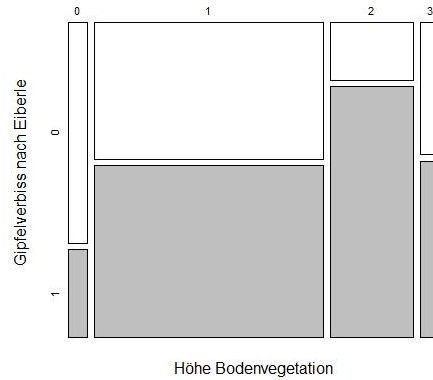
Anhand der Methode Eiberle wurde nur der Gipfelverbiss des vergangenen Winters beurteilt. In den Kategorien 1, 2 und 3 der Bodenvegetations-Höhen übersteigen die Anzahl am Gipfel verbissenen Tannen die unverbissenen (Abb. 8). Am stärksten war der Unterschied bei Bodenvegetations-Höhe 11-30 cm (Kategorie 2): 6 Tannen unverbissen, 26 verbissen. In der Bodenvegetations-Höhe 1-10 cm waren Anzahl am Gipfel verbissene und Anzahl unverbissene ausgeglichener: 39 Tannen unverbissen, 49 verbissen. In Bodenvegetations-Höhe 1-10, sowie 31-50 cm war das Verhältnis verbissen/unverbissen etwa ähnlich, bei Höhe 11-30 cm überstieg der Anteil verbissene den Anteil

unverbissene deutlich. Damit hatte die Höhe der Bodenvegetation signifikanten Einfluss darauf, ob eine Tanne am Gipfel verbissen wurde oder nicht (Chi-square, $p = 0.018$).

Mit einem durchschnittlichen p-Wert von 0.16 hatte der Deckungsgrad der Bodenvegetation keinen signifikanten Einfluss auf den Gipfelverbiss (Abb. 10).



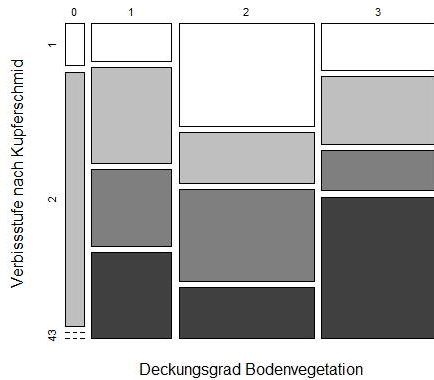
Höhe Bodenvegetation



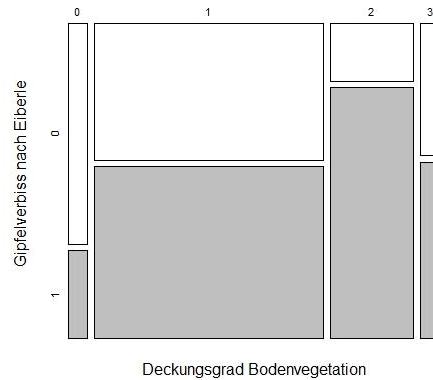
Höhe Bodenvegetation

Abb. 7: Einfluss der Bodenvegetations-Höhe auf die Verbissstufe nach Kupferschmid. Bodenvegetation mittlerer Höhe (2) führte am meisten zu starkem Verbiss. (Höhe Bodenvegetation: 0: keine Vegetation; 1: 1-10 cm; 2: 11-30 cm; 3: 31-50 cm; 4: > 50 cm. Verbissklasse: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)

Abb. 8: Der Einfluss der Bodenvegetations-Höhe auf den Gipfelverbiss zeigte ein ähnliches Muster wie auf die Verbissklasse nach Kupferschmid. Vegetation der Höhe 11-30 cm fördert den Verbiss. (Bodenvegetation: 1: 1-10 cm; 2: 11-30 cm; 3: 31-50 cm; 4: > 50 cm. Gipfelverbiss: 0: nicht verbissen; 1: verbissen)



Deckungsgrad Bodenvegetation



Deckungsgrad Bodenvegetation

Abb. 9: Welcher Flächenanteil eines Plots mit Vegetation bedeckt ist, hatte signifikante Auswirkungen auf den Verbiss. Deckungsgrad 2 vermochte Verbiss am stärksten zu verhindern. (Deckungsgrade: 0: keine; 1: 1-33 %; 2: 34-66 %; 3: > 66 %. Verbissklassen: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)

Abb. 10: Auf Plots ohne Bodenvegetation wurden die Gipfeltriebe am wenigsten verbissen. (Deckungsgrade: 0: keine; 1: 1-33 %; 2: 34-66 %; 3: > 66 %. Gipfelverbiss: 0: nicht verbissen; 1: verbissen)

Kronenschlussgrad – (Gipfel-)Verbiss

Kupferschmid

Kronenschlussgrad «aufgelöst» führte zu starkem Verbiss der Tannen (Abb. 11). Von allen Kategorien schützte der Kronenschlussgrad «räumig» (4) die Tannen am ehesten vor Wildverbiss. Es ist zu erkennen, dass auf offenen («aufgelösten») Flächen die Tannen am stärksten verbissen wurden und sie somit vom Wild gegenüber anderen Pflanzen bevorzugt wurden. Der Kronenschlussgrad wirkte sich signifikant auf die Verbissklasse aus (Kruskal-Wallis, $p = 0.009125$).

Eiberle

Die Kronenschlussgrade «normal» und «aufgelöst» (2 und 5) führten dazu, dass Gipfeltriebe eher verbissen wurden (Abb. 12), was sich mit den Ergebnissen der Methode Kupferschmid deckt. Bei allen in den Untersuchungsgebieten vorhandenen Kronenschlussgraden fand jedoch Gipfelverbiss statt. Die Unterschiede je nach Kronenschlussgrad waren nicht signifikant (Chi-square, $p = 0.0795$).

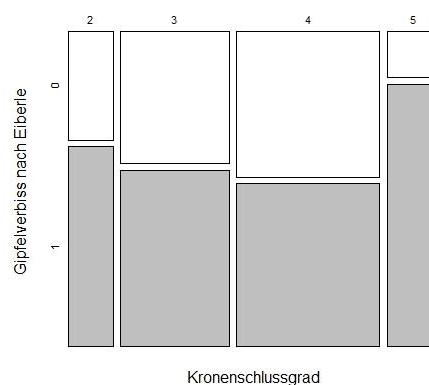
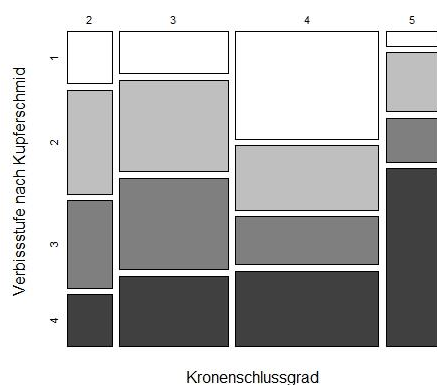


Abb. 11: Ein aufgelöster Kronenschlussgrad fördert den starken Verbiss am meisten. Räumige Bestände werden zum Äsen am wenigsten aufgesucht. (Kronenschlussgrade: 2: normal; 3: locker; 4: räumig; 5: aufgelöst. Verbissklassen: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)

Abb. 12: Nebst starkem Verbiss, geschieht Gipfelverbiss geschieht vorwiegend an aufgelösten Kronenschlussgraden. (Kronenschlussgrade: 2: normal; 3: locker; 4: räumig; 5: aufgelöst. Gipfelverbiss: 0: nicht verbissen; 1: verbissen)

Baumhöhe – (Gipfel-)Verbiss

Der Median der Baumhöhen aller gemessenen Weisstannen lag bei 22 cm (Mittelwert 39.9 cm). Auf die Stufen der Verbissklassifizierung nach Kupferschmid hatte die Baumhöhe keinen signifikanten Einfluss (Kruskal-Wallis, $p = 0.28$; Abb. 13).

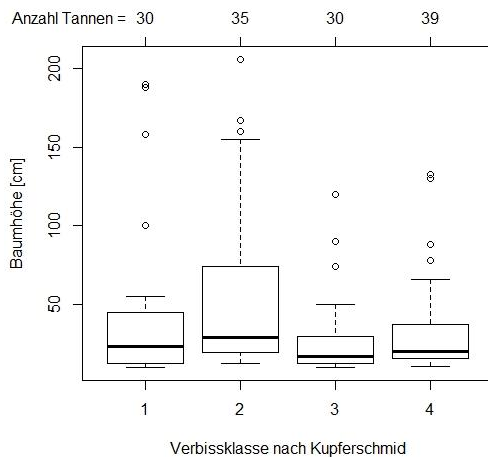


Abb. 13: Verbissstärke je nach unterschiedlicher Baumhöhe. Der Einfluss der Baumhöhe auf die Verbissklasse war nicht signifikant. (Verbissklassen: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)

Standort – (Gipfel-)Verbiss

Der Gipfelverbiss, wie auch die Verbissklasse nach Kupferschmid hingen aufgrund der vorliegenden Daten nicht vom Standort der Plots ab (Kupferschmid: Chi-square, $p = 0.2331$; Eiberle: Chi-square, $p = 0.7827$).

4.2 Entwicklung im Zeitraum von 2016 bis 2019

Das folgende Kapitel zeigt die Veränderungen und die Entwicklung des Tannen- und Keimlingsbestandes, sowie des Verbisses innerhalb der drei Jahre zwischen den zwei Aufnahmezeitpunkten im Jahr 2016 und 2019. Keimlingszahlen können von Jahr zu Jahr relativ stark variieren, grössere Schwankungen innerhalb weniger Jahre sind natürlich.

4.2.1 Tannen

Mit 52 % waren leicht über die Hälfte der im Jahr 2019 gemessenen Tannen mit denjenigen aus dem Jahr 2016 übereinstimmend, was heisst, dass die exakt gleiche Tanne in beiden Erhebungen vermessen werden konnte (Abb. 14). Diese werden fortan «übereinstimmende Bäume» genannt.

Bei knapp 30 % war eine Übereinstimmung nicht mit Sicherheit bestimmbar. 10 % der im Jahr 2019 gemessenen Tannen wurden im 2016 noch nicht aufgenommen, sind neu gewachsen oder haben sich über die drei Jahre vom Keimling zum Tannenanwuchs (> 10 cm) entwickelt. Knapp 8 % der im Jahr 2016 gemessenen Tannen waren 2019 nicht mehr vorhanden oder abgestorben.

Neu gewachsene Tannen standen an eher dunkleren Standorten. Tannen, die in der Zeit zwischen 2016 und 2019 abgestorben sind, standen auf helleren Plots mit durchschnittlich 3.5 Sonnenstunden. Die im Jahr 2019 als abgestorben vermerkten Tannen hatten im Jahr 2016 eine Durchschnittshöhe von 50.7 cm. Die neu aufgenommenen waren im Jahr 2019 durchschnittlich 15.7 cm hoch. Bei den übereinstimmenden wurden Tannen mit verbissenem Gipfeltrieb, wie auch ohne aufgenommen. 56 % der übereinstimmenden Bäume, und somit über die Hälfte jener, die über die Zeitspanne überlebten, standen in Lostalio. Leicht mehr als die Hälfte (58 %) der abgestorbenen Tannen waren auf Plots in Soazza.

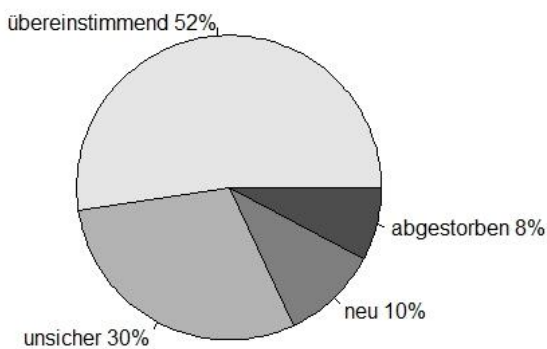


Abb. 14: Bilanz der zweifach gemessenen Tannen in den Jahren 2016 und 2019.

Um festzustellen, ob die Keimlinge im Untersuchungsgebiet zu Jungtannen aufwachsen können, wurde der Zusammenhang anhand einer Korrelation getestet. Zwischen dem Vorhandensein von Keimlingen im Jahr 2016 und dem Vorhandensein von Tannen (> 10 cm) in den gleichen Plots im Jahr 2019 konnte kein Zusammenhang gefunden werden (Abb. 15). Die Methode Spearman ergab nur eine kleine Korrelation (0.28). Viele Keimlinge aus dem Jahr 2016 hatten demnach nicht viele Bäume 2019 zur Folge. In Anbetracht, dass

Keimlinge innerhalb dreier Jahre auf dieser Höhenstufe nur einige Zentimeter wachsen können, wurden für eine zweite Berechnung nur Tannen von höchstens 15 cm beachtet. Diese lieferte eine negative Korrelation von -0.346 rho (Abb. 16).

Dieser Zusammenhang ist auch auf der Abb. 17 ersichtlich. Die Anzahl Keimlinge im Jahr 2016 hatte keinen Einfluss auf die Anzahl Tannen im Jahr 2019. Die Anzahl Tannen war rückläufig (-12 %), die Anzahl der Keimlinge stieg jedoch stark an. Anteil an der hohen Zahl an Keimlingen hatten hauptsächlich die drei Plots 301, 302 und 303 mit überdurchschnittlich vielen Keimlingen: Dort wurden 238, 121 und 216 Keimlinge gezählt.

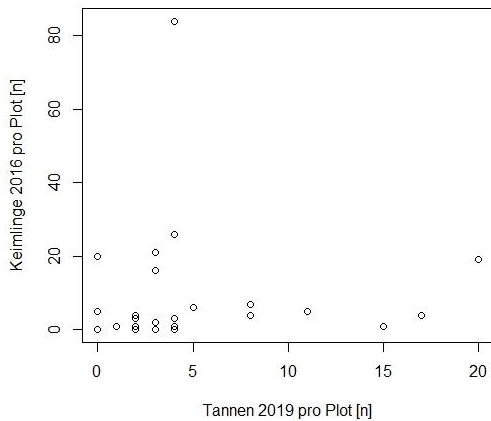


Abb. 15: Korrelation der Keimlinge 2016 und aller Tannen von 2019. Die Spearman- Korrelation war mit 0.28 klein.

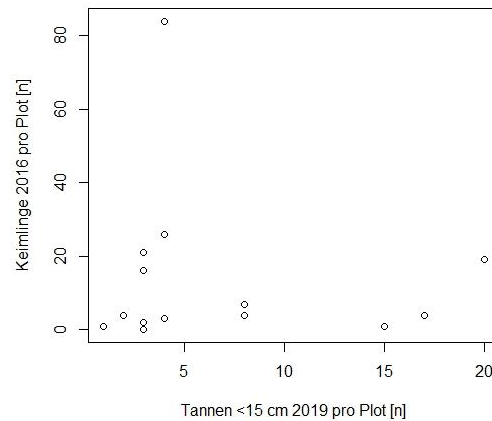


Abb. 16: Korrelation der Keimlinge von 2016 und der Bäume ≤ 15 cm. Die Korrelation ist negativ (-0.346).

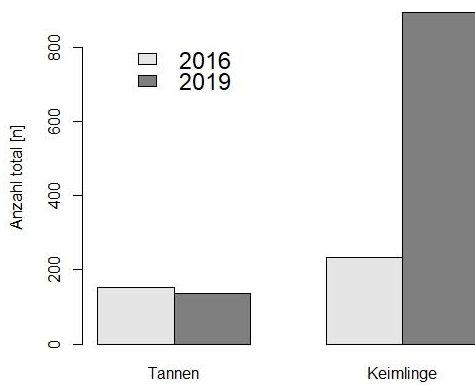


Abb. 17: Zu-, resp. Abnahme der Baum- und Keimlingszahlen zwischen 2016 und 2019.

Baumhöhenverteilung

Die Baumhöhenverteilung ähnelt den Ergebnissen aus vorherigen Untersuchungen (wie im Kapitel Einleitung erwähnt) und zeigt einen grossen Mangel an Tannen über 50 cm (Abb. 18 und Abb. 19). Im Gegensatz zu den Ergebnissen im Jahr 2016, war im 2019 die Verteilung unter 50 cm leicht ausgeglichener. Ein Grossteil der gemessenen Tannen erreichte eine Höhe von leicht mehr als 10 cm, ab welcher die Tannen bei den Feldaufnahmen als solche gezählt wurden. Es waren deutlich mehr Weisstannen unter 50 cm Höhe vorhanden. Hatten die Tannen eine Höhe von 50 cm erreicht, war die Anzahl pro Höhenstufe ausgeglichener. Somit ergab die Baumhöhenverteilung ein ähnliches Bild wie im Jahr 2016.

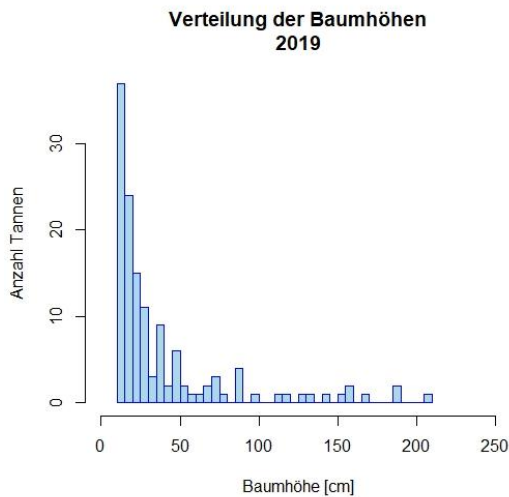


Abb. 18: Baumhöhenverteilung 2019

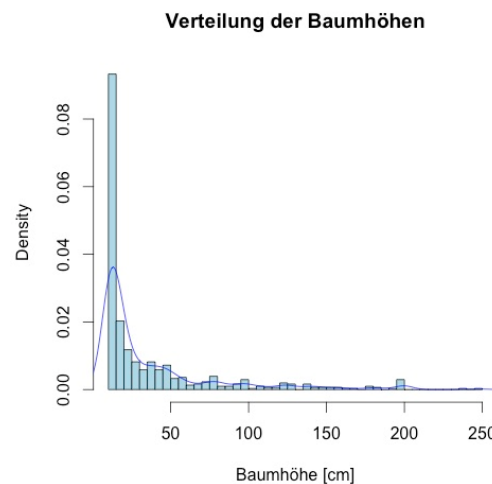


Abb. 19: Baumhöhenverteilung 2016 (Ramstein, 2016)

Baumhöhen

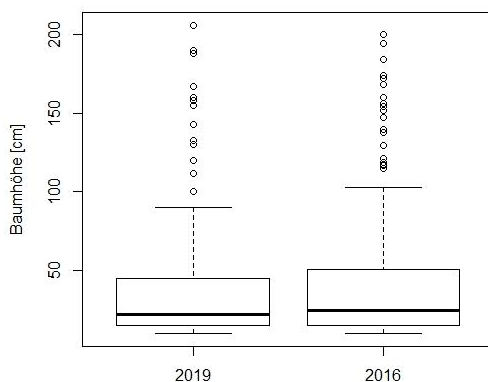


Abb. 20: Die durchschnittliche Höhe der gemessenen Tannen lag 2016 leicht höher als im Jahr 2019 (50.8 cm / 45.8 cm)

Die durchschnittliche Höhe der gemessenen und übereinstimmenden Tannen lag 2016 bei 50.8 cm, 2019 lag sie 5 cm tiefer, bei 45.8 cm Höhe (Abb. 20). Die durchschnittliche Baumhöhe aller Tannen (übereinstimmende und nicht übereinstimmende) lag im Jahr 2016 bei 43.8, im Jahr 2019 bei 39.9 cm. Der Gewinn oder Verlust an Höhe der Tannen war nicht ortsabhängig.

Wachstumsveränderung

Mehr als die Hälfte (23) der übereinstimmenden Tannen haben über die Versuchszeit an Höhe verloren. 19 Tannen konnten an Höhe zulegen. Für die Berechnung wurden nur jene Tannen miteinbezogen, die Zuwachs (positiv und negativ) von mehr als 2 cm verzeichneten, um allfällige Messfehler nicht zu gewichten. Insgesamt sind die Tannen 201 cm gewachsen. Der gesamte Verlust an Höhe belief sich insgesamt auf -146 cm. Der positive Zuwachs lag bei durchschnittlich 10.6 cm, der negative bei -6.3 cm. Abb. 21 zeigt die Veränderung des Wachstums der übereinstimmenden Bäume von 2016 und 2019. Als Bereich der Messungenauigkeit wurden 2 cm festgelegt.

Von den übereinstimmenden Bäumen konnten vor allem jene in die Höhe wachsen, die an dunkleren Standorten stehen (2 Sonnenstunden). An helleren Standorten (ab 2.5 Sonnenstunden) wurde eher

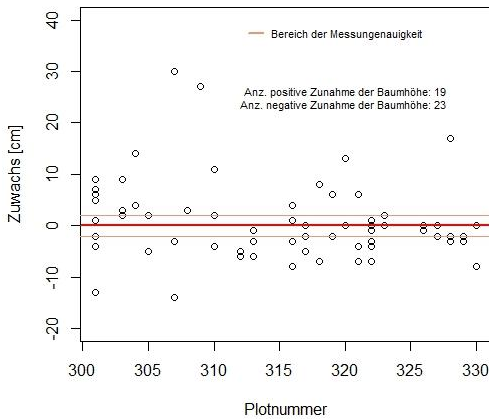


Abb. 21: Wachstumsveränderung der übereinstimmenden Tannen. Über die Hälfte der Bäume konnte nicht an Höhe gewinnen.

negativer Zuwachs verzeichnet. Deutlich positive Zuwachse (> 8 cm) verzeichneten Tannen mit durchschnittlicher Baumhöhe von 92 cm und ca. 18 mm Stammdurchmesser. Die durchschnittliche Baumhöhe bei Tannen mit stark negativem Zuwachs (> -8 cm) lag bei 52 cm, der durchschnittliche Stammdurchmesser bei 11 mm. Verbissstufe und Gipfelverbiss unterschieden sich zwischen positivem und negativem Zuwachs nicht deutlich (Mittelwert 2.75 bei negativen, 2.7 bei positiven Zuwachsen). Der durchschnittliche Endtriebzuwachs der gemessenen Tannen liegt in Lostallo bei 2.3, in Soazza bei 2.9 cm pro Jahr.

Abb. 22 zeigt eine Tendenz, unter welcher Verbissstärke die Tannen eher positiven oder negativen Zuwachs verzeichneten. Der Median bei nicht verbissenen Tannen, sowie bei den stärker verbissenen Tannen (Klasse 3) lag im positiven Bereich. Gipfelverbiss (Klasse 2) und «starker Verbiss» (Klasse 4) führte zu Höhenverlust.

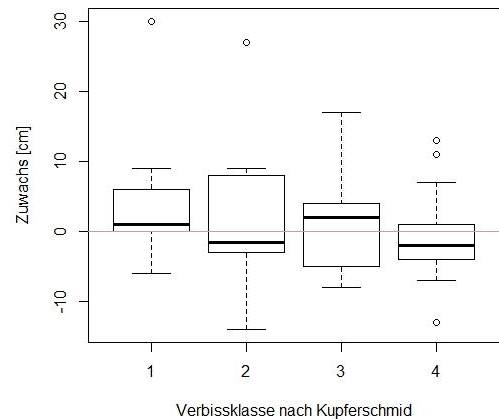


Abb. 22: Gipfelverbiss und starker Verbiss führte zu negativem Zuwachs. Tannen, die nicht verbissen wurden, konnten positiv in die Höhe wachsen.

4.2.2 Keimlinge

Die Anzahl Keimlinge war nach drei Jahren deutlich höher (Abb. 23 und Abb. 17): Im Jahr 2019 wurden insgesamt 895 Keimlinge gezählt, über dreimal mehr als im Jahr 2016 (233 Keimlinge). Vor allem auf den Plots in Lostallo war die Zahl im Jahr 2019 deutlich höher. Die Zahlen aus Soazza sind etwa ähnlich geblieben. Besonders viele Keimlinge wurden bei mittlerem Bodenvegetations-Deckungsgrad und kleiner Vegetationshöhe beobachtet. Zur extrem hohen Keimlingszahl im 2019 haben vor allem 3 Plots beigetragen, die über 100 Keimlinge/Plot aufwiesen. Auch ohne diese Ausreisser ergab sich im Gebiet Lostallo jedoch ein deutlich höherer Mittelwert von 25 Keimlingen/Plot, in Soazza lag dieser bei 4.7 Keimlingen/Plot.

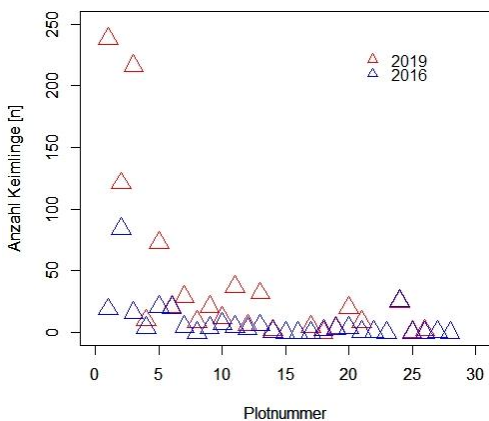


Abb. 23: Der Plot zeigt die Anzahl Keimlinge in beiden Untersuchungsgebieten im Jahr 2016 und im Jahr 2019

4.2.3 Verbiss

Im Jahr 2016 wurden deutlich mehr nicht-verbissene Bäume gezählt (Klasse 1) als verbissene (Klassen 2, 3, 4). Im Jahr 2019 sind die Häufigkeiten der Verbissklassen, gemessen an allen Tannen relativ ausgeglichen, die Klassen 2, 3 und 4 jedoch häufiger als im 2016 (Abb. 24). Die Abb. 25 zeigt die Verbissklassen der übereinstimmenden Tannen beider Jahre. Hier wird deutlich, dass zuvor unverbissene Tannen drei Jahre später teilweise einer höheren Verbissklasse zugeordnet wurden.

14 von 21 Tannen, die eine Zunahme in der Verbissklasse von mehr als 1 aufwiesen, waren in Soazza situiert. Sie befanden sich meist an Standorten mit Kronenschlussgrad «räumig». Die Bodenvegetations-Höhe war meist 1-30 cm hoch (Kategorien 1 und 2). Im Mittelwert standen auf den Plots 33 Keimlinge (Median: 12).

Bei zwei Dritteln der übereinstimmenden Tannen wurde die Bewertung des Verbisses mindestens eine Klasse höhergestuft als im Jahr 2016. Bei 17 Tannen wurde dieselbe Verbissklasse notiert.

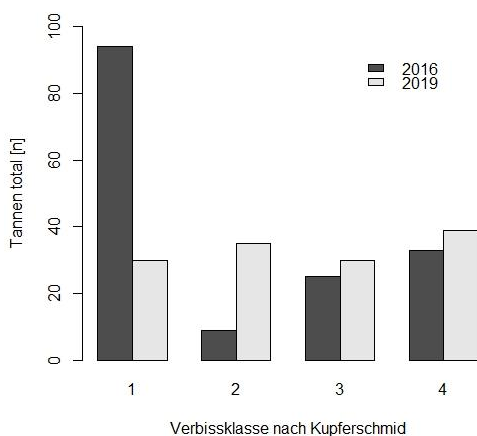


Abb. 24: Häufigkeiten der Verbissklassen nach Kupferschmid. Als Grundlagen dienen alle im Jahr 2016, bzw. 2019 gemessenen Weisstannen. (Verbissklasse: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)

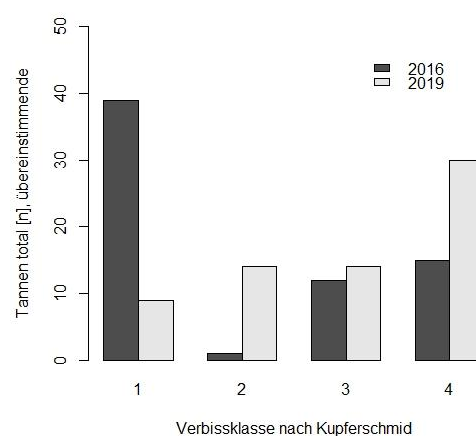


Abb. 25: Häufigkeiten der Verbissklassen nach Kupferschmid. Datengrundlage hierfür sind jene Weisstannen, die im Jahr 2016 und 2019 übereinstimmend waren. (Verbissklasse: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)

Verbissintensität

Die Verbissintensität der Methode Eiberle (Eiberle & Nigg, 1987) wird berechnet aus dem Anteil verbissener Endtrieben pro Jahr an der Gesamtpflanzenzahl. Der Grenzwert für die Weisstanne liegt gemäss Eiberle bei 9 %. In 26 von 30 Plots wurde der Grenzwert nach Eiberle deutlich überschritten (Abb. 26), wodurch sich die Überlebenschancen der Tannen durch den fehlenden Höhenzuwachs stark verringern. Die Mediane der Verbissintensität von 2016 und 2019 unterschieden sich signifikant (Wilcoxon, $p = 0.001252$). 2019 lag der Median der Verbissintensität aller Plots bei 66.7 %, 2016 lediglich bei 23.6 %.

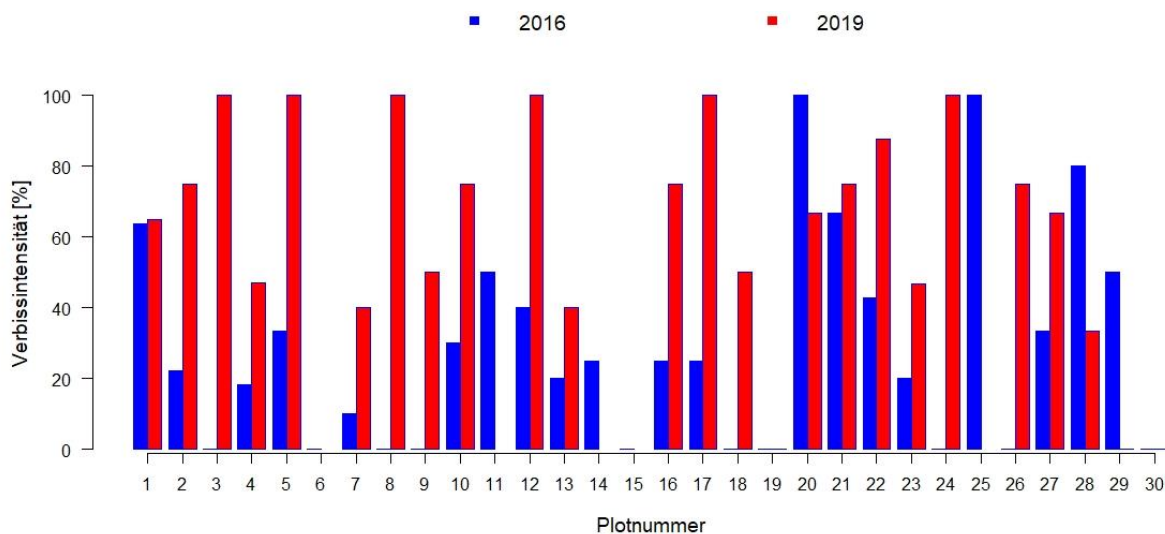


Abb. 26: Verbissintensität nach Eiberle. Die Tannen wurden im Jahr 2019 signifikant stärker verbissen als drei Jahre zuvor. Bei Plots ohne Balken wurden keine Tannen gefunden.

Im Jahr 2016 war ein grösserer Teil aller gemessenen Tannen unverbissen (94), 67 Tannen wurden der Verbissklasse 2, 3 oder 4 zugeteilt. 20.5 % der im Jahr 2016 gemessenen Tannen wurden der Verbissklasse 4 zugeteilt. Verbissklasse 3 wurde an 15.5 % der Tannen festgestellt, Klasse 2 und somit nur Gipfelverbiss wurde an 5.6 % der Tannen vermerkt. 58.4 % und somit mehr als die Hälfte der Tannen wurde im Jahr 2016 gar nicht verbissen. Die Tannen wurden grundsätzlich entweder gar nicht oder dann eher stark verbissen. Im Gegensatz dazu waren die Prozentsätze der im Jahr 2019 verbissenen Tannen deutlich ausgeglichener: Verbissklasse 1 und 3 wurde an 22 % der aufgenommenen Tannen festgestellt, Gipfelverbiss an 26 %, starker Verbiss von 4 an 29 %.

4.3 Übersicht

Die Tab. 2 dient der Übersicht und ist eine Zusammenfassung der statistischen Resultate. Höhe und Deckungsgrad der Bodenvegetation, der Kronenschlussgrad und die Anzahl Lichtstunden am Plot hatten signifikanten Einfluss auf die Verbissstärke. Starker Verbiss wurde gefördert durch Bodenvegetation der Höhe 11-30 cm, durch einen Deckungsgrad der Bodenvegetation von > 66 %, einen «aufgelösten» Kronenschlussgrad und ca. 2 Stunden Licht pro Tag. Einfluss auf den Gipfelverbiss im Speziellen hatte nur die Höhe der Bodenvegetation (11-30 cm fördert Verbiss). Die Anzahl Keimlinge war abhängig vom Standort. In Lostallo wurden signifikant mehr Keimlinge gezählt als in Soazza. Keiner der Standortparameter hatte signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Tannen. Die Verbissintensität im Jahr 2019 lag signifikant höher als jene im Jahr 2016. Post-hoc-Tests der Kruskal-Wallis-Tests ergaben signifikante Unterschiede zwischen:

- Bodenvegetation-Deckungsgrad 2 und 3 (34-66 % / > 66 %), in Anbetracht auf die Verbissklasse

- Bodenvegetations-Höhe 0 und 2 (keine / 11-30 cm), und 1 und 2 (1-10 cm / 11-30 cm), in Anbetracht auf die Verbissklasse
- Bodenvegetations-Höhe 0 und 2 (keine / 11-30 cm), in Anbetracht auf den Gipfelverbiss
- Kronenschlussgrad 4 und 5 (räumig / aufgelöst), in Anbetracht auf den Verbiss
- Lichtstunden 1.5 und 2.5 h, und 2.5 und 5 h, in Anbetracht auf den Verbiss

Tab. 2: Übersicht der p-Werte der Auswertung mit verschiedenen statistischen Tests. Signifikante Resultate sind farbig hinterlegt.

	Verbissstärke	Gipfelverbiss	Keimlinge Anzahl	Tannen Anzahl	Verbissintensität 19
Baumhöhe	Kruskal-Wallis 0.2841				
Standort	Chi-square 0.2231	Chi-square 0.7827	Wilcoxon 7.711*10 ⁻⁵	Wilcoxon 0.2	
Höhe Bodenvegetation	Kruskal-Wallis 0.0005621	Chi-square 0.0179	Kruskal-Wallis 0.4431	Kruskal-Wallis 0.2097	Kruskal-Wallis 0.1991
Deckungsgrad Bodenvegetation	Kruskal-Wallis 0.01369	Chi-square 0.1568	Kruskal-Wallis 0.4789	Kruskal-Wallis 0.9157	
Kronenschlussgrad	Kruskal-Wallis 0.009125	Chi-square 0.0795	Kruskal-Wallis 0.8091	Kruskal-Wallis 0.819	
Streu			Kruskal-Wallis 0.2425	Kruskal-Wallis 0.4184	
Licht	Kruskal-Wallis 0.01721		Kruskal-Wallis 0.5412	Kruskal-Wallis 0.1243	
Verbissintensität 16					Wilcoxon 0.001252
Höhe m ü. M.			Kruskal-Wallis 0.3873	Kruskal-Wallis 0.49	

4.4 Vergleich der Tannenverjüngung zwischen den Gebieten Lostallo und Soazza

In der Tab. 4 und Tab. 5 sind Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgebieten Lostallo und Soazza sichtbar. Zur besseren Erklärbarkeit werden hier auffällige Unterschiede der beiden Gebiete aufgezeigt.

Beide Flächen liegen im Misox. Die in Lostallo gefundenen Keimlinge überstiegen jene in Soazza um ein Vielfaches (825 / 70). In Lostallo wurden pro Plot knapp sechs Tannen gezählt, in Soazza knapp vier. Insgesamt lag die Zahl bei 77, bzw. 59. Die Verbissintensität (Berechnet nach Methode Eiberle) lag in Lostallo bei 72, in Soazza bei 55 %. Endtriebe der Fichten konnten in Lostallo länger wachsen als in Soazza, die Länge der Endtriebe an Tannen ist jedoch in Soazza grösser.

Die Tab. 5 zeigt die Zu- respektive Abnahme der Keimlingszahlen, aufgeteilt in die zwei Untersuchungsgebiete.

Tab. 3: Auswahl der Standorts- und Waldstruktureigenschaften Lostallo und Soazza. Die erwähnten Werte sind jeweils Mittelwerte aus dem entsprechenden Gebiet.

	Lostallo	Soazza
m ü. M.	1375.6	1077
Exposition [°]	253	67
Lichtstunden im Mai – Juli [h]	3	2.5
Streudicke	1 - 3 cm	1 - 3 cm
Humusdicke	5 - 30 cm	1 - 5 cm
Streuzusammensetzung	Nadelstreu	Laubstreu
Gründigkeit	10 cm	15 cm
Bodenvegetation Deckungsgrad	34 - 66 %	34 - 66 %
Bodenvegetation Höhe	11 - 30 cm	1 - 10 cm
Kronenschlussgrad	Locker	Räumig
Baumdicke [Tannen / ha]	754	500
Tannen in Plots total	77	59
Tannen pro Plot	5.9	3.9

Tab. 4: Standortunterschiede der Tannen in Lostallo und Soazza. Die Werte sind jeweils Mittelwerte aus dem entsprechenden Gebiet.

	Lostallo	Soazza
Keimlinge pro m²	0.8	0.05
Keimlinge total pro Plot	63.5	4.7
Keimlinge total alle Plots	825	70
Durchschnittliche Baumhöhe	28.1 cm	28.9 cm
Verbissintensität	72 %	55.4 %
Endtriebzuwachs Fichten	4.8 cm	3.4 cm
Endtriebzuwachs Tannen	2.3 cm	2.9 cm

Tab. 5: Keimlinge in Lostallo und Soazza, Jahr 2016 und 2019

	Lostallo 2016	Soazza 2016	Lostallo 2019	Soazza 2019
Keimlinge pro m²	0.17	0.03	0.80	0.06
Keimlinge total pro Plot	13.9	2.6	63.5	4.7
Keimlinge total alle Plots	195	42	825	70

5 Diskussion

Das Wachstum und das Überleben von Tannen wird von vielen Faktoren beeinflusst. Durch die Standorteigenschaften ist das Gebiet Misox grundsätzlich für Tannenaufwuchs geeignet, trotzdem ist der Zustand der Tannenverjüngung in diesen Schutzwäldern unbefriedigend. Wie sich der Zustand der Tannenverjüngung in den letzten drei Jahren verändert hat, welche Faktoren dabei relevant waren und wie gross der Einfluss durch Wildverbiss ist, wird im folgenden Kapitel diskutiert.

5.1 Diskussion der Ergebnisse

In Anbetracht der Höhenlage und anderer Standortparameter, sind die Voraussetzungen für das Tannenwachstum in den beiden Untersuchungsgebieten gegeben: Diese befinden sich auf Höhenlagen zwischen 946 m ü. M. und 1531 m ü. M. Die Tanne kann in Höhenlagen von 800 m ü. M. bis ca. 1500 m ü. M. vorkommen, in südlichen Alpentälern wächst sie jedoch auch höher (Brändli, 1998; Ewald, 2004). Das Schweizerische Landesforstinventar und Luca Plozza (Amt für Wald und Naturgefahren Kanton GB; mündliche Mitteilung) bestätigen das Vorkommen der Weisstanne im Gebiet Misox, mindestens in den vergangenen 35 Jahren (Schweizerisches Landesforstinventar, 2018), auch die vermutlich über 100 Jahre alten Tannen in Lostalio zeugen davon. Durch Pollenanalysen ist bekannt, dass die Tanne in früheren Zeiten auf potenziellen Tannenstandorten häufiger vorkam als heute (Conedera, Colombaroli, Tinner, Krebs, & Whitlock, 2017). Aus wirtschaftlichen Gründen wurde die Fichte der Weisstanne früher im Waldbau vorgezogen, ausserdem reagiert die Weisstanne empfindlich auf Störungen wie Feuer und Beweidung. Diese Faktoren können zusätzlich dazu beitragen, dass die Tanne trotz guten Standorteigenschaften weniger als früher vorkommt.

In montanen, gut wasserversorgten Gebieten mit humidem Klima, wie es auf der Alpensüdseite im Gebiet Misox vorzufinden ist, wächst die Tanne grundsätzlich gut (Frank & Büchsenmeister, 2016). Auch die Zahlen der Tannenkeimlinge zeigen, dass im Gebiet grundsätzlich das Potenzial zur Tannenverjüngung vorhanden wäre. Die Anzahl hat sich zwischen den beiden Aufnahmezeitpunkten verdreifacht. Dies bedeutet allerdings nicht zwingend einen Aufwärtstrend für die folgenden Jahre, auch ersichtlich an den nicht korrelierenden Daten der Keimlinge und jungen Tannen (Abb. 15 und Abb. 16). Zudem schwanken Keimlingszahlen natürlicherweise relativ stark. Grund dafür können Mastjahre sein, in welchen Bäume eine Überproduktion an Samen machen. Für die Weisstanne ist eine Regelmässigkeit oder eine Begründung der Vollmast noch nicht weiter erforscht, es ist jedoch bekannt, dass nach trockenen Sommern (wie 2018 einer war), besonders viele Pollen produziert werden (Wohlgemuth et al., 2017). Die grosse Anzahl an Keimlingen im Jahr 2019 wäre die Folge

einer Vollmast in den vergangenen Jahren. Eine Zeitreihe nur anhand zweier Datenpunkte zu interpretieren ist jedoch fehleranfällig und kann stark zufallsbestimmt sein. Die Daten sind allerdings die Grundlage zu langjährigen Datenreihen.

5.1.1 Zustand der Tannenverjüngung und Einfluss durch Verbiss

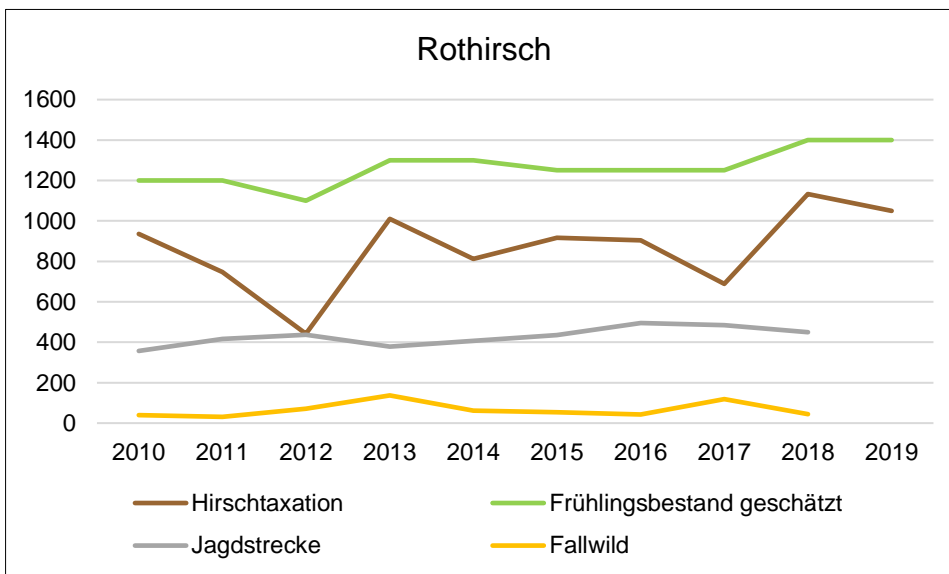
Die Baumhöhenverteilung (Abb. 18) zeigt ein unbefriedigendes Bild und ähnelt somit jener aus vorhergegangenen Untersuchungen (Ramstein, 2016): So sind zwar ausreichend Keimlinge und Tannen unter 50 cm Höhe vorhanden, es gelingt jedoch einem Grossteil der Tannen nicht, erfolgreich in die Höhe zu wachsen, konkurrenzfähiger zu werden und zu überleben. Zwischen Anzahl Keimlingen aus dem Jahr 2016 und den jungen Bäumen (< 15 cm) im Jahr 2019 hat sich eine negative Korrelation ergeben. Aufgrund der geringen Datendichte ist anzunehmen, dass kein Zusammenhang zwischen Keimlingen und Jungtannen innerhalb dreier Jahre besteht. Die Anzahl der Tannen zwischen 0.1 und 2.0 m war in der Versuchszeit über die drei Jahre rückläufig und ist um 12 %, und somit um über einen Zehntel des vorherigen Bestandes gesunken. Zudem konnte mehr als die Hälfte jener Tannen, welche im Jahr 2016 und im Jahr 2019 vermessen wurden, über die Versuchszeit nicht an Höhe gewinnen, respektive hat an Höhe verloren. Wird diese Entwicklung zum Trend für die nächsten Jahre, wird sich der Bestand an jungen Tannen deutlich weiter dezimieren und, trotz ausreichend Keimlingen, nicht halten können.

Der durchschnittliche gemessene Endtriebzuwachs der Weisstannen (verbissen und unverbissen) liegt bei 2.9 cm pro Jahr. In der Zeitspanne von drei Jahren hätten die Tannen also ein positives Wachstum von knapp 9 cm aufweisen können. Deutlich in die Höhe wachsen konnten vor allem Tannen, die schon eine gewisse Grösse (ca. 90 cm) erreicht haben. Kleinere Tannen (ca. 52 cm) haben eher an Höhe verloren. Grössere Tannen sind gegenüber Nachbarbäumen konkurrenzstärker und haben bereits ein ausgebildeteres Wurzelwerk, womit das in trockenen Jahren spärlich vorhandene Wasser besser erreicht werden kann. Damit kann die Tanne Energie in den fürs Überleben wichtigen Längenzuwachs investieren.

Die Verbissstärke, die Verbissintensität und die Anzahl verbissener Tannen sind innerhalb dreier Jahre angestiegen. Die Stärke der Verbissintensität liegt 2019 signifikant höher als 2016. Häufig wurden Tannen, die in der ersten Begehung im 2016 noch unverbissen waren, nun einer der Klassen 2, 3 oder 4 zugeteilt. Bei zwei Dritteln der übereinstimmenden Bäume wurde die Verbissklasse um mindestens eine Klasse erhöht gegenüber 2016. Tannen, die gar nicht verbissen wurden (Klasse 1), konnten den Umständen in Höhenlagen entsprechend wachsen. Die am Gipfeltrieb verbissenen Tannen (Klasse 2) sind im Mittelwert eher kleiner geworden, was eine logische Konsequenz aus dem Gipfelverbiss ist. Im Misox wurden die Verbissklassen ungefähr gleichmässig verteilt, die Zahl der nur am Gipfeltrieb verbissenen und stark und vollständig verbissenen Tannen ist etwa ähnlich.

Es ist zu beachten, dass die Feldaufnahmen zu beiden Zeitpunkten zwar nach den genannten Methoden durchgeführt wurden, jedoch mehrere verschiedene Personen daran beteiligt waren. So kann es zu Diskrepanzen in der Art und Weise der Bestimmung der Verbissklasse oder anderen Parametern kommen.

Während der Tannenbestand ab- und die Verbissstärke zugenommen hat, ist der Rothirschbestand im Gebiet Misox in den vergangenen Jahren, und insbesondere auch seit 2016 leicht angestiegen (Schätzung und Hirschtaxation; Amt für Jagd und Fischerei, Kt. GB, 2019), während die Jagdstrecke und das Fallwild in den Jahren 2017 und 2018 abnehmende Tendenz zeigt (Abb. 27). Dadurch lässt sich der verstärkte Verbiss innerhalb der letzten Jahre erklären. Mehr Wild verlangt nach mehr Nahrung. Ist diese, vor allem im Frühjahr, noch nicht ausreichend vorhanden, konzentriert sich der Verbiss auf ein kleineres Gebiet und auf die wenigen vorhandenen und bereits ausgetriebenen Pflanzen. Die Bestandeszahlen der Gämse und der Rehe sind eher rückläufig. Aufgrund der im Vergleich zum Rothirsch sehr geringen Abundanz scheinen diese im Misox eine untergeordnete Rolle zu spielen.



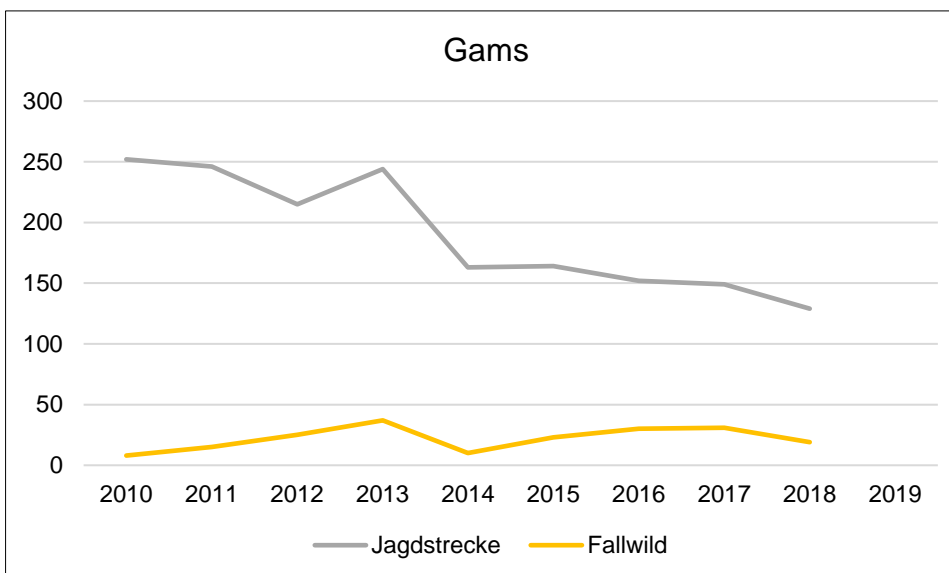
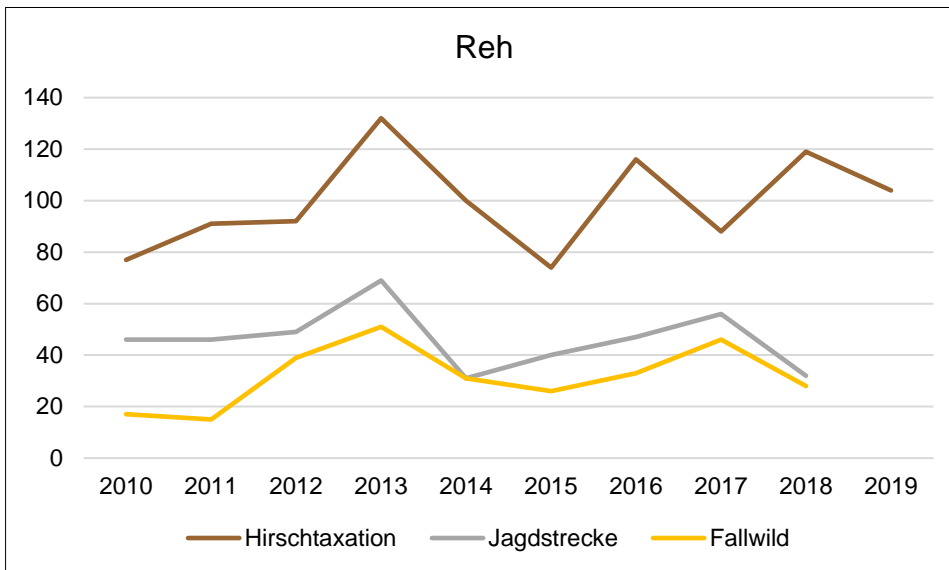


Abb. 27: Bestandeszahlen des Rothirsches, des Rehs und der Gams der Jahre 2010-2019 im Gebiet Misox. (Amt für Jagd und Fischerei, Kt. GB, 2019)

5.1.2 Standortunterschiede

Im Gegensatz zu den Tannen im Aufwuchsstadium gibt es im Keimlingsstadium signifikante Unterschiede je nach Standort. Die Zahlen aus dem Gebiet oberhalb Lostallo übersteigen jene in Soazza um ein Vielfaches. Besonders drei Plots in Lostallo heben die Keimlingszahlen stark an. Doch auch wenn diese für die Auswertung missachtet werden, gibt es noch deutliche Unterschiede zwischen den beiden Standorten. In Lostallo ist eine höhere Zahl an Samenbäumen (Stangen- und Baumholz) pro Hektare vorhanden als in Soazza, was Einfluss hat auf die Vermehrung. Ein Grossteil der Tannen hat eine Kronenlänge von über 2/3 des Stammes, was auf einen vitalen Wuchs hinweist. Ausserdem sind die Tannen im blühreifen Alter (ETH Zürich, 2002), was dazu führt, dass genügend Samen produziert und verbreitet werden. Dies wirkt sich folglich auf das Keimlingswachstum aus,

woraus sich die deutlich höhere Zahl an Keimlingen in Lostallo begründet. Die Samenbäume in Soazza sind seltener und machen einen weniger vitalen und kräftigen Eindruck. Ausserdem gibt es einige Plots in Soazza, in deren Nähe keine Samenbäume in Sichtdistanz stehen. Dies kann dazu führen, dass die Reproduktionsrate im Gebiet Soazza kleiner ist, respektive die kleinere Zahl an älteren Tannen weniger Samen produzieren als in Lostallo. Ramstein (2016) hat einen signifikanten Einfluss vom Abstand des Samenbaums auf das Keimpotential festgestellt, was diese These unterstützt. Auf das weitere Überleben und Wachstum der Tannen scheinen die kleinräumigen Unterschiede der Untersuchungsgebiete keinen Einfluss zu haben (ausgeglichenere Zahlen der Tannen zwischen den Gebieten).

Die Häufigkeit des Verbisses unterscheidet sich nicht nach Standort. Im Gebiet Lostallo sind zwar mehr Tannen, insbesondere im älteren Stadium, und Keimlinge vorhanden, der Verbiss findet aber sowohl in Soazza, wie auch in Lostallo ohne signifikante Unterschiede und somit unabhängig vom Standort statt. Dies widerspricht den empirischen Erfahrungen von Luca Plozza (mündliche Mitteilung), die besagen, dass Verbiss in Soazza häufiger vorkommt. Zwei Drittel der Tannen, deren Verbissklasse um mehr als 1 höher eingestuft wurde, stehen in Soazza, woraus geschlossen wird, dass der Wildverbiss an diesem Standort zwar nicht öfter, jedoch stärker stattfindet. Es wird angenommen, dass dies aufgrund Mangel an alternativer Nahrung und Bejagung durch die Jagd oder Raubtiere auftritt. Laut Luca Plozza (mündliche Mitteilung) ist das Vorkommen von Hirsch und Gämse auf der Talseite von Soazza häufiger als in Lostallo. Dies lässt sich erklären mit der Örtlichkeit des in der Nähe des Untersuchungsgebietes liegenden Jagdbanngiets: Oberhalb des Gebiets in Soazza befindet sich ein eidgenössisches Jagdbanngbiet ('Graubünden Interaktive Karten', 2016), in welchem sich das Wild während der Hochjagd bevorzugt aufhält (Haller & Jenny, 2013). Ist die Jagdsaison im Spätherbst vorbei, wandern die Hirsche abwärts und halten sich somit vermehrt wieder im Gebiet Soazza auf. Wird während der Sonderjagd im Rebbaugbiet von Soazza geschossen, treibt dies die Hirsche zusätzlich in den sich oberhalb befindlichen Wald. Als Folge davon kommt dort verstärkter Verbiss vor.

5.1.3 Standorteigenschaften

Die für die vorliegende Arbeit relevanten Parameter Licht, Streudicke, Kronenschlussgrad und Bodenvegetation haben gemäss statistischer Auswertung keine direkten Einflüsse auf das Tannen- und Keimlingswachstum, sind aber beteiligt an der Vielzahl von Faktoren, die das Tannenwachstum beeinflussen. Die Zahl an signifikanten Ergebnissen (Tab. 2) lässt jedoch darauf schliessen, dass das Wild den grössten Einfluss auf die Tannenverjüngung im Misox hat. In früheren Untersuchungen (Bebi et al., 2016; Ramstein, 2016) waren einzelne dieser Faktoren relevant, diese Resultate wurden jedoch mit einer bedeutend grösseren Stichprobenzahl berechnet. In diesen Analysen hatten der

Kronenschlussgrad, die Bodenvegetation, die Streuschicht und der Verbiss signifikanten Einfluss auf das Keimpotential und die Baumhöhe.

Den Erwartungen entsprechend wuchsen auf mittlerem Bodenvegetation-Deckungsgrad und kleiner Vegetationshöhe am meisten Keimlinge. An diesen Standorten erfahren die Pflanzen genügend, aber nicht zu viel Licht und sind durch die umgebende Vegetation geschützt. Die Bodenvegetation sorgt ausserdem dafür, dass der Boden durchwurzelt ist und weniger schnell austrocknet. Plots, auf welchen die Anzahl an Tannen über dem Durchschnitt liegt, sind teilweise sehr licht. Dies widerspricht dem Anspruch der Tannen an sehr schattige Standorte (Info Flora, 2019). Am meisten Keimlinge wachsen an Standorten, die nicht mit Streu bedeckt sind und keine Humusschicht aufweisen. Am wenigsten Keimlinge wurden auf Plots mit 1-3 cm dicker Streuschicht gezählt. Dies widerspricht der Erwartung, dass Keimlinge auf Boden mit Pufferwirkung durch eine stärkere Humusschicht und genügend Nährstoff- und Wasserversorgung am häufigsten aufkommen. Das Wasser- und Nährstoffspeichervermögen in den Gebieten ist «extrem gering» bis «sehr gering» ('Swiss Geoportal', 2019). Dies muss kein Kriterium für erfolglose Verjüngung sein, kann aber die Bedingungen erschweren.

Die Auswertungen ergaben einen signifikanten Einfluss der Bodenvegetation darauf, ob Weisstannen verbissen werden oder nicht. Tannen, die auf Plots mit Bodenvegetation der Höhe 11-30 cm stehen, werden häufiger und stärker verbissen als Tannen auf Plots mit niedrigerer oder höherer Bodenvegetation. Sonneneinstrahlung zwischen 3 und 5 Stunden pro Tag, respektive Kronenschlussgrad «aufgelöst» führen ebenfalls zu verstärktem Verbiss und den grössten Keimlingszahlen. Es wird angenommen, dass diese Variablen über den Aufenthaltsort des Wildes ursächlich zusammenhängen und so indirekten Einfluss auf den Verbiss ausüben. Gemäss Schwitter & Herrmann (2000) bevorzugt das Wild die jungen Endtriebe an Weisstannen gegenüber Seitentrieben und anderen Baumarten.

5.2 Konsequenzen aus den Ergebnissen

5.2.1 Hinweise auf Einfluss des Wildes im Vergleich zu anderen Faktoren

Aufgrund des vorwiegend geringen Einflusses der getesteten Variablen (Kronenschlussgrad, Bodenvegetation, Lichtstunden, Meereshöhe) ist anzunehmen, dass der Aufwuchs der Tannen und das Keimlingswachstum nicht hauptsächlich oder alleinig von abiotischen Standortfaktoren beeinflusst wird. Pflanzen sind komplexe Systeme, deren Wachstum und Überleben hängen von einer weit grösseren Vielzahl an Faktoren ab, wie in dieser Arbeit behandelt werden. So hat Klima und

Wetter zusätzlich grossen Einfluss auf das Wachstum, ausserdem die Bodenzusammensetzung, die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit, der Wildverbiss und die Waldpflege.

Heisse Sommer, später Frost und extrem niedrige Temperaturen über die Wintermonate können begrenzend auf das Wachstum sein (Leibundgut, 1991), was zusätzlich zum Verbiss, zum Rückgang in Höhe und Anzahl der Tannen beigetragen haben könnte. In den Jahren 2016, 2017 und 2018 lagen die Jahresmitteltemperaturen auf der Alpensüdseite zwischen 0.8 und 1.1 °C über dem Normwert, während die Niederschlagsmengen etwa ähnlich blieben (MeteoSchweiz, 2019). Es ist möglich, dass die Keimlinge durch Wassermangel vertrocknen, was zur grossen Keimlingssterblichkeit beitragen würde. Die Tannen über dem Keimlingsstadium können durch die trockenen Verhältnisse geschwächt werden und sind dann anfälliger auf Störungen, wie zum Beispiel Verbiss. Es wird davon ausgegangen, dass trockene Verhältnisse über die Sommermonate durch Schwächung der Bäume zur Keimlingssterblichkeit beitragen, der Verfrass durch Wild jedoch einen weit grösseren Einfluss auf das endgültige Ableben der jungen Bäume hat.

Die Tatsache, dass die Bodenvegetation Einfluss auf den Verbiss hat (Abb. 7), lässt sich folgendermassen erklären: Gämsen und Hirsche ziehen Pflanzen im offenen Grünland (Kräuter, Gräser) grundsätzlich jenen im dichten Wald vor. Auch Rehe benötigen in ihrer Nahrung nährstoffreiche Pflanzenteile von Kräutern (Meile et al., 2001). Dies entspricht Standorten, wo auch Bodenvegetation aufkommen kann. Tannen, die gerade erst der Keimlingshöhe von 10 cm entwachsen sind und in höherer Bodenvegetation (31-50 cm) stehen, sind für das Wild nicht sofort sicht- und auffindbar. Dadurch ist die Chance grösser, dass das Wild an der Bodenvegetation, anstelle der Tannen frisst. Zudem sind im Frühling die Plots mit hoher Vegetation vor allem mit vertrockneten Pflanzenteilen und hohen Gräsern des letzten Jahres bedeckt, welche dem Wild keine gute Nährstoffquelle sind. Aufgrund dessen wird angenommen, dass sich das Wild insbesondere im Frühling nicht an diesen Orten aufhält. Das selbe gilt für Plots mit Bodenvegetations-Höhe 1-10 cm, welche meist mit Moosen bewachsen sind.

In vergangenen Jahrzehnten haben sich die Lebensraum-Strukturen und damit die Nahrungsgrundlagen für das Wild verändert. Durch die Bewirtschaftung des Grünlandes findet eine Verarmung der Artenzahl und somit des Nahrungsangebots statt, wodurch Wildtiere vermehrt auch die Waldvegetation nutzen müssen. Auch die zunehmenden Störungen zwingen das Wild dazu, die meiste Zeit in Deckung im Wald zu verbringen und sich von der dort vorhandenen Vegetation zu ernähren (Meile et al., 2001). Die Waldvegetation, insbesondere in Wäldern mit hoher Nadelholzdichte, kann die Nahrungsbedürfnisse des Schalenwilds jedoch nicht vollständig decken. Dies erklärt jenen Verbiss, der an dichteren Kronenschlussgraden oder auf tieferer und höherer Bodenvegetation auftrat. Sind nahes Grünland, offene Flächen oder das darauf vorhandene Nahrungsangebot mangelhaft, führt dies zu Nutzung und Übernutzung der Waldvegetation durch das Wild (Meile et al., 2001). Aufgrund

guter Verdaulichkeit und hohen Nährstoffgehaltes bevorzugt Wild Tannennadeln gegenüber anderen Baumarten (Muck et al., 2008). In den Untersuchungsgebieten wurde zum Teil allerdings auch Verbiss an anderen Baumarten, wie der Fichte oder Kastanie festgestellt, was ein zusätzliches Anzeichen für mangelndes Angebot an nährstoffreicher Bodenvegetation ist. Vor allem in Soazza ist das Untersuchungsgebiet von dichtem Fichtenwald auf felsigem Untergrund bewachsen. Für nährstoffreiche Kräuter ist dieses Habitat mit viel Beschattung nicht geeignet, was offensichtlich an deren Abwesenheit erkennbar ist. Dies erklärt auch den verstärkten Verbiss an Weisstannen im Gebiet Soazza.

Die Tatsache, dass zwischen der Anzahl Keimlinge 2016 und kleinen Tannen 2019 keine Korrelation besteht, muss nicht ausschliesslich auf Wildverbiss durch Schalenwild begründet sein. Die Gründe, dass sich Keimlinge nicht etablieren können sind zahlreich und reichen von Verbiss durch andere Pflanzenfresser wie Nagetiere, zu weiteren Umwelteinflüssen, respektive Standortgegebenheiten. Angebissene Keimlinge können entweder sofort absterben oder vollständig gefressen werden, was eine Zählung erschwert. Das Resultat dieser Arbeit widerspricht der Studie von Senn et al. (2007), die in vier Untersuchungsgebieten der Schweiz nachweisen konnte, dass die Keimlingsdichte positiv mit jener des Aufwuchses korreliert. In dieser Untersuchung ist für eine hohe Anzahl Keimlinge zu einem späteren Zeitpunkt auch mehr Aufwuchs verzeichnet worden. Die negative Korrelation der vorliegenden Daten müsste für den Tannenaufwuchs grundsätzlich nicht zwingend Negatives verheissen. Wie im Kapitel 4.2.1 ersichtlich, sind Tannenkeimlinge in den Untersuchungsgebieten sehr zahlreich. Überlebte auch nur ein Prozentsatz davon, wäre es immer noch eine grosse Anzahl Keimlinge, die zu Jungtannen aufwachsen könnte. Die unausgeglichene Verteilung der Baumhöhen (Abb. 18) dieser und der vorangegangenen Arbeiten zeigt jedoch, dass eine grosse Mehrheit der Keimlinge nicht zu Tannen aufwachsen kann. Dadurch, dass das Wild durch Verbiss negativ auf die Tannenverjüngung einwirkt, wird davon ausgegangen, dass auch Keimlingsverbiss in diesem Gebiet ein Thema ist. Für eine abrundende Beurteilung der Korrelation wäre es sinnvoll, die Berechnungen über weitere Jahre fortzuführen.

Die Verbissdaten weisen darauf hin, dass der Höhenverlust zum grössten Teil auf Wildverbiss zurückzuführen ist. Bei einem kleinen Teil der Bäume wurde die Baumkrone jedoch durch andere Einflüsse abgebrochen. Oft wurde auch beobachtet, dass die obersten Triebe der Tanne abgestorben sind und der Baum nur an unteren Trieben neue Knospen ausbilden konnte. Es wird angenommen, dass der Verbiss an Weisstannen vorwiegend im Winter stattfindet, da sich der Rothirsch während der Vegetationsperiode von Kräutern, Gräsern und Sträuchern ernährt und nur bei Schneelage zusätzlich auf Bäume und zurückgreift (Schütz M., Filli F. & Risch A. C., 2012).

Der Wildverbiss an sich stellt kein Problem dar, solange er in tragbarem Mass stattfindet und die Waldentwicklung langfristig nicht beeinträchtigt wird (Luca Plozza, mündliche Mitteilung). Wildverbiss verhilft zu einer natürlichen Artenvielfalt und Durchmischung der Altersstruktur: «Nicht jeder vom Wild verbissene Zweig bedeutet Schaden für den Baum und nicht jeder vom Wild geschädigte Baum bedeutet Schaden für den Waldbestand» (Reimoser & Gossow, 1996). Reimoser (2000b) beschreibt sogar, dass durch stark selektiven Verbiss verbissbeliebter Baumarten das Aufkommen derer gefördert werden kann: Wird die Keimlingszahl verbissbeliebter Arten, wie der Weisstanne durch Verbiss stark dezimiert, hält sich das Wild aufgrund Mangel an Nahrungspflanzen nicht mehr an diesen Standorten auf, wodurch der Verbissdruck abnimmt und die zuvor stark mangelhaften Arten wieder aufkommen können. Ausserdem fungieren Huftiere als Samenverbreiter und tragen auch dank ihrer zum Teil grossen Habitatfläche zur Verbreitung der Weisstanne bei (Danell et al., 2002). Dass der Wildverbiss im Gebiet Misox jedoch ein tragbares Mass überschritten hat, zeigt die starke Abnahme der Tannen im Aufwuchs innerhalb dreier Jahre. Durch einen derartigen Verbiss wird die Waldverjüngung langfristig beeinflusst und im Falle mangelnder Weisstannen beeinträchtigt. Die Schutzfunktionen des Waldes können nicht mehr eingehalten werden, es kommt zu Schäden.

Besonders gravierende Folgen für die Tannenverjüngung hat der Verbiss am Terminaltrieb. Ob sich die Tanne in gemischten Verjüngungen durchsetzen kann, hängt stark vom Anteil verbissener Terminaltriebe ab (Frank & Büchsenmeister, 2016): Wird der Gipfeltrieb verbissen, kann die Tanne nur aus dem darunterliegenden Astquirl austreiben, und liegt somit im Konkurrenzkampf wichtigen Höhenwachstum zurück. Geschieht der Verbiss mehrmals nacheinander, wird die Tanne von unverbissenen Nachbarbäumen überwachsen und fällt aus. Laut Frank & Büchsenmeister (2016) und Rüegg & Schwitter (2002) reichen schon eine geringe Zunahme der Verbissintensität oder 12 – 15 Verbissprozent zum Ausfall von Tannen in gemischten Verjüngungen. Die Verbissprozent der gemessenen Tannen liegen deutlich über dem Wert von 12 – 15 %, woraus gefolgert wird, dass der Bestand an Tannen in der Verjüngungsstufe in den folgenden Jahren deutlich abnehmen wird. Anders als in Eiberle (1989), wurde bei der Berechnung der Verbissintensität als Gesamtpflanzenzahl die Anzahl vorhandener Tannen in die Berechnung miteinbezogen, was zu höheren Intensitätszahlen führen kann.

5.2.2 Massnahmen

Durch die stark angestiegene Zahl an Keimlingen wird der Schluss gezogen, dass Potential für einen gut durchmischten Tannen-Buchen-Wald oder Tannen-Fichten durchaus besteht, vorausgesetzt, die

beeinflussbaren Parameter wie Wilddruck oder Waldpflege werden adäquat angepasst und ausgeführt.

Damit eine stabile gemischte Verjüngung entstehen kann ist demnach darauf zu achten, dass insbesondere Gipfeltriebe nicht verbissen werden können. Hat es genügend Tannen, die die Reichweite des Wildes überwachsen haben, wird die Waldentwicklung durch Verbiss an kleineren Bäumen derselben Art kaum mehr gestört (Reimoser, 2000a). Es ist jedoch darauf zu achten, dass der Bestand verschiedene Altersstrukturen beinhaltet und gute Bedingungen geschaffen werden, damit ausreichend Tannenverjüngung nachwachsen kann. Auch zu viel Licht kann das Höhenwachstum nach Verbiss beeinträchtigen, da es zu stärkerer Konkurrenz mit anderen Arten führt. Damit eine Tannenverjüngung erfolgreich ist, braucht es leichte Beschattung (Kupferschmid et al., 2014). So ist es für die Tanne eher nicht förderlich, wenn sie in offenen Schneisen wächst, weil zum einen der Verbissdruck an diesen Standorten grösser ist, andererseits weil es dort zu wenig Beschattung gibt und der Konkurrenzdruck durch andere, lichtliebende Baumarten, zu gross ist. In den Erhebungen dieser Arbeit wurden die meisten Tannen jedoch an lichten Standorten ausgemacht, was den Resultaten aus vorherigen Studien widerspricht. Da es sich dabei jedoch vorwiegend um kleine Tannen unter 50 cm handelte und in Anbetracht der Baumhöhenverteilung wird erwartet, dass sich diese Tannen nicht langfristig etablieren können. Unpassende waldbauliche Behandlung durch Missachtung der Wuchseigenschaften der Tanne und ungenügende Verjüngung, sowie selektiver Verbiss durch Schalenwild aufgrund zu hoher Wildbestände sind Gründe für den starken Rückgang der Tannen (Frank & Büchsenmeister, 2016; Senn, Häsler, Brang, & Zingg, 2007). Um den grossräumigen Verbiss im Misox einzudämmen könnte es hilfreich sein, dem Wild durch waldpflegerische Massnahmen lichte Freihalteflächen innerhalb des Waldes zur Verfügung zu stellen und sie damit bewusst an diese Stellen zu lenken. Gleichzeitig soll die Weisstanne in schattigeren Bereichen, die das Wild zum fressen eher weniger aufsucht (Robin et al., 2017), gefördert werden. Die Durchführbarkeit dieser Massnahme ist in steilen Schutzwaldgebieten jedoch heikel, da bei grossen Lücken im Bestand die Schutzwirkung des Waldes nicht mehr funktioniert. Anstelle von grösseren Äsungflächen könnten Bejagungsschneisen erstellt werden, die mit den Ansprüchen des Schutzwaldes eher vereinbar sind. Diese werden trichterförmig angelegt und ermöglichen effiziente Bejagung und Austreten des Wildes (Baumann et al., 2010). Strukturierte Waldränder leiten das Wild an den Übergang zu offenen Kulturflächen und bieten Äsung (Baumann et al., 2010).

Die Erhebung von Verbiss ist stets eine Momentaufnahme, die von unterschiedlichsten Faktoren beeinflusst wird. Die ökologischen und planerischen Prozesse eines Waldes und dessen Verjüngung erstrecken sich jedoch über einen Zeitraum von Jahrzehnten (Frank & Büchsenmeister, 2016). Es ist daher wichtig, den langfristigen Verlauf der Wald- und Wildentwicklung zu überwachen. Die Weiterführung in regelmässigen Abständen der vor drei Jahren gestarteten Untersuchungsreihe im Gebiet des Misox ist sinnvoll, um eine ausführliche Datenreihe über die weitere Entwicklung zu erhalten.

Nur mit Kenntnis über die Waldverjüngung, deren Probleme und Ursachen davon kann ein langfristiger Pflegeplan und somit stabiler Schutzwald geboten werden. Um zu starkem Verbiss entgegen zu wirken und somit ein gesundes Gleichgewicht zu schaffen, müssen Wildbestände langfristig reguliert werden. In Anbetracht der hohen und ansteigenden Bestandeszahlen des Hirschwildes, kann eine Aufhebung oder Lockerung des eidgenössischen Jagdbanangebiets Trescolmen in Erwägung gezogen werden. Zur Regulation von Wild tragen die Jagd und Grossraubtiere, aber auch natürliche Selektion und Krankheiten bei. Wird die Abschussplanung während der Hochjagd nicht erreicht, wird eine Sonderjagd einberufen. Ziel der Jagd ist es, die Schäden auf ein tragbares Mass zu begrenzen (Art. 1; JSG, 1988), die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und die natürliche Verjüngung mit standortgemässen Baumarten sicherzustellen (Art. 3; JSG, 1988) und den Wildbestand so zu regeln, dass die Verjüngung mit standortgerechten Baumarten ohne Schutzmassnahmen gesichert ist (Art. 27; WaG, 1993). Im Misox werden die Gesetzesartikel gemäss Ergebnissen aus dieser Arbeit nicht eingehalten. So übersteigen die Schäden durch Wildverbiss klar ein tragbares Mass, die natürliche Verjüngung der an diesen Standort angepassten Weisstanne ist nicht sichergestellt. Im jetzigen Zustand ist eine Verjüngung ohne Schutzmassnahmen nicht weiter möglich.

5.3 Ausblick

Um einen umfassenden Blick auf die Verjüngungsproblematik im Misox zu bekommen ist es sinnvoll, die im Jahr 2016 gestartete Datenreihe in regelmässigen Abständen weiterzuführen und mit Bestandeszahlen der Hirsche in Verbindung zu bringen. Es wäre ausserdem sinnvoll, noch weitere Parameter in die Untersuchung miteinzubeziehen, um vollumfänglichere Daten zu erlangen. Exaktere Zählungen des Wildes im Gebiet, beispielsweise mithilfe von Wildkameras, könnten mehr Klarheit verschaffen.

Bis eine allfällige Regulation des Wildbestandes erreicht ist, können Einzelschutz oder Zäune Zwischenlösungen darstellen (Muck et al., 2008). Diese sind jedoch aufwändig zu erstellen und zu unterhalten. Grossräumig eingezäunte Gebiete können den Verbiss ausserhalb sogar noch weiter fördern (Baumann et al., 2010). Diese Massnahmen ersetzen eine angepasste Regulation des Wildes und angemessene waldbauliche Massnahmen nicht. Durch geschickte waldpflegerische Eingriffe können die Wanderungen und Einstandsgebiete des Hirsches gelenkt werden, sodass besonders wertvolle oder heikle Gebiete geschont werden.

Des Weiteren wäre es spannend herauszufinden, welche Begleitpflanzen den Tannenaufwuchs fördern. So gibt es gemäss Ewald (2004) mehrere Dutzend Arten, die positiv mit Tannenverjüngung auftreten. Mit Kenntnis davon könnten weitere Schritte in der Planung der Waldverjüngung unternommen werden.

Um in Zukunft ein ausgewogenes Gleichgewicht zu finden gilt es, einen bestmöglichen Konsens der verschiedenen Parteien zu finden, von welchem jeder im Gebiet Misox profitieren kann.

6 Schlussfolgerung

Die Zahl der in den permanenten Plots im Misox gezählten Tannen ist um 12 % tiefer als noch vor drei Jahren. Über die Hälfte der Tannen konnte in der Zeit zwischen 2016 und 2019 nicht an Höhe gewinnen, respektive hat an Höhe verloren. Keimlinge (Tannen unter 10 cm Höhe) sind in ausreichender Anzahl vorhanden, vor allem in Lostallo gibt es viele gesunde Mutterbäume in fortpflanzungsfähigem Alter. Dies zeigt, dass das Potenzial für einen gut durchmischten Wald mit stabilem Tannenanteil in den beiden Untersuchungsgebieten besteht. Die Baumhöhenverteilung zeigt jedoch ein unbefriedigendes Bild: Tannen unter 50 cm Höhe sind, wie auch schon in ersten Untersuchungen im Jahr 2016, ausreichend vorhanden, die wenigsten schaffen es jedoch, in die Höhe zu wachsen. Durch die fehlende Verjüngung können die Schutzfunktionen des Waldes nicht gewährleistet werden.

Die Anzahl verbissener Tannen, die Verbissstärke, sowie die Verbissintensität ist innerhalb der drei Jahre seit 2016 angestiegen. Die Verbissintensität liegt deutlich über dem kritischen Wert. Seit 2016 ist der Rothirschbestand tendenziell leicht angestiegen, wodurch sich der verstärkte Verbiss innerhalb der letzten Jahre erklären lässt.

Standortparameter wie der Kronenschlussgrad, die Streudicke, Sonnenstunden oder Bodenvegetation haben auf das Tannen- und Keimlingswachstum keine direkten signifikanten Einflüsse. Einen Einfluss darauf, ob die Tannen verbissen werden oder nicht, hat die Bodenvegetation: Tannen, die auf mittelhoher Vegetation wachsen, werden häufiger und stärker verbissen. Dies entspricht auch Plots mit eher lichterem Bestand, wo Gämsen und Hirsche sich vorwiegend zum äsen aufhalten. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass sich die Bodenvegetation über den Aufenthaltsort des Wildes indirekt auf den Verbiss auswirkt. Besteht ein Mangel an alternativer Nahrung, wie Kräuter und Gräser, auf offenem Grünland, führt dies zu Übernutzung der Waldvegetation.

Die Zahl an signifikanten Daten aus der statistischen Berechnung lässt darauf schliessen, dass der Wildverbiss den grössten Einfluss auf die spärliche Tannenverjüngung hat. Der verstärkte Verbiss findet aufgrund Mangel an alternativer Nahrung und Bejagung durch Jäger oder Raubtiere statt.

Das deutliche Überschreiten der Grenzwerte der Verbissintensität, sowie die Abnahme der Tannen im Aufwuchs zeigen, dass der Wildverbiss im Misox ein tragbares Mass überschritten hat. Werden Wilddruck und die Waldpflege nicht adäquat angepasst, entwickelt sich dieser Trend in den nächsten Jahren verstärkt. Die Tannenverjüngung wird sich in den nächsten Jahren weiter verkleinern und trotz ausreichend Keimlingen nicht halten können.

Freihalteflächen oder Bejagungsschneisen innerhalb des Waldes könnten den Verbiss im Misox eindämmen, indem das Wild auf die lichten Flächen geleitet wird. Währenddessen soll die Weis-

stanne in schattigeren Bereichen, die nicht bevorzugter Äsungsplatz des Wildes sind, gefördert werden. Es ist zudem unerlässlich, den Wilddruck über die Jagd oder das Zulassen von grösseren Raubtieren zu minimieren.

Für ein der Langlebigkeit des Waldes entsprechendes Management, sind langjährige Datenreihen zur Entwicklung der Waldverjüngung und Wildzahlen unerlässlich. Aufgrund dessen wird empfohlen, die Erhebungen auf den permanenten Plots in regelmässigen Abständen weiterzuführen.

7 Literatur

- Amt für Jagd und Fischerei, Kanton Graubünden (2019). *Datenreihe Wildbestand Misox 2010-2019, unveröffentlicht.*
- Baumann, M., Brang, P., Burger, T., Eyholzer, R., Herzog, S., Imesch, N., Kupferschmid, A., Rüegg, D. & Wehrli, A. (2010). Wald und Wild – Grundlagen für die Praxis. Wissenschaftliche und methodische Grundlagen zum integralen Management von Reh, Gämse, Rothirsch und ihrem Lebensraum. *Umwelt-Wissen*, 1013. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU
- Bebi, P., Conedera, M., Senn J. & Ramstein, L. (2016). *Schlussbericht zum Projekt Tannenverjüngung im Misox und Calancatal.*
- Brändli, U.-B. (1998). Die häufigsten Waldbäume der Schweiz. Ergebnisse aus dem Landesforstinventar 1983-85: Verbreitung, Standort und Häufigkeit von 30 Baumarten. *Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft: Vol. 342 (2. Ausgabe)*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- Bundesgesetz über den Wald (WaG). (1991). *SR 921.0* (Stand am 1. Januar 2017).
- Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (JSG). (1986). *SR 922.0* (Stand am 1. Mai 2017).
- Canham, C. D., Mcaninch, J. B. & Wood, D. M. (1993). Effects of the frequency, timing, and intensity of simulated browsing on growth and mortality of tree seedlings. *Institute of Ecosystem Studies*, 24, S. 817-825.
- Conedera, M., Colombaroli, D., Tinner, W., Krebs, P. & Whitlock, C. (2017). Insights about past forest dynamics as a tool for present and future forest management in Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 388, S. 100-112.
- Danell, K., Bergström, R., Edenius, L. & Ericsson, G. (2003). Ungulates as drivers of tree population dynamics at module and genet levels. *Forest Ecology and Management*, 181(1-2), S. 67-76.
- Eiberle, K. & Nigg, H. (1987). Criteria for permissible browse impact on sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*) in mountain forests. *Institute of Forest and Wood Research of the Swiss Federal Institute of Technology (ETH)*, 43(2), S. 127-133.
- Eiberle, K. (1989). Über den Einfluss des Wildverbisses auf die Mortalität von jungen Waldbäumen in der oberen Montanstufe. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 140(12), S. 1031-1042.

- ETH Zürich (2002). Mitteleuropäische Waldbaumarten – Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz. *Professur für Waldbau und Professur für Forstschutz und Dendrologie der ETH Zürich* (2. Auflage). Zürich: ETH Zürich
- Ewald, J. (2004). Ökologie der Weisstanne (*Abies alba Mill.*) im bayerischen Alpenraum. *An Electronical Journal of Geobotanical Research*, 1(2004), S. 9-18.
- Frank, G. & Büchsenmeister, R. (2016). Paläoökologie sieht Zukunft in der Weisstanne. *BFW-Praxisinformation*, 41-2016, S. 24-28.
- Frehner, M., Wasser, B. & Schwitter, R. (2005). Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald: Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: BUWAL.
- Haller, H. & Jenny, H. (2013). Rothirsch und Jagd – wie mehr Waldasyle die Hochjagdstrecken erhöhen. *Atlas des Schweizerischen Nationalparks. Die ersten 100 Jahre. Nationalparkforschung in der Schweiz*. S. 75-76. Bern: Haupt.
- Kupferschmid, A. & Brang, P. (2010). Praxisrelevante Grundlagen: Zusammenspiel zwischen Wild und Wald. *Wald und Wild – Grundlagen für die Praxis. Wissenschaftliche und methodische Grundlagen zum integralen Management von Reh, Gämse, Rothirsch und ihrem Lebensraum*. S. 9-39. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Kupferschmid, A., Wasem, U. & Bugmann, H. (2014). Wie reagiert die Weisstanne nach Verbiss? *Wald und Holz*, 95(4), S. 23-26.
- Leibundgut, H. (1991). Unsere Waldbäume, Eigenschaften und Leben (2. Auflage). Bern: Haupt.
- Mayer, H. (1973). Möglichkeiten und Grenzen der Schalenwildhege im Gebirgswald. *Zeitschrift des Schweizerischen Forstvereins*, 52, S. 90-118.
- Meile, P., Boschi, C. & Sommerhalder, R. (2001). Strategie Wald und Wild für den Kanton Appenzell Ausserrhoden. Grundlagen zu einem kantonalen Konzept zur Verhütung von Wildschäden und zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Wildtiere. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 152(8), S. 350-365.
- Millard, P., Hester, A., Wendler, R. & Baillie, G. (2001). Interspecific defoliation responses on sites of winter nitrogen storage. *Functional Ecology*, 15(4), S. 535-543.
- Muck, P., Borchert, H., Elling, W., Hahn, J., Immler, T., Konnert, M., Walentowski, H. & Walter, A. (2008). Die Weisstanne – ein Baum mit Zukunft. *Wald – Wissenschaft – Praxis*, (67), S. 56-58.
- Ramstein, L. (2016). Tannenverjüngung (*Abies alba*) im Misox und Calancatal. *Bachelorarbeit*, unveröffentlicht.

- Ramstein, L., Rechsteiner, C., Conedera, M. & Bebi, P. (2016). Bericht über die Feldarbeiten Mai/Juni 2016 innerhalb des Projektes Tannenverjüngung Misox. Davos/Cadenazzo: WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung/Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- Reimoser, F. (2000a). Anmerkung zur Feststellung von Wildverbiss und zum Vergleich von Verbisskennzahlen. *European Journal of Wildlife Research*, 46(1), S. 51-56.
- Reimoser, F. (2000b). Schalenwildeinfluss auf die Waldvegetation: Wildschaden oder Wildnutzen? *Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)*, 24(2000), S. 97-104.
- Reimoser, F. & Gossow, H. (1996). Impact of ungulates on forest vegetation and its dependence on the silvicultural system. *Forest Ecology and Management*, 88(1), S. 107-119.
- Robin, K., Graf, R. & Schnidrig, R. (2017). Wildtiermanagement – Eine Einführung (1. Ausgabe). Bern: Haupt.
- Rüegg, D. & Schwitter, R. (2002). Untersuchungen über die Entwicklung der Verjüngung und des Verbisses im Vivian-Sturmgebiet Pfäfers. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 153(4), S. 130-139.
- Schütz M., Filli F. & Risch A. C. (2012). Zwei unterschiedliche Speisekarten: Sommer- und Winter-nahrung. *Cratschla*, 2012/2. S. 4-5.
- Schwitter, R. & Herrmann, B. (2000). Die Weisstanne ist das Rückgrat vieler Wald-Ökosysteme. *Faktenblatt Weisstanne, Fachstelle für Gebirgswaldpflege*, S. 1-4.
- Senn, J., Häsler, H., Brang, P. & Zingg, A. (2007). Verbiss der Weisstanne durch Huftiere. Vom Kleinstandort beeinflusst. *Wald und Holz*, 88(1), S. 39-41.
- Stierlin, H.-R., Gordon, R. & Hassler-Schwarz, J. (2000). Aufnahmeanleitung LFI 2. Chur: Amt für Wald Graubünden.
- Wohlgemuth, T., Nussbaumer, A., Burkart, A., Moritzi, M., Wasem, U. & Moser, B. (2017). Muster und treibende Kräfte der Samenproduktion bei Waldbäumen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 167(6), S. 316-323.

Internetquellen

Graubünden Interaktive Karten (2012). Geoportal der kantonalen Verwaltung Graubünden. Abgerufen am 27. August 2019 von

http://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Schutzwald

Graubünden Interaktive Karten (2016). Geoportal der kantonalen Verwaltung Graubünden. Abgerufen am 27. August 2019 von

http://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Basisinformationen

Info Flora (2019). *Abies alba* – Art Info. Abgerufen am 27. August 2019 von

<https://www.infoflora.ch/de/flora/abies-alba.html>

Meteo Schweiz (2019). *Jahresverlauf an Stationen*. Abgerufen am 9. August 2019 von

https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/jahresverlauf-an-stationen.html?station=sbe&filters=2016_2016

Schweizerisches Landesforstinventar (2018). *Weisstanne (Abies alba)*. Abgerufen am 22. August 2019 von

<https://www.lfi.ch/resultate/baumarten/verbreitung.php?speclid=11>

Swiss Geoportal (2012). Karten der Schweiz. Abgerufen am 1. September 2019 von

<https://map.geo.admin.ch>

Swiss Geoportal (2015). Karten der Schweiz. Abgerufen am 1. September 2019 von

<https://map.geo.admin.ch>

Swiss Geoportal (2019). Karten der Schweiz. Abgerufen am 29. August von

<https://map.geo.admin.ch>

Swiss Geoportal (2019). Karten der Schweiz. Abgerufen am 16. September von

https://map.geo.admin.ch/?lang=de&topic=ech&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.swisstopo.zeitreihen,ch.bfs.gebaeude_wohnungen_register,ch.bav.haltestellen-oev,ch.swisstopo.swisstlm3d-wanderwege,KML%7C%7Chttps:%2F%2Fpublic.geo.admin.ch%2FVzLm8XcSQVCtKDpjhLqiwQ&layers_visibility=false,false,false,false,true&layers_timestamp=18641231,...&E=2736420.24&N=1136819.71&zoom=10, verändert

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Plots im Untersuchungsgebiet Lostallo. Kartenquelle: map.geo.admin.ch, verändert.....	12
Abb. 2: Plots im Untersuchungsgebiet Soazza. Kartenquelle: map.geo.admin.ch, verändert	12
Abb. 3: Anzahl gemessener Tannen im Plot mit Radius 5 Meter, je nach Untersuchungsgebiet. Die Anzahl unterscheidet sich nicht signifikant nach Standort ($p = 0.5223$), der Median liegt jeweils bei 3.	17
Abb. 4: Anzahl gemessener Keimlinge je nach Untersuchungsgebiet. Mit durchschnittlich 63.5 Keimlingen pro Plot überstieg die Zahl der Keimlinge in Lostallo jene in Soazza (4.7) deutlich...	18
Abb. 5: Anzahl Keimlinge auf Plots mit unterschiedlichen Streudicken. Auf Plots ohne Streu sind am meisten Keimlinge gewachsen.....	18
Abb. 6: Keimlingswachstum auf Plots mit unterschiedlich dicker Humusschicht. Die grösste Zahl an Keimlingen wuchs auf Plots ohne Humus.	18
Abb. 7: Einfluss der Bodenvegetations-Höhe auf die Verbissstufe nach Kupferschmid. Bodenvegetation mittlerer Höhe (2) führte am meisten zu starkem Verbiss. (Höhe Bodenvegetation: 0: keine Vegetation; 1: 1-10 cm; 2: 11-30 cm; 3: 31-50 cm; 4: > 50 cm. Verbissklasse: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark(.....	20
Abb. 8: Der Einfluss der Bodenvegetations-Höhe auf den Gipfelverbiss zeigte ein ähnliches Muster wie auf die Verbissklasse nach Kupferschmid. Vegetation der Höhe 11-30 cm fördert den Verbiss. (Bodenvegetation: 1: 1-10 cm; 2: 11-30 cm; 3: 31-50 cm; 4: > 50 cm. Gipfelverbiss: 0: nicht verbissen; 1: verbissen)	20
Abb. 9: Welcher Flächenanteil eines Plots mit Vegetation bedeckt ist, hatte signifikante Auswirkungen auf den Verbiss. Deckungsgrad 2 vermochte Verbiss am stärksten zu verhindern. (Deckungsgrade: 0: keine; 1: 1-33 %; 2: 34-66 %; 3: > 66 %. Verbissklassen: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark).....	20
Abb. 10: Auf Plots ohne Bodenvegetation wurden die Gipfeltriebe am wenigsten verbissen. (Deckungsgrade: 0: keine; 1: 1-33 %; 2: 34-66 %; 3: > 66 %. Gipfelverbiss: 0: nicht verbissen; 1: verbissen)	20
Abb. 11: Ein aufgelöster Kronenschlussgrad fördert den starken Verbiss am meisten. Räumige Bestände werden zum Äsen am wenigsten aufgesucht. (Kronenschlussgrade: 2: normal; 3: locker; 4: räumig; 5: aufgelöst. Verbissklassen: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)	21

Abb. 12: Nebst starkem Verbiss, geschieht Gipfelverbiss geschieht vorwiegend an aufgelösten Kronenschlussgraden. (Kronenschlussgrade: 2: normal; 3: locker; 4: räumig; 5: aufgelöst. Gipfelverbiss: 0: nicht verbissen; 1: verbissen)	21
Abb. 13: Verbissstärke je nach unterschiedlicher Baumhöhe. Der Einfluss der Baumhöhe auf die Verbissklasse war nicht signifikant. (Verbissklassen: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark)	22
Abb. 14: Bilanz der zweifach gemessenen Tannen in den Jahren 2016 und 2019.....	23
Abb. 15: Korrelation der Keimlinge 2016 und aller Tannen von 2019. Die Spearman- Korrelation war mit 0.28 klein.....	24
Abb. 16: Korrelation der Keimlinge von 2016 und der Bäume ≤ 15 cm. Die Korrelation ist negativ (-0.346).	24
Abb. 17: Zu-, resp. Abnahme der Baum- und Keimlingszahlen zwischen 2016 und 2019.	24
Abb. 18: Baumhöhenverteilung 2019	25
Abb. 19: Baumhöhenverteilung 2016 (Ramstein, 2016)	25
Abb. 20: Die durchschnittliche Höhe der gemessenen Tannen lag 2016 leicht höher als im Jahr 2019 (50.8 cm / 45.8 cm).....	25
Abb. 21: Wachstumsveränderung der übereinstimmenden Tannen. Über die Hälfte der Bäume konnte nicht an Höhe gewinnen.	26
Abb. 22: Gipfelverbiss und starker Verbiss führte zu negativem Zuwachs. Tannen, die nicht verbissen wurden, konnten positiv in die Höhe wachsen.....	26
Abb. 23: Der Plot zeigt die Anzahl Keimlinge in beiden Untersuchungsgebieten im Jahr 2016 und im Jahr 2019.....	26
Abb. 24: Häufigkeiten der Verbissklassen nach Kupferschmid. Als Grundlagen dienen alle im Jahr 2016, bzw. 2019 gemessenen Weisstannen. (Verbissklasse: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark).....	27
Abb. 25: Häufigkeiten der Verbissklassen nach Kupferschmid. Datengrundlage hierfür sind jene Weisstannen, die im Jahr 2016 und 2019 übereinstimmend waren. (Verbissklasse: 1: unverbissen; 2: schwach; 3: mittel; 4: stark).....	27
Abb. 26: Verbissintensität nach Eiberle. Die Tannen wurden im Jahr 2019 signifikant stärker verbissen als drei Jahre zuvor. Bei Plots ohne Balken wurden keine Tannen gefunden.....	28

Abb. 27: Bestandeszahlen des Rothirsches, des Rehs und der Gams der Jahre 2010-2019 im Gebiet Misox. (Amt für Jagd und Fischerei, Kt. GB, 2019)	35
Abb. 28: Plotstandorte in Lostallo.....	56
Abb. 29: Plotstandorte in Soazza	57

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Wichtigste aufgenommene Parameter, die sich potenziell auf die Tannenverjüngung auswirken, sowie deren Klassifizierung/Kategorisierung. Statische Parameter wie Exposition und Streudicke wurden nicht erneut erhoben.....	13
Tab. 2: Übersicht der p-Werte der Auswertung mit verschiedenen statistischen Tests. Signifikante Resultate sind farbig hinterlegt.....	29
Tab. 3: Auswahl der Standorts- und Waldstruktureigenschaften Lostallo und Soazza. Die erwähnten Werte sind jeweils Mittelwerte aus dem entsprechenden Gebiet.....	30
Tab. 4: Standortunterschiede der Tannen in Lostallo und Soazza. Die Werte sind jeweils Mittelwerte aus dem entsprechenden Gebiet.	30
Tab. 5: Keimlinge in Lostallo und Soazza, Jahr 2016 und 2019	31

Anhang

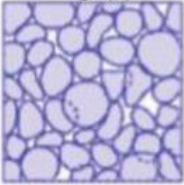
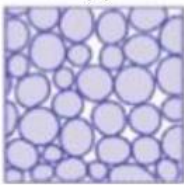
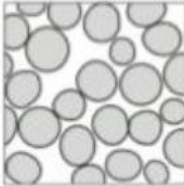
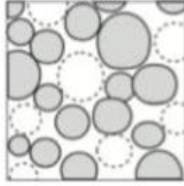
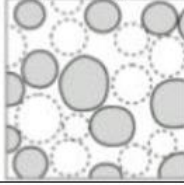
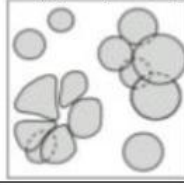
- 1 Feldprotokoll
- 2 Karten Untersuchungsgebiet
- 3 Selbständigkeitserklärung

1 **Feldprotokoll**

**Feldprotokoll Tannenverjüngung Misox
2019**

BearbeiterIn:		Datum:		
Plot Nr. / Foto Nr.:				
GPS Koordinaten Zentrum CH1903+	Y	X	Höhe [m ü. M.]	Genauigkeit [m]

Tannenkeimlinge [#]	0-90°	90-180°	180-270°	270-360°
Bodenvegetation Deckungsgrad	Keine (0)	1-33% (1)	34-66% (2)	> 66% (3)
Bodenvegetation Höhe	1-10 cm (1)	11-30 cm (2)	31-50 cm (3)	> 50 cm (4)

Kronenschlussgrad	
Gedrängt (1) 	Normal (2) 
Locker (3) 	Räumig (4) 
Aufgelöst (5) 	Gruppen gedrängt (6) 

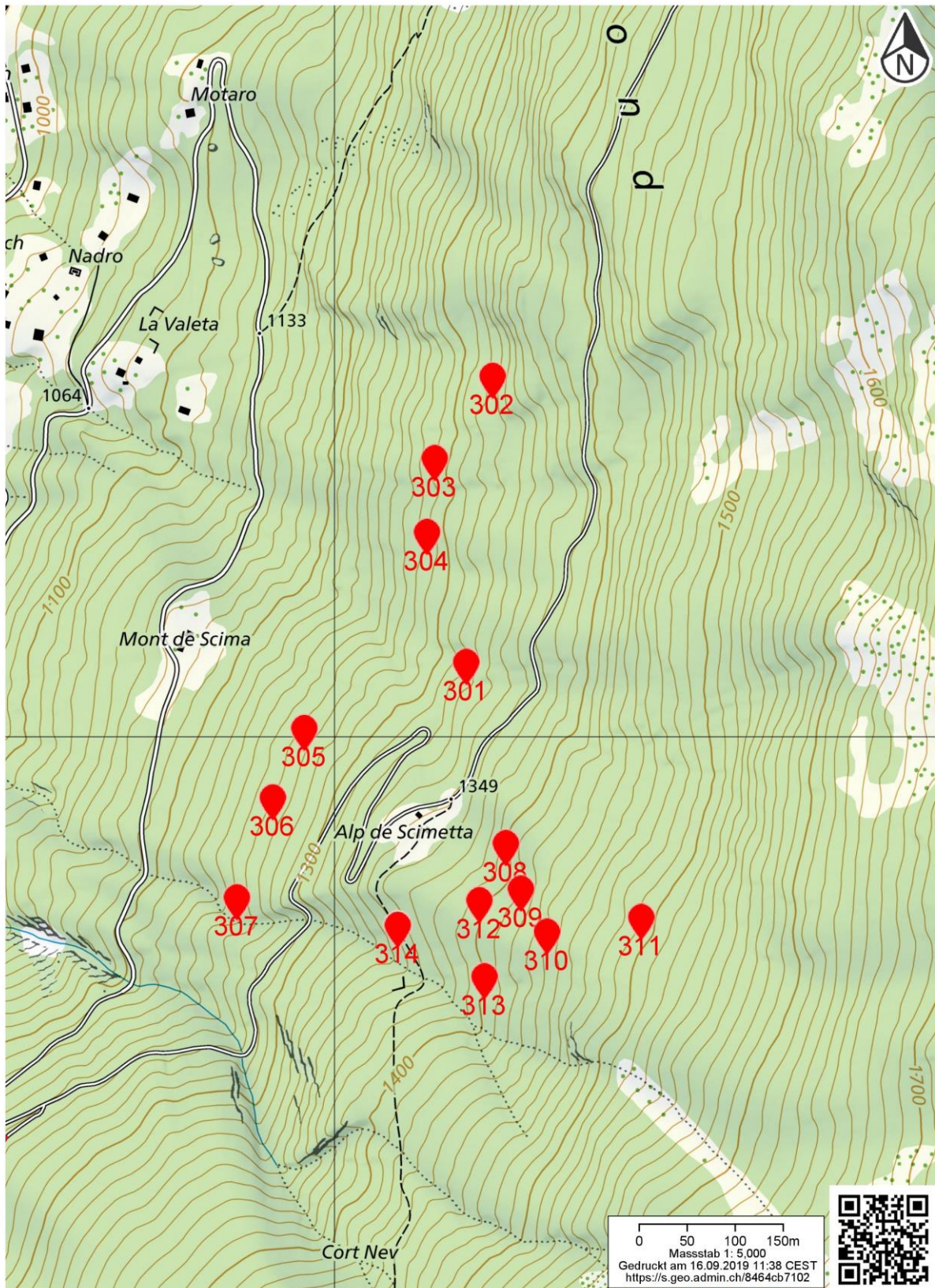
Bemerkungen zum Plot / grössere Veränderungen (z. B. Entfernen von grösseren Bäumen)?


Zu- stand Baum	Höhe [cm]	D [mm]	Abstand zu M [cm]	Azimut [°]	Verbiss- stärke [Kat. 1-4] Kupfersch mied	Gipfel- verbiss (ja/nein)	Überein- stimmung mit 2016?
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Letztjährige Endtrieblängen nächstgelegener Fichten und Tannen ums Zentrum (je 3) [cm]							
Fichten				Tannen			
Höhe Baum				Höhe Baum			

Verbisschäden an anderen Baumarten im Plot (bis 2 m Höhe)	
Baumart	Verbissstärke [Kat. 1-4]

2 Karten Untersuchungsgebiet



 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

www.geo.admin.ch ist ein Portal zur Einsicht von geolokalisierten Informationen, Daten und Diensten, die von öffentlichen Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden.
Haftung: Obwohl die Bundesbehörden mit aller Sorgfalt auf die Richtigkeit der veröffentlichten Informationen achten, kann hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit dieser Informationen keine Gewährleistung übernommen werden. Copyright.

Abb. 28: Plotstandorte in Lostalio

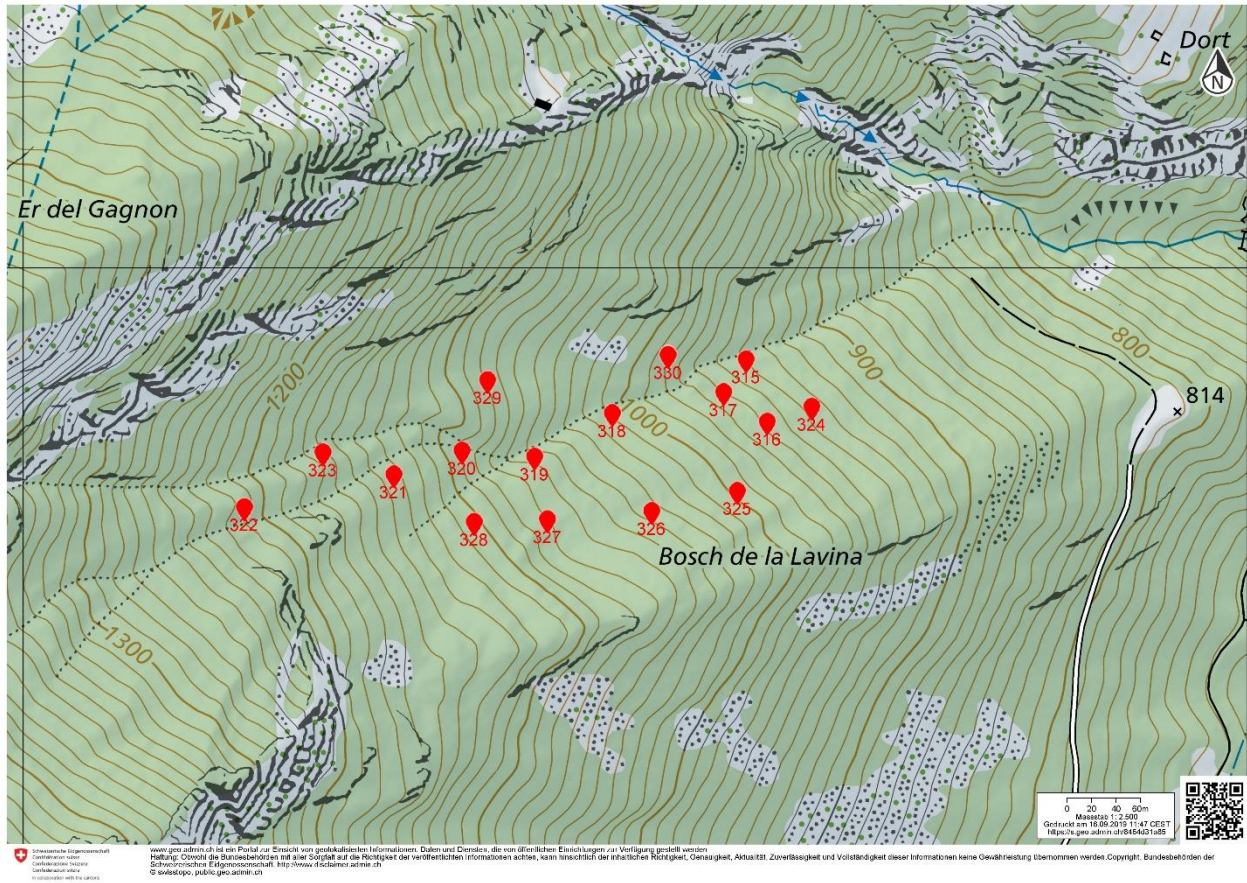


Abb. 29: Plotstandorte in Soazza

3 **Selbständigkeitserklärung**

Selbständigkeitserklärung

Erklärung betreffend das selbstständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert die Studierende, dass sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Wädenswil, 21. September 2019

Unterschrift:

A. Bareiss