

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT IUNR

Dynamik und Schutzwirkung der 50-jährigen Versuchsaufforstung Stillberg in Davos

Bachelorarbeit

von

Michelle Kobler

UI 22, Naturmanagement

08.01.2026

Fachkorrektoren:

Dr. Peter Bebi

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF,
Flüelastrasse 11, 7260 Davos

&

Dr. Johann Junghardt

ZHAW LSFM, Grüentalstrasse 14, 8820 Wädenswil

Impressum

Autorin

Michelle Kobler

Titelbild

Versuchsaufforstung Stillberg mit Blick auf das Dischma (Michelle Kobler 2025)

Schlagworte

Stillberg · Schutzwaldaufforstung · Lawinenschutz · Schutzwirksamkeit · Langzeitmonitoring · NaiS · LiDAR

Zitiervorschlag

Kobler, M. (2026). Dynamik und Schutzwirkung der 50-jährigen Versuchsaufforstung Stillberg in Davos. Bachelorarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Wädenswil. (unveröffentlicht)

Institut

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW
Life Sciences und Facility Management LFSM
Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen IUNR
Grüentalstrasse 14
8820 Wädenswil

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Versuchsaufforstung Stillberg im Dischma, einem Seitental von Davos. Im Jahr 1975 wurden dort die drei Baumarten *P. cembra*, *P. mugo* und *L. decidua* gepflanzt. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den Veränderungen dieser Arten zwischen 2015 und 2025 hinsichtlich ihrer Baumhöhe, ihres Durchmessers, der Schadensentwicklung sowie ihrer Schutzwirksamkeit gegen Lawinen. Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden zwei sich ergänzende Methoden eingesetzt: Die Auswertung von LiDAR-Daten aus den Befliegungen von 2015 und 2025 ermöglichte einen umfassenden Überblick über die Bestandesstruktur, während die aktuellen Feldaufnahmen aus 2025 sowie die Daten aus der Inventur 2015 detaillierte Informationen zu einzelnen Bäumen lieferten.

Die Ergebnisse zeigen, dass Baumhöhen und Durchmesser über alle Arten hinweg weiterhin zunahmen und sich für die Schutzwirksamkeit relevante Parameter wie Deckungsgrad, Stammzahlen pro Hektar und Anzahl schutzwirksamer Einzelbäume ebenfalls positiv entwickelten. Die im Jahr 2015 bestehenden Lücken, in denen Lawinenanrisse möglich wären, haben sich bis 2025 weitgehend geschlossen. *L. decidua* weist 2025 mit 50 % die höchste Überlebensrate der drei Bäume auf und übernimmt somit auch den grössten Anteil der Schutzfunktion. Von *P. cembra* leben lediglich noch 1.9 % der Bäume seit der Pflanzung, und von *P. mugo* 1.8 %. Während die Mortalität von *L. decidua* und *P. cembra* in den letzten 10 Jahren relativ gering blieb, wies *P. mugo* deutliche Verluste auf, vermutlich aufgrund eines bislang nicht eindeutig identifizierten Nadelschüttepilzes. 2025 trat die Lärchennadelschütte erstmals bei *L. decidua* in relevantem Ausmass auf, was die dynamische Natur der Schadensentwicklung verdeutlicht. Trotz der insgesamt positiven Entwicklung der Bäume und der damit einhergehenden Steigerung der Schutzwirksamkeit sind gewisse Bereiche, oft Muldenlagen, noch immer durch geringere Baumhöhen und Kronendeckung geprägt. Hier könnte die Schutzwirkung durch dauerhafte Verbauungen unterstützt werden, während die Förderung der natürlichen Verjüngung aufgrund der konkurrenzstarken Bodenvegetation durch Gras und Hochstauden anspruchsvoll bleibt.

Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen eine Einschätzung des aktuellen Zustands der Aufforstung, geben Aufschluss über potenziell notwendige Pflegemassnahmen und liefern zugleich Hinweise für die anstehende Überarbeitung des NaiS, die in Zusammenarbeit mit dem SLF erfolgt. Zudem geben sie Anhaltspunkte für die Praxis in vergleichbaren Schutzwäldern, insbesondere solchen mit laubwerfenden Baumarten. Insgesamt bestätigt die Arbeit die Schutzfunktion des Stillbergs, weist jedoch auf die Notwendigkeit fortlaufender Beobachtung und gezielter Managementmassnahmen hin, um die langfristige Bestandesstabilität und Schutzwirkung sicherzustellen.

Abstract

This study examines the Stillberg experimental reforestation project in Dischma, a side valley of Davos. In 1975, three tree species were planted there: *P. cembra*, *P. mugo* and *L. decidua*. This study focuses on the changes in these species between 2015 and 2025 in terms of tree height, diameter, damage development and their effectiveness in protecting against avalanches. Two complementary methods were used to answer the questions: The evaluation of LiDAR data from the 2015 and 2025 aerial surveys provided a comprehensive overview of the stand structure, while the current field surveys from 2025 and the data from the 2015 inventory provided detailed information on individual trees.

The results show that the tree heights and diameters of the species under consideration continued to increase and that parameters relevant to protective effectiveness, such as degree of coverage, number of stems per hectare and number of protective individual trees, also developed positively. The gaps in the reforestation, where avalanches could potentially start, have largely closed since 2015. *L. decidua* has the highest survival rate of the three trees at 50% in 2025 and thus also assumes the largest share of the protective function. Only 1.9% of *P. cembra* trees are still alive since planting, and 1.8% of *P. mugo* trees. While the mortality of *L. decidua* and *P. cembra* remained relatively low, *P. mugo* suffered significant losses, presumably due to a needle blight fungus that has not yet been clearly identified. The larch needle blight first appeared in significant numbers in *L. decidua* in 2025, illustrating the dynamic nature of the damage development. Despite the overall positive development of the trees and the associated increase in protective effectiveness, certain areas, often hollows, are still characterised by lower tree heights and crown cover. Here, the protective effect could be supported by permanent structures, while promoting natural regeneration remains challenging due to the highly competitive ground vegetation consisting of grass and tall shrubs.

The findings enable an assessment of the current state of the afforestation, provide information on potentially necessary maintenance measures and, at the same time, provide guidance for the upcoming revision of the NaiS, which is being carried out in collaboration with the SLF. They also provide guidance for practice in comparable protective forests, especially those with deciduous tree species. Overall, the work confirms the protective function of the Stillberg, but points to the need for ongoing observation and targeted management measures to ensure long-term stand stability and protective effect.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei all denjenigen bedanken, die mich während des Sommers am Stillberg und der anschliessenden Anfertigung meiner Arbeit unterstützt haben:

- Dr. Peter Bebi und Dr. Johann Junghardt für die kompetente und unkomplizierte Betreuung während meiner Arbeit
- Jamila Gisler für die gemeinsame Zeit am Stillberg, die stets hohe Motivation, das lösungsorientierte Vorgehen unter den anspruchsvollen Bedingungen der Feldarbeit und das offene Ohr bei allen Fragen
- Dem TREEm TEAM der Feldarbeit: Dr. Wouter Hantson, Viktoria Frank, Alyssa Ringgenberg, Loic Amrein, Ruben Zeitler, Zora van der Bie, Xenia Davide, und Noël Schneuwly welches sowohl bei Schnee als auch bei Sonnenschein die Stunden am Stillberg bereicherte und die Feldaufnahmen erst möglich machte
- Mauro Marty für die Aufbereitung der Daten aus den Feldaufnahmen und des Drohnenfluges
- Heidi und Peter Sutter für die gemütliche Wohnmöglichkeit während meines Aufenthaltes im Dischma
- Meinen Eltern für das Korrigieren und die Unterstützung
- Selina für das kritische Gegenlesen meiner Arbeit und der Unterstützung in allen Belangen

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Problemstellung	1
1.2.	Forschungsfragen.....	2
2.	Grundlagen	3
2.1.	Untersuchungsgebiet Stillberg	3
2.2.	Bisherige Entwicklungen am Stillberg.....	5
2.3.	Lawinengeschichte Stillberg	6
2.4.	Lawinenschutzfunktion des Waldes	7
3.	Material und Methoden.....	10
3.1.	LiDAR-Daten	10
3.2.	Feldaufnahmen 2025	11
3.3.	Schutzwirksamkeit	14
3.3.1.	Anforderungsprofile gemäss NaiS.....	14
3.3.2.	Deckungsgrad und Lücken gemäss NaiS (LiDAR).....	15
3.3.3.	Schneehöhen, schutzwirksame Einzelbäume und Stammzahlen pro Hektar (Feldaufnahmen)	16
4.	Resultate	18
4.1.	Vitalzustand der Bestandesbäume und Aufkommen der natürlichen Verjüngung	18
4.1.1.	Überleben und Mortalität der Bäume	18
4.1.2.	Natürliche Verjüngung.....	21
4.2.	Schadensentwicklung	22
4.3.	Durchmesser- und Höhenentwicklung	26
4.4.	Schutzwirksamkeit von Einzelbäumen gemäss Feldaufnahmen	28
4.5.	Schutzwirksamkeit und Baumwachstum gemäss LiDAR-Daten.....	31
4.5.1.	Deckungsgrad und Baumhöhen.....	31
4.5.2.	Kritische Lücken	32
5.	Diskussion	35
5.1.	Schadensdynamik	36
5.2.	Entwicklung der Bestandesbäume und der aufkommenden Verjüngung	37
5.3.	Entwicklung der Schutzwirksamkeit	39
6.	Schlussfolgerungen.....	42
	Literaturverzeichnis	43
	Abbildungsverzeichnis	46
	Tabellenverzeichnis.....	48
	Anhang	49
	Anhang A: Auswahlverfahren bei abgestorbenen Bäumen	49
	Anhang B: Aufnahmeprotokoll Feldaufnahmen 2025 mit Erläuterungen	50

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Die verheerenden Lawinenereignisse des Winters 1951/52 im Alpenraum waren der Auslöser für ein interdisziplinäres Forschungsprogramm zwischen der WSL (damals EAFV) und dem SLF zur Wiederherstellung der oberen Waldgrenze, das unter dem Namen Gebirgsprogramm bekannt wurde. Ziel dieses Programms war, biologisch und technisch geeignete sowie wirtschaftlich tragbare Verfahren für Aufforstungen in Lawinenanrissgebieten der «Wald- und Kampfzone¹» zu entwickeln (Schönenberger & Frey, 1988). Der Schwerpunkt der Feldarbeiten zu diesem Programm lag seit 1955 im Untersuchungsgebiet Stillberg im Dischma bei Davos (Senn & Schönenberger, 2001). Mit der systematischen Aufforstung dieses Gebietes 1975 durch 92'000 Arven (*Pinus cembra*), Bergföhren (*Pinus mugo* ssp. *Uncinata*) und Lärchen (*Larix decidua*) wurde der Grundstein für den Lawinenschutz gelegt. Seither dient die Fläche nebst ihrer Schutzfunktion als wichtige Versuchsfläche für zahlreiche Studien von Nährstoffexperimenten bis hin zu Untersuchungen zum Klimawandel (*Versuchsaufforstung Stillberg*, o. J.).

Gut gepflegte Wälder bieten in der Regel einen effektiven und kostengünstigen Schutz vor Naturgefahren und mindern oft das Risiko mehrerer Gefahren zugleich (Brang et al., 2006). Somit können Wälder, insbesondere gezielt gepflegte Schutzwälder, auch Lawinenanrisse wirksam verhindern. Ihre Schutzwirkung beruht auf der Interzeption² von Schnee in den Baumkronen, der Reduktion von Schwachschichtenbildung durch ein verändertes Bestandesklima sowie einer verminderten Schneeverfrachtung infolge geringerer Windbewegung. Zusätzlich wird die Schneedecke durch lebende Bäume und weitere Elemente der Bodenrauigkeit mechanisch stabilisiert. Der Kronendeckungsgrad und die maximale Lückenöffnung im Bestand sind daher auch zentral für die Schutzwirkung (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005; Schneebeli & Bebi, 2004).

Nicht jeder Wald, der potentiell Naturgefahrenrisiken reduzieren kann, wird jedoch als Schutzwald eingestuft: «Als Schutzwald gilt ein Wald, der ein anerkanntes Schadenpotenzial gegen eine bestehende Naturgefahr schützen oder die damit verbundenen Risiken reduzieren kann» (Bundesamt für Umwelt BAFU, 2025a). In der Schweiz ist rund ein Drittel der Fläche von Wald bedeckt, wovon 42 % Schutzwald sind gemäss dem Landesforstinventar 4³. Im Dischma, unterhalb des Stillberges, verläuft die Strasse Richtung Dürrboden, umgeben von (Wohn-)Häusern, die in den Gefahrenkategorien gelb bis rot für Lawinenrisiken eingestuft sind (*Geoportal Kanton Graubünden*, o. J.). Vor diesem Hintergrund erfüllt die Aufforstungsfläche zwar eine Schutzfunktion, da sie aber eine Schutzwald-Versuchsaufforstung ist, ist sie kein offizieller Schutzwald.

Die Versuchsaufforstung Stillberg wurde seit der Pflanzung eng begleitet, sodass für die letzten 50 Jahre, zu Beginn in engeren Abständen und seit 1995 alle 10 Jahre, Feldaufnahmen über die gesamte Fläche vorgenommen wurden. Dabei werden jeweils über alle Bäume hinweg der Überlebensstatus notiert und für 3 Bäume pro Einheitsfläche weitere Attribute wie unter anderem Höhe, Durchmesser und Schäden aufgenommen. 2025 stand erneut die umfängliche Bestandesaufnahme an, sodass jetzt die aktuellsten Daten über die Aufforstung bereitstehen. Ergänzend zu den Inventuren aus den Feldaufnahmen wurden vermehrt auch Daten mittels Fernerkundung erfasst, womit sich die Waldentwicklung mit geringem Aufwand flächendeckend erfassen und analysieren lässt (Brožová et al., 2020). Diese technischen

¹ Die Kampfzone meint die Fläche oberhalb der aktuellen Waldgrenze.

² Niederschlag, hier in Form von Schnee, der in den Baumkronen hängenbleibt und nicht direkt den Boden erreicht.

³ „Für die Definition des Schutzwalds LFI4 wurde die bundesweit einheitliche Walddefinition des LFI mit der bundesweit einheitlichen Schutzwalddefinition gemäss «SilvaProtect-CH» vereint“ (Brändli et al., 2020, p. 247).

Möglichkeiten ermöglichen es, Prozesse und Ergebnisse unterschiedlicher Naturgefahren zu erfassen und finden zunehmend auch Anwendung bei der Analyse der Schutzwirksamkeit von Wäldern (*Fernerkundung*, o. J.).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Aufarbeitung der Veränderungen über die letzten 10 Jahre und erweitert somit den bisherigen Wissensstand bezüglich der generellen Entwicklung des Bestandes sowie den daraus resultierenden Konsequenzen für die Schutzwirksamkeit gegenüber Lawinenanrissen. So werden die Feldaufnahmen aus 2015 und 2025 hinsichtlich der generellen Waldentwicklung ausgewertet und die für die Schutzwirksamkeit relevanten Parameter, insbesondere die Höhe untersucht. Ergänzend liefern LiDAR-Daten⁴ aus beiden Jahren flächendeckende Informationen, die vor allem zur Bestimmung des Deckungsgrades sowie zur Identifikation von Lücken in der Schutzwirksamkeit genutzt werden.

Die letzten publizierten Arbeiten, welche sich mit der Lawinenschutzwirksamkeit des Waldes auseinandersetzten, nutzten eigene Stichproben von 2010 (Dellagiovanna, 2011) und die Daten aus den wiederkehrenden Erhebungen bis 2015 (Piazza et al., 2024, 2025). Dellagiovanna untersuchte insbesondere den Einfluss der temporären Lawinenverbauung in Zusammenhang mit dem Wachstum und der Überlebensrate der Bäume. Darauf basierend wurden die damals schutzwirksamen Bäume identifiziert. Ebenfalls wurden Zukunftsszenarien für die Schutzwirksamkeit der Aufforstung gegenüber Lawinen für die Jahre 2015 und 2020 entwickelt. Diese deuteten darauf hin, dass bei sehr grossen Schneemengen bis 2020 noch keine umfassende Schutzwirkung erreicht werde. Piazzas Fokus lag auf der räumlichen Veränderung der Lawinenaktivität seit Beginn der Aufforstung, wobei sich gewisse Muldenlagen noch immer als kritische Anrissgebiete herausstellten.

1.2. Forschungsfragen

Auf der neuen Datengrundlage von 2025 erweitert die vorliegende Arbeit das Wissen über die Versuchsaufforstung Stillberg und setzt den aktuellen Zustand der Aufforstung in Bezug zu neueren Lawinenanrissen und der damit einhergehenden Schutzwirkung.

Anhand der Auswertung von LiDAR-Daten der Aufforstung aus 2015 und 2025 in Kombination mit Feldaufnahmen der beiden Jahre werden die folgenden Fragestellungen bearbeitet:

Fragestellung 1: Wie haben sich die Baumhöhen der drei 1975 am Stillberg gepflanzten Baumarten und andere für die Beurteilung der Bestandessicherung und Lawinenschutzwirkung relevanten Parameter in den letzten 10 Jahren verändert?

Hypothese 1: Es wird davon ausgegangen, dass die Baumhöhen und Durchmesser weiterhin zugenommen haben. Ebenfalls wird der Deckungsgrad sowie die Stammzahlen pro ha weiterhin angestiegen sein, während sich die Lücken verringerten. Diese Veränderungen wirken sich positiv auf die Lawinenschutzwirksamkeit aus. Es wird eine Zunahme der Verjüngung und keine starke Veränderung der Schadbilder erwartet.

⁴ LiDAR (Light Detection And Ranging) ist ein fernerkundliches Verfahren, bei dem mittels Laserimpulsen Informationen über die Erdoberfläche gewonnen werden.

Fragestellung 2: In welchen Bereichen der Aufforstungsfläche gibt es aufgrund der Aufnahmen noch Defizite bezüglich der Schutzwirkung und wie vergleichen sich diese Defizite mit früheren Einschätzungen?

Hypothese 2: Da besonders die Muldenlagen schon in früheren Studien als defizitäre Problemstellen identifiziert wurden, wird weiterhin davon ausgegangen, dass an diesen Standorten die Schutzwirkung noch immer nicht ganz erreicht wurde. Im Vergleich zu früheren Einschätzungen wird aufgrund des anhaltenden Baumwachstums jedoch von einer Verbesserung der Situation ausgegangen.

2. Grundlagen

2.1. Untersuchungsgebiet Stillberg

Bereits in den 1950er Jahren führten das WSL und das SLF ihr erstes gemeinsames Forschungsprogramm durch, um wirkungsvolle Aufforstungsstrategien in Lawinenanrissgebieten an der Waldgrenze zu entwickeln. Im Dischma, einem südöstlich ausgerichteten Seitental von Davos liegt auf einer Höhe von 2000 und 2300 m ü. M. der Stillberg, welcher im Rahmen des Projekts als zentrales Untersuchungsgebiet für die Aufforstungsversuche dient (Abbildung 1).

Übersichtskarte Stillberg im Dischma

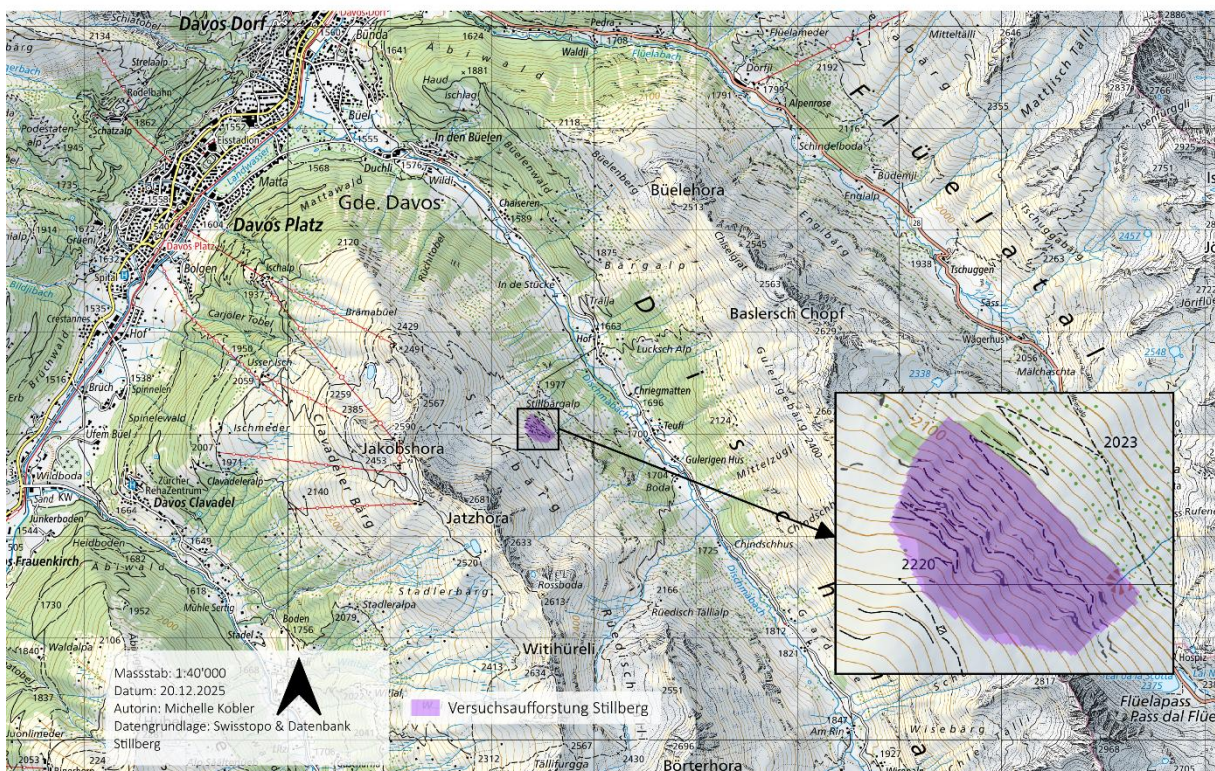


Abbildung 1: Übersichtskarte der Versuchsaufforstung Stillberg im Dischma bei Davos

Abbildung 2 zeigt die topografisch stark gegliederte Versuchsfläche, die eine nordöstliche Exposition aufweist und von markanten Mulden und Rippen durchzogen ist sowie die Neigungsklassen. Im oberen Teil der Aufforstung gibt es Bereiche, die relativ flach sind, während der Rest der Fläche teils hohe Neigungen aufweist. Die Versuchsfläche befindet sich unmittelbar oberhalb der heutigen Waldgrenze im Übergangsbereich zwischen dem Lärchen-Arvenwald und den inneralpinen Zwergstrauchgesellschaften (Schönenberger & Frey, 1988).

Topografie und Neigung der Einheitsflächen

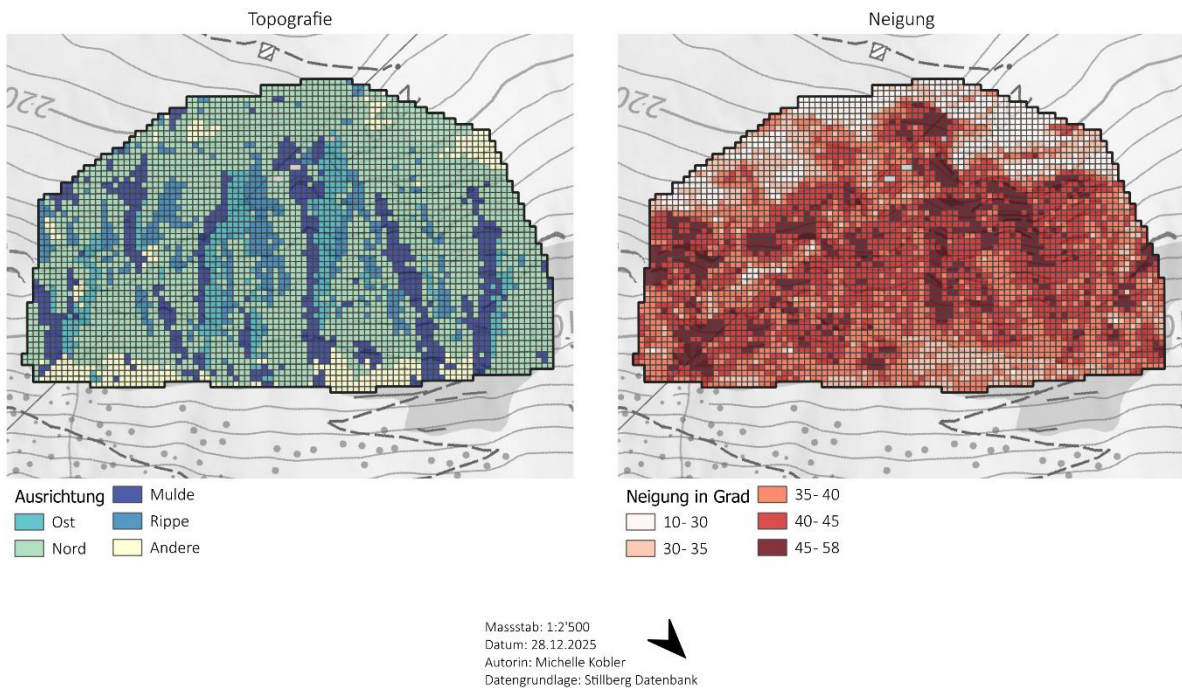


Abbildung 2: Topografie der Einheitsflächen am Stillberg mit verschiedenen Ausrichtungen und Hanglagen

1975 wurde auf einem Teil des Untersuchungsgebietes eine Fläche von 5 ha zwischen 2075 und 2230 m.ü.M. mit über 92'000 Bäumchen (*P. cembra*, *P. mugo ssp. uncinata*, *L. decidua*) systematisch bepflanzt. Dabei wurde die gesamte Aufforstungsfläche in 4052 Einheitsflächen von 3.5 x 3.5 m eingeteilt. Pro Einheitsfläche wurden anschliessend 25 Bäumchen einer Baumart mit jeweils 70 cm Abstand gepflanzt (Abbildung 3) (Barbeito et al., 2012; *Infrastruktur Stillberg*, o. J.; Schönenberger & Frey, 1988). Dadurch entstand ein regelmässiges Muster über die gesamte Aufforstungsfläche, in der sich die Baumarten der Einheitsflächen jeweils abwechseln, wie in Abbildung 4 ersichtlich. Zusätzlich zur Bepflanzung wurden ca. 30 % des Hanges mit temporären Lawinenverbauungen ergänzt, während die nordwestliche Seite unverbaut blieb (Bebi, Hagedorn, et al., 2009).

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

Abbildung 3: Pflanzanordnung der 25 Bäume innerhalb einer Einheitsfläche

Anordnung der Einheitsflächen und Topografie Stillberg

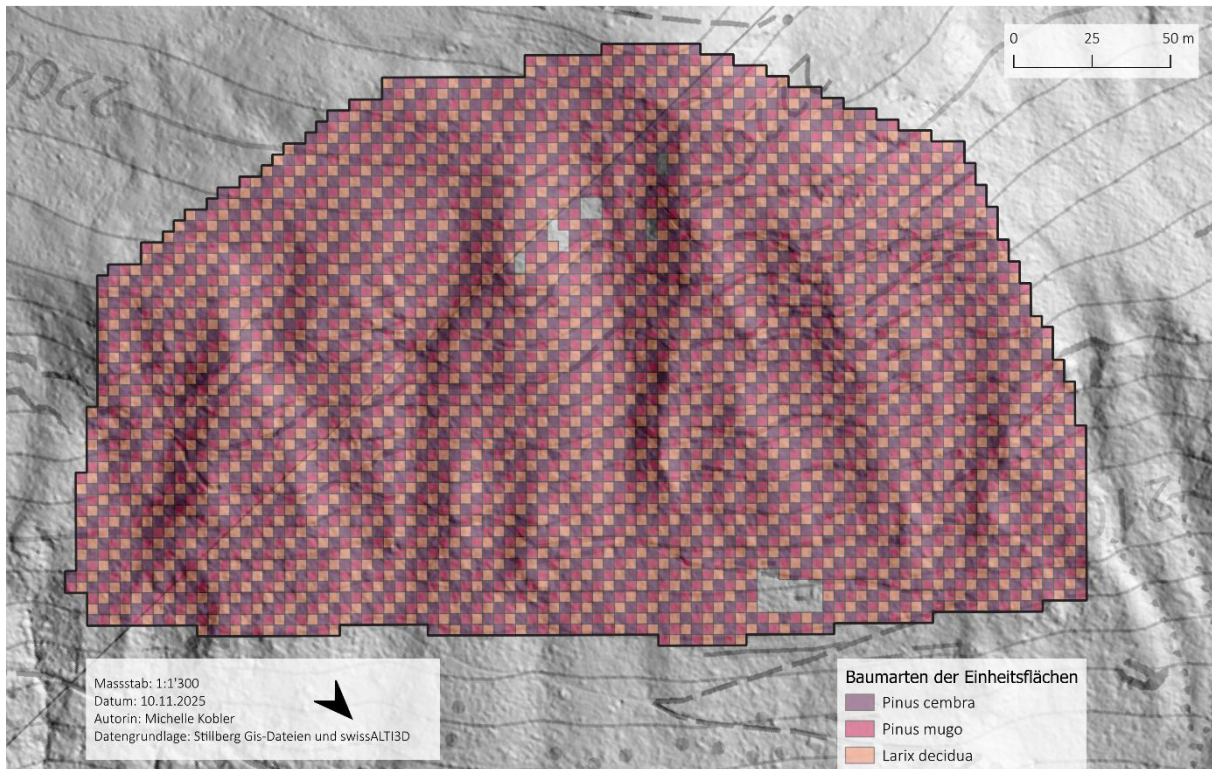


Abbildung 4: Anordnung der Einheitsflächen und Topografie Stillberg

Seit 1975 ist die Klimastation Stillberg innerhalb der Versuchsfläche auf 2090 m ü.M. in Betrieb, die eine Vielzahl an Parametern, unter anderem zu Niederschlag, Luft- und Bodentemperatur, Schneehöhe, Windgeschwindigkeit und-richtung aufnimmt (*Infrastruktur Stillberg*, o. J.).

2.2. Bisherige Entwicklungen am Stillberg

Durch die wiederkehrenden Felddaufnahmen seit der Pflanzung 1975 ist die Aufforstung am Stillberg sehr gut untersucht. Um die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit besser einordnen und verstehen zu können, werden in diesem Kapitel die bisher wichtigsten Entwicklungen und Erkenntnisse erläutert.

In den ersten Jahren nach der Pflanzung war die Mortalität der Bäume am höchsten, während sie anschliessend etwas abflachte. Die häufigsten Ausfallursachen zu Beginn waren Pilzkrankheiten: Das Triebsterben (*Gremmeniella abietina*) war in den ersten 20 Jahren für ungefähr 50% der abgestorbenen Pinus Arten verantwortlich. Die Arve wurde in dieser Zeit zusätzlich durch die Schneeschütte (*Phacidium infestans*) belastet, was in 15% der Fälle auch zum Tod der Bäume führte. *L. decidua* war bisher nur marginal von Pilzkrankheiten an den Nadeln befallen, was möglicherweise mit ihrem Laubabwurf der zusammenhängt (Bebi, Hagedorn, et al., 2009; Senn & Schönenberger, 2001).

Senn & Schönenberger, (2001), sowie Schönenberger & Frey (1988) konnten feststellen, dass die Schneeschütte der Arve insbesondere auf Rippen- und Oststandorten und im oberen Teil kaum vorkam. Die bisherige Annahme, dass die Schneeschütte insbesondere in den schneereichen Muldenlagen präsent ist, wurde durch die Wirtstheorie erweitert: Auf den Rippenstandorten, die eine schnelle Ausaperung und somit gute Bedingungen für das Baumwachstum bieten, wuchsen bereits seit hunderten von Jahren einzelne Arven, die mittlerweile uralte Bestandesbäume sind (Abbildung 5). Bei diesen Individuen lässt sich an den untersten Ästen ein geringer Schneeschüttelebefall feststellen, welcher

die Vitalität der Bäume zwar nicht beeinträchtigt, sie aber zu Wirtsorganismen und somit einer Gefahr für jüngere Bäume macht.



Abbildung 5: Situation am Stillberg im Winter 1978. Die kleinen Bäumchen ragen noch nicht über die Schneedecke hinaus, die temporären Lawinerverbauungen und die Bestandesarven an den geeigneten Standorten stützen die Schneedecke.

Quelle: Walter Schönenberger von SLF

Zu Beginn wurde auch dem Ausaperungsdatum, den Kleinstandortsunterschieden, der Exposition und der Sonneneinstrahlung viel Bedeutung in Zusammenhang mit dem Überleben der Bäume zugesprochen (Bebi, Hagedorn, et al., 2009; *Langzeitforschung am Stillberg*, o. J.). Auch die Lawinerverbauungen beeinflussten die Aufforstung: Bis zum Jahr 2010 zeigten sie einen positiven Effekt auf das Wachstum durch die Verminderung der Schneebewegungen, jedoch einen negativen Effekt auf das Überleben aufgrund späterer Ausaperung in diesen Gebieten (Dellagiovanna, 2011). Insbesondere durch das zunehmende Höhenwachstum und damit einhergehenden Herauswachsen aus der etwas wärmeren bodennahen Vegetationsschicht, verloren diese Faktoren immer mehr an Bedeutung. Die Umgebungstemperatur und somit auch die Höhenlage definierten von da an die Wachstumsprozesse stärker (Bebi, Hagedorn, et al., 2009; *Langzeitforschung am Stillberg*, o. J.).

Obwohl bereits 1995 über die ganze Fläche hinweg nur noch 17% *P. cembra*, 38% *P. mugo*, jedoch gut 72% der *L. decidua* lebten (Senn & Schönenberger, 2001), bietet die Aufforstung seit den 2000er Jahren einen guten Schutz gegen Lawinenanrisse (Piazza et al., 2024), wie im folgenden Kapitel genauer erläutert wird.

2.3. Lawinengeschichte Stillberg

Gemäss Piazza et al., 2024 wurden zwischen 1976 und 2022 am Stillberg rund 214 Lawinen beobachtet, was bis zum Jahr 2000 einem durchschnittlichen Aufkommen von etwa acht Lawinen pro Jahr entspricht. (Abbildung 6). Die Jahre 1991 und 1992 verzeichneten dabei mit insgesamt 48 Niedergängen die aktivste

Periode. Seit der Pflanzung der Aufforstung und dem erhöhten Baumwachstum nahm die Anzahl Lawinen ab, wobei sich zwischen 2001 und 2022 lediglich noch neun lösten.

2018 wurde eine Lawine weit oberhalb des Stillberges künstlich ausgelöst, die unerwarteterweise den Talboden erreichte. Die Staublawine passierte auch Teile der Aufforstung, wobei die Forschungshütte Hüttiboden am oberen Rand der Fläche und einige Bäume zerstört wurden, jedoch kein grossflächiger Schaden in der Aufforstung entstand (Quelle Gespräch Peter Bebi, Lawine nicht in Grafik abgebildet). Seit 2022 wurden keine Lawinen mehr registriert.

Nebst der Abnahme der Anzahl und Grösse der Lawinen, verringerten sich ebenso die Anrissgebiete: Während diese zu Beginn zufällig über die Fläche verteilt waren, so konzentrieren sich die Niedergänge seit 2000 auf die schon länger kritischen Mulden, insbesondere im oberen Teil der Aufforstung. Diese Mulden zeichnen sich durch tiefere Baumdichten aus bei erhöhter Schneehöhe, was die Lawinenbildung begünstigt (Piazza et al., 2024, 2025).

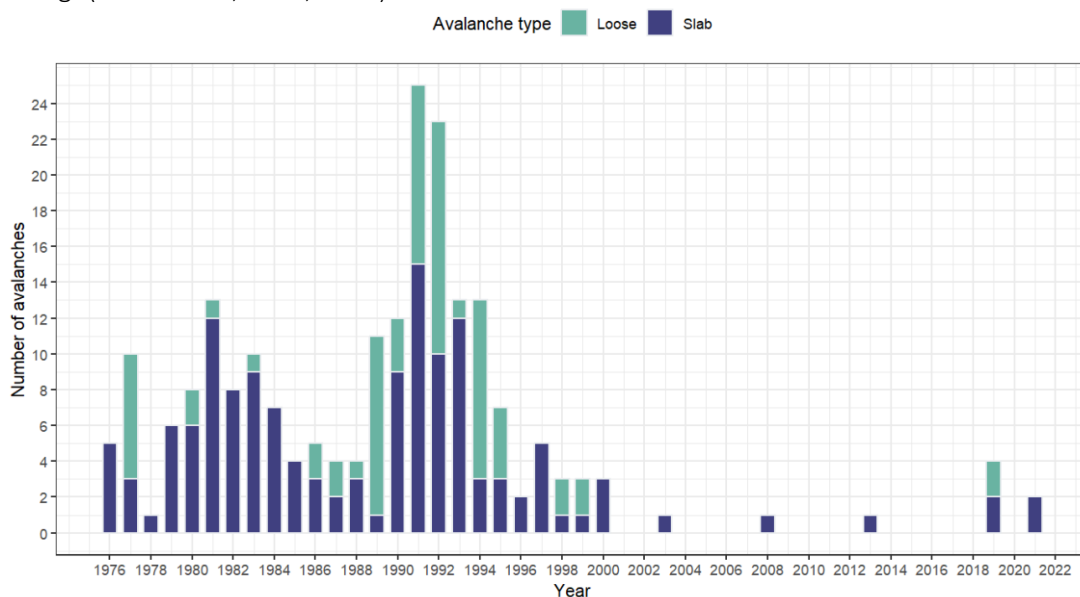


Abbildung 6: Lockerschnee- (Loose) und Schneebrettlawinen (Slab) am Stillberg zwischen 1976 und 2022.

Quelle: Piazza et al. 2024, S. 564

2.4. Lawinenschutzfunktion des Waldes

Schneebewegungen im Wald können besonders auf hochmontaner und subalpiner Stufe bei Hängen ab 30° nicht gänzlich ausgeschlossen werden (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005; Schneebebi & Bebi, 2004). Ein Grund dafür ist die natürliche Waldstruktur der Rotten, die Lücken aufweist (Eidg. Forschungsanstalt WSL, o. J.-c), welche jedoch für die Verjüngung zentral sind (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005). Der Wald, insbesondere ein zielgerecht gepflegter Schutzwald, minimiert diese Schneebewegungen jedoch und kann somit als wirkungsvoller Schutz gegen Lawinen angesehen werden.

Der Wald beeinflusst die Lawinenbildung besonders durch den positiven Einfluss auf den Schneedeckenaufbau:

- Interzeption in den Baumkronen
- Veränderung des Bestandesklimas
- Verringerung von Schneeverfrachtungen durch Wind in Bodennähe
- Stabilisierung der Schneedecke durch Bodenrauigkeit und lebende Bäume

(*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005; Schneebebi & Bebi, 2004)

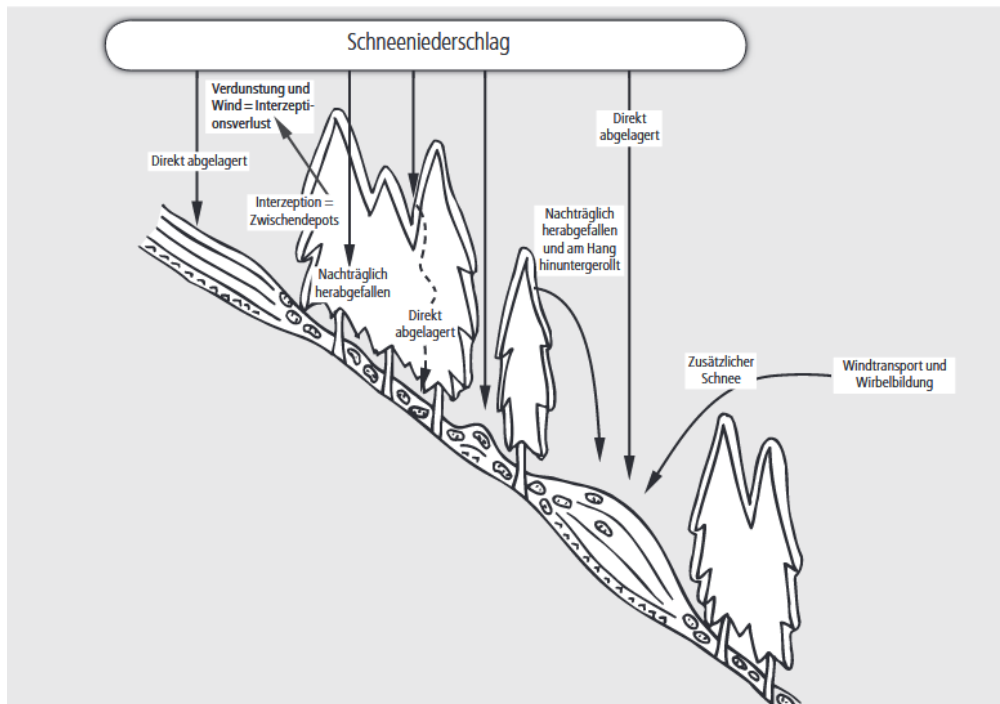


Abbildung 7: Einfluss des Waldes auf die Schneedecke, Quelle: NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005, S. 3

Durch die **Interzeption** wird ein Teil der Neuschneemenge in den Baumkronen abgefangen und bei einem Temperaturanstieg und Windaktivität fällt diese nach und nach zu Boden (Abbildung 7). Dies führt zu einem stark inhomogenen Schneedeckenaufbau in Baumnähe, wie Abbildung 8 zeigt. Besonders effizient in der Rückhaltung von Schnee sind dabei immergrüne Nadelbäume, während winterkahle Baumarten durch ihre geringere Auflagefläche besonders bei kalten Temperaturen einen verminderten Beitrag leisten. Unter diesen Bedingungen ist die Haftung der Schneeflocken an den nadellosen Zweigen deutlich geringer (NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005; Schneebeli & Bebi, 2004). Während Bäume mit hohen Kronen einen grossen Beitrag zur Interzeption leisten, geht von dem von ihnen herabfallenden Schnee jedoch auch eine gewisse Gefahr zur Auslösung von Lawinen aus. Bei tief beasteten Bäumen ist diese Gefahr geringer. Sehr niedrige und elastische Bäume wie beispielsweise die Legföhre oder Grünerle, welche komplett vom Schnee bedeckt sind, können unter gewissen Bedingungen die Lawinenbildung fördern und ausserdem ist in ihrer Umgebung die Bildung von Schwimmschnee⁵ verstärkt (NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005).

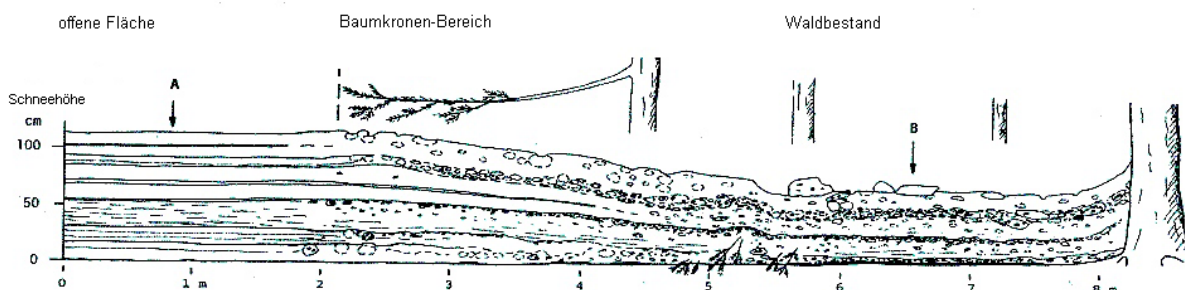


Abbildung 8: Unterschied des Schneedeckenaufbaus auf offener Fläche und im Wald, Quelle: Eidg. Forschungsanstalt WSL, o. J.-d, Original: Imbeck 1987).

⁵ Tiefenreif, der eine Schwachschicht sein kann

Für das Anreissen von Schneebrettlawinen ist neben einer homogenen Schneedecke auch eine Schwachschicht erforderlich, welche bei Hangneigungen über 30° die Ablösung der darüberliegenden kompakten Schneesichten ermöglicht (Schweizer & Rhyner, 2015). Eine mögliche Ursache für die Bildung von Schwachschichten ist Oberflächenreif, welcher anschliessend eingeschneit wird (Jamieson & Schweizer, 2000). Da das **Bestandesklima** innerhalb von Waldbeständen stabiler ist als ausserhalb, treten geringere Temperaturschwankungen auf, wodurch die Bildung von Oberflächenreif vermindert wird und dieser folglich nicht als Schwachschicht wirken kann. Dieser Effekt ist besonders stark bei der Kronenschicht immergrüner Bestände, die sowohl die solare Einstrahlung am Tag als auch die nächtliche Wärmeabstrahlung dämpft und damit ein stabiles Mikroklima schafft (Höller, 1998; *NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005; Schneebeli & Bebi, 2004).

Der Waldbestand verändert ebenso die oberflächennahen **Windgeschwindigkeiten**, und Schneemengen werden im Gegensatz zu offenem Gelände weniger gut verfrachtet (Schneebeli & Bebi, 2004). Die geringere Verfrachtung führt zu weniger grossen und störanfälligen Triebsschneeansammlungen, welche Lawinen auslösen können (*Triebsschnee*, o. J.)

Weiter fördert der Wald die **Bodenrauigkeit**, wodurch die Schneedecke mechanisch gestützt wird, solange die Schneehöhe die Stützstrukturen nicht überragt (Bebi, Kulakowski, et al., 2009). Als Faustregel gilt, dass Bäume die Schneehöhe um mindestens das doppelte überragen müssen, um als schutzwirksam eingestuft zu werden (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005). Ebenfalls sollten die Bäume keinen zu hohen Schlankheitsgrad aufweisen, welcher sich im Verhältnis von Höhe/BHD⁶ ergibt. Tiefe Schlankheitsgrade beschreiben eher gedrungene Bäume mit kräftigem Durchmesser, während hohe Schlankheitsgrade eher dünne und hochgewachsene Individuen abbilden, die bei Krafteinfluss anfälligere Stämme haben (Petty & Worrell, 1981).

Nebst lebenden Bäumen können auch weitere Strukturen wie Wurzelteller, Totholz, liegende Stämme oder stehengelassene/abgebrochene Baumstrünke zur Stützfunktion beitragen (Bartelt & Stöckli, 2001; Schneebeli & Bebi, 2004). Gleichzeitig geht insbesondere von Objekten ohne starke Bodenverankerung oder von bereits fortgeschritten zersetzten Strukturen die Gefahr aus, dass diese bei ausserordentlich grosser Schneelast in sehr steilen Lagen der Schneedecke nicht mehr standhalten und gemeinsam mit ihr talwärts rutschen, was den angerichteten Schaden vergrössern kann (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005; Schönenberger et al., 2005).

Auch die Krautschicht sowie Zwergsträucher haben einen Einfluss auf die Stabilisierung der Schneedecke: Hochwüchsige, grasreiche Vegetationsbestände können leicht vom Schnee niedergedrückt werden und bilden dadurch eine mattenartige Oberfläche, die als ideale Gleitfläche für die Schneedecke wirkt (Fromm et al., 2018). Auch nicht verholzte Zwergsträucher wie *Calluna vulgaris* oder *Arctostaphylos uva-ursi* tragen nur begrenzt zur Stabilität bei, da sie von der Schneedecke niedergedrückt werden. Stärker verholzte Vegetation wie Rhododendron spp. hingegen führt zu einer deutlichen Reduktion der Rutschung (Newesely et al., 2000).

Obwohl der Wald grundsätzlich eine sehr wirksame Schutzfunktion ausüben kann, insbesondere wenn sich Neuschneemengen periodisch setzen und stabilisieren, kann dieser Schutz unter bestimmten Bedingungen deutlich nachlassen. Beispielsweise bei sehr langanhaltendem, starkem Schneefall, gefolgt von Regen (Ammann & Bebi, 2000). Wichtig zu verstehen ist, dass der Wald im Transitgebiet nur sehr bedingt Einfluss auf eine bereits ausgelöste Lawine hat. Lediglich Lawinen mit geringer Fließhöhe

⁶ Für den Stillberg wurde mit *Höhe/Durchmesser an der Stammbasis* gerechnet aufgrund der bisherigen Methodik bei den Feldaufnahmen. Denn in den ersten Jahren nach der Pflanzung hatten die Bäumchen noch keinen BHD (Durchmesser auf Brusthöhe). Die daraus resultierenden Schlankheitswerte sind daher auch etwas tiefer als sie wären, wenn mit dem BHD gerechnet würde.

(1 – 2m), können etwas verlangsamt werden (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005). Bei höheren Massen, Fließhöhen und Geschwindigkeiten (bspw. Staublawinen) hingegen weist der Wald eine vernachlässigbare Bremswirkung auf und wird dabei meist zerstört (Bartelt & Stöckli, 2001; Feistl et al., 2014; *NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005). Im Auslaufgebiet, wo die Geschwindigkeiten oftmals gering sind, kann der Wald jedoch wiederum die Reichweite von Lawinen vermindern (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005).

3. Material und Methoden

Die Fragestellungen wurden mit zwei sich ergänzenden Methoden beantwortet: Einerseits durch die Auswertung von LiDAR-Daten aus der Befliegung im Sommer 2015 und 2025 und andererseits durch die Feldaufnahmen im Sommer 2025 sowie die Daten der vorhergehenden Inventur 2015. Durch die Feldaufnahmen konnten Parameter für die einzelnen Bäume bestimmt werden, während die LiDAR-Daten einen Gesamtüberblick lieferten. Die Auswertungen der Daten erfolgte in QGIS (*QGis*, 2024) sowie R Studio (*RStudio*, 2025). Für die Erstellung und das Verständnis von Code sowie methodischen Fragen in den beiden Programmen wurde ChatGPT (*OpenAI, Version GPT-5.2*, 2025) verwendet. Weiter wurde dieses KI-Tool zur Unterstützung bei der Literaturrecherche, der sprachlichen Textverbesserung, der Zusammenfassung von Inhalten, und als Inspirationsquelle genutzt. Dabei zeichneten sich klare Nutzen ab, jedoch auch die Grenzen der Einsetzbarkeit bei wissenschaftlichen Arbeiten und der Notwendigkeit der kritischen Hinterfragung des Outputs. Die Übersetzung des Abstracts auf Englisch wurde mit Hilfe von DeepL (*DeepL*, 2026) vorgenommen.

3.1. LiDAR-Daten

Am 7. August 2025 führte Andreas Stoffel (Mitarbeiter SLF) den LiDAR Flug mit der DJI Matrice 300 RTK (Abbildung 9) durch. Die Rohdaten wurden anschliessend durch Andreas Stoffel und Mauro Marty (Mitarbeiter SLF) prozessiert und verfügbar gemacht. Für aktuelle Jahr sowie für die Daten aus der Befliegung von 2015 wurde jeweils ein digital surface model (DSM) und ein vegetation height model (VHM) erstellt. Als Grundlage für die Normalisierung diente bei beiden Datensätzen die Bodenpunkte aus 2025. Das VHM und DSM weisen eine räumliche Auflösung von 5 cm und das DTM eine Auflösung von 10 cm auf. Die Tabelle 1 zeigt die genauen Spezifikationen der beiden Flüge auf.



Abbildung 9: DJI Matrice 300 RTK in der Vorbereitung zum Flug im August 2025, Quelle: Viktoria Frank bei den Feldaufnahmen 2025

Tabelle 1: Spezifikationen der LiDAR Aufnahmen 2015 und 2025

	2015 (Marty, 2015)	2025 (Andreas Stoffel Mailverkehr)
∅ Punktdichte pro m²	32 (all returns), 18.5 (last only)	3644 (all returns), 3095 (last only)
Flughöhe	3690 m.ü.M	60 m AGL (Terrain Following, 60 m über Grund)
Punkteabstand	0.18 bzw. 0.23 m, an gewissen Stellen bis zu 0.5 m	0.02 m
Flugobjekt	Flugzeug	DJI Matrice 300 RTK
Ausführung	Milan Geoservice GmbH	SLF
Sensor	LMS-Q 780 von Rieg	DJI Zenmuse L2
Höhengenauigkeit	0.1 – 0.13 m	0.05 m

Die Höhendaten aus den Aufnahmen von 2025 weisen eine Genauigkeit von vier Dezimalstellen auf, während bei den Aufnahmen von 2015 nur ganzzahlige Höhenwerte vorliegen. Folglich ist die vertikale Auflösung der Daten aus 2015 geringer als die der 2025-Daten. Die horizontale Abweichung der beiden Datensätze wurde manuell in QGIS untersucht und beträgt ungefähr 0.4 m. Höhenvergleiche mit den Messungen aus den Felddaten dienten zur Validierung der Datensätze.

3.2. Feldaufnahmen 2025

Die Feldaufnahmen für die periodische 10-jahres Aufnahme wurden zwischen dem 17.06.2025 – 12.09.2025 durchgeführt. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde daher in den Monaten Juli bis September bei den Feldaufnahmen mitgeholfen.

Die Feldarbeit wurde in einem Team von zwei Studentinnen und zwei Praktikantinnen, ergänzt durch die Arbeit von Mitarbeitenden des SLF, Zivildienstabsolvierenden, und weiteren Helfer:innen unternommen. Da der Sommer von unstemem Wetter und viel Niederschlag geprägt war, wurde die angestrebte Vollaufnahme der Fläche im Juli angepasst und nur noch ein Teil der Einheitsflächen aufgenommen. Ab Reihe 14 konzentrierte sich die Verteilung der aufzunehmenden Einheitsflächen auf jeweils 40 der mittleren Einheitsflächen pro Reihe. Ergänzend wurden ausserhalb dieser zusammenhängenden Fläche zusätzliche Einheitsflächen aufgenommen, die auf einer zufälligen Stichprobenverteilung durch Jamila Gisler (Masterstudentin der ETH) sowie auf den von Men Dellagiovanna in seiner Masterarbeit (2011) erhobenen Einheitsflächen basierten. Die Abbildung 10 zeigt eine Übersicht über die 2025 erhobenen Einheitsflächen mit entsprechenden Baumarten sowie die nicht erhobenen Einheitsflächen. Insgesamt wurden 1'802 Einheitsflächen aufgenommen. Mit diesem Vorgehen der Auswahl der Einheitsflächen konnte sichergestellt werden, dass trotz der verringerten Aufnahmen ein Höhengradient bestehen blieb und zufällig verteilte Stichproben über die gesamte Fläche weitere Informationen aus den nicht flächenmässig abgedeckten Gebieten lieferten.

Feldaufnahmen 2025 und korrespondierende Baumarten

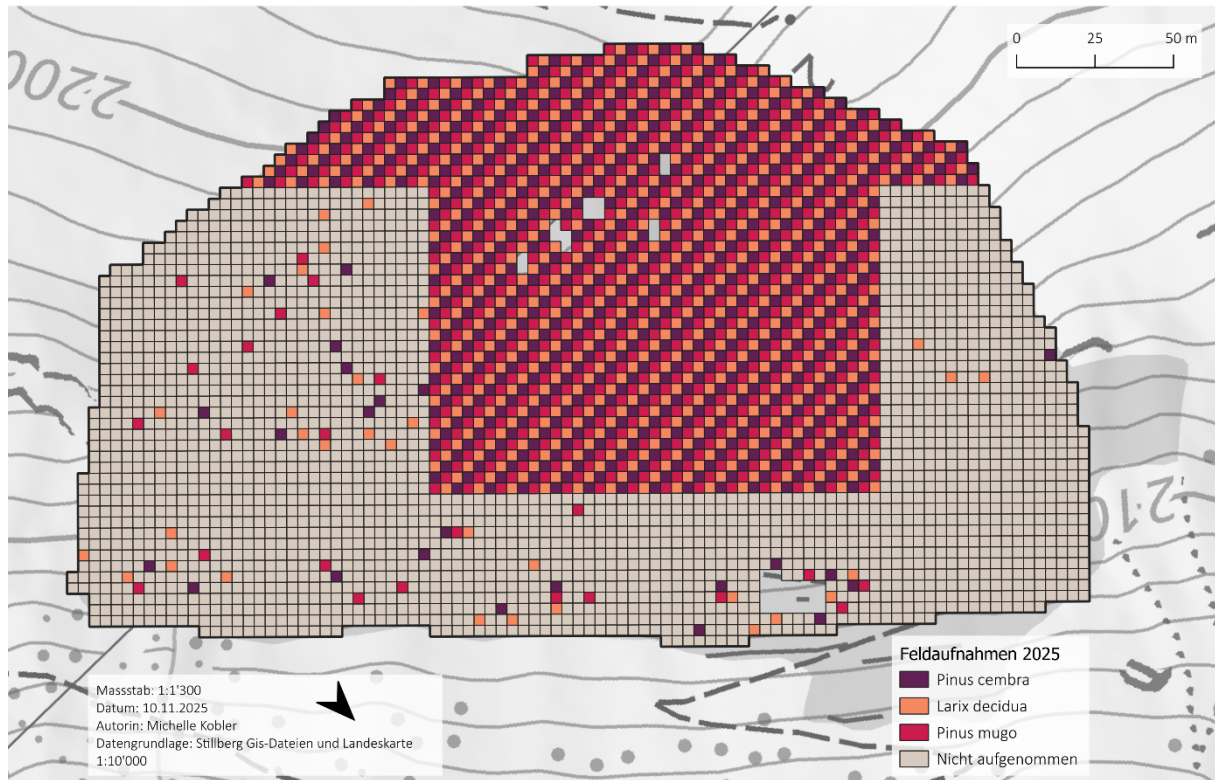


Abbildung 10: Aufgenommene Einheitsflächen bei der Feldaufnahme 2025 mit entsprechenden Baumarten

Während der Feldaufnahmen wurden zunächst die Metallpfosten lokalisiert, welche die Ecken der Einheitsflächen abgrenzen und jeweils die Einheitsfläche eindeutig identifizierbar machen. Anschliessend erfolgten die Aufnahmen des Vegetationsdeckungsgrades [%] und der natürlichen Verjüngung [Anzahl] sowie die Identifikation von lebenden und toten Individuen. Während das Überleben für alle Bäume einer Einheitsfläche dokumentiert wurde, erfolgte die Vermessung (Höhe, Durchmesser, ggf. Lothöhe) jeweils nur an 3 Bäumen pro Einheitsfläche. Wenn diejenigen Bäume, die bei der letzten Aufnahme vermessen wurden, auch 2025 noch lebten, so wurden wiederum diese vermessen. War dies nicht der Fall wurde das Schema im Anhang A angewendet, um alternative Bäume systematisch festzulegen. Somit soll sichergestellt werden, dass Bäume von verschiedenen Positionen innerhalb der Einheitsflächen aufgenommen werden. Danach wurden die vorgesehenen Bäume vermessen und weitere Parameter wie Schäden oder Zapfenbildung gemäss der auszufüllenden Vorlage im Anhang B dokumentiert. Das stark erhöhte Vorkommen einer noch unbekanntem Pilzerkrankung an *L. decidua* führte dazu, dass während der Feldarbeit Proben an die WSL geschickt wurden, um diese genauer zu untersuchen.

Für die Durchmessermessung wurde ein Messschieber sowie ein Durchmesserband verwendet. Für die Höhenmessung ein Doppelmeter (Abbildung 11) und Vertex IV und Vertex Laser Geo. Je nach Grösse und Durchmesser wurde die praktischere Messmethodik angewendet. Bei als Hänger⁷ (< 30°) klassierten Bäumen, oder bei solchen mit einer Wuchsform, bei der die effektive Stammlänge und -höhe nicht übereinstimmen, wie in Abbildung 12 ersichtlich, wurde zusätzlich die Lothöhe erfasst.

⁷ Hänger beschreiben Bäume, welche schräg zum Hang wachsen. Bei den Feldaufnahmen galt ein Hänger ab einem Winkel vom Stamm zum Hang unter 30°.



Abbildung 11: Impression aus den Feldaufnahmen, Vermessung einer *L. decidua* und Notierung auf dem Toughpad, Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025.



Abbildung 12: Vermessung einer *L. decidua*, bei welcher die Stammlänge und die effektive Höhe aufgrund der Wuchsform nicht übereinstimmt, Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025.

Der Vegetationsdeckungsgrad wurde für die Kategorien *Vaccinium spp.*, *Rhododendron spp.*, Gräser und Hochstauden aufgenommen (Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15). Übrige Vegetation wie Moose, Flechten, Farne oder vegetationslose Stellen durch Steine wurden zu Beginn der Aufnahme prozentual abgezogen, sodass nur die Deckungsgrade der relevanten Vegetationstypen aufgenommen wurde. Die Verjüngung wurde von den Arten *L. decidua*, *P. mugo*, *P. cembra*, *Salix spp.*, *Sorbus aucuparia* und *Picea abies* aufgenommen.



Abbildung 13: Hochstaudengeprägte Vegetation, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025

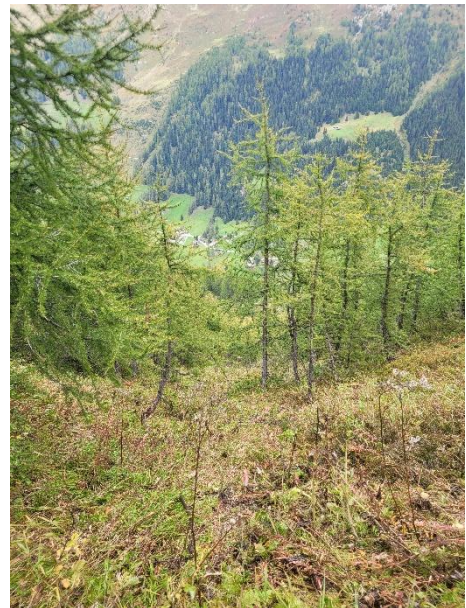


Abbildung 14: Grasgeprägte Vegetation, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025



Abbildung 15: Vaccinium- und Rhododendrongeprägte Vegetation,
Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025

Die Daten wurden gemäss der Vorlage in Excel auf Panasonic Toughpads FZ-G1 Tablets erfasst und anschliessend mit Hilfe von Makros in Excel bereinigt. Die bereinigten Daten wurden anschliessend von Mauro Marty (Mitarbeiter SLF) in die Datenbank des Stillberges importiert, bevor die relevanten Einträge für diese Arbeit als csv exportiert wurden. Durch den Auszug aus der Datenbank konnte ebenfalls direkt auf alle bisherigen Inventuren des Stillbergs zugegriffen werden, wodurch die anschliessende Analyse einheitlich gestaltet werden konnte.

3.3. Schutzwirksamkeit

Die Beurteilung der Schutzwirksamkeit eines Waldes wird in der Schweiz durch den Leitfaden der Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS) definiert. Da das NaiS im Jahr 2005 erstellt wurde und sich derzeit in Überarbeitung befindet, wurden in dieser Arbeit neben den Anforderungen gemäss NaiS auch weitere Kriterien berücksichtigt, die in Schutzwirksamkeitskonzepten anderer Länder angewendet oder in weiteren Studien erarbeitet wurden:

- Deckungsgrad gemäss Anforderungsprofil NaiS
- Lückengrösse gemäss Anforderungsprofil NaiS
- Schutzwirksame Einzelbäume, welche die Schneedecke um mindestens das doppelte überragen gemäss *NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, o. J.
- Stammzahlen pro Hektar gemäss Bauerhansl et al., 2010

3.3.1. Anforderungsprofile gemäss NaiS

Im NaiS wird je nach Naturgefahr spezifisch aufgezeigt, wie der Waldzustand sein sollte, um eine Schutzwirkung zu erzielen. Dabei sind je nach Naturgefahr verschiedene Anforderungen relevant (bspw. Mischung, Gefüge, Verjüngung, Deckungsgrad). Es wird zwischen dem Minimal- und dem Idealprofil unterschieden. Letzteres beschreibt jenes Anforderungsprofil, welches langfristig die höchste Schutzwirkung erwarten lässt und auch als Waldbauziel gilt. Das Minimalprofil hingegen beschreibt die Messlatte für den Handlungsbedarf, um eine langfristig ausreichende Schutzwirkung zu erzielen (Bundesamt für Umwelt BAFU, 2025b) (Abbildung 16).

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal
Entstehungsgebiet	Gross	Gefüge horizontal Hangneigung	Gefüge horizontal Hangneigung
Subalpine und hochmontane Nadelwälder	In Lärchenwäldern ab 30° (58 %) Hangneigung In immergrünen Nadelwäldern ¹ ab 35° (70 %) Hangneigung	Lückenlänge² in Fallinie ≥30° (58 %) → kleiner als 60 m ≥35° (70 %) → kleiner als 50 m ≥40° (84 %) → kleiner als 40 m ≥45° (100 %) → kleiner als 30 m Falls Lückenlänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 15 m sein Deckungsgrad > 50 % Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Lückenlänge² in Fallinie ≥30° (58 %) → kleiner als 50 m ≥35° (70 %) → kleiner als 40 m ≥40° (84 %) → kleiner als 30 m ≥45° (100 %) → kleiner als 25 m Falls Lückenlänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 15 m sein Deckungsgrad > 50 % Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt
Entstehungsgebiet	Mittel ab 35° (70 %) Hangneigung	Gefüge horizontal Hangneigung	Gefüge horizontal Hangneigung
Ober- und untermontane Laub- und Mischwälder		Lückenlänge² in Fallinie ≥35° (70 %) → kleiner als 50 m ≥40° (84 %) → kleiner als 40 m ≥45° (100 %) → kleiner als 30 m Falls Lückenlänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 5 m sein Deckungsgrad > 50 % Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Lückenlänge² in Fallinie ≥35° (70 %) → kleiner als 40 m ≥40° (84 %) → kleiner als 30 m ≥45° (100 %) → kleiner als 25 m Falls Lückenlänge ² grösser als oben angegeben, muss Lückenbreite < 5 m sein Deckungsgrad > 50 % Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt

¹ In immergrünen Nadelwäldern ist auf Grund der Überschirmung durch die Kronen und die allgemeine Rauigkeit am Boden erst ab etwa 35 Grad Neigung mit Lawinenanrissen zu rechnen. Reine Lärchenwälder weisen oft eine grasreiche Vegetation auf, so dass die allgemeine Bodenrauigkeit geringer ist. Es muss deshalb bereits ab etwa 30 Grad Neigung mit Anrissen gerechnet werden muss.

² Lücke: Öffnung von Kronenrand zu Kronenrand im Stangenholz und Baumholz

Abbildung 16: Anforderungsprofil Lawinen gemäss NaiS, Quelle: NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005, S. 3

Die Anforderungen für Lawinen lassen sich in zwei verschiedene Standorte gliedern, die je nach Begebenheiten einen unterschiedlich grossen Beitrag zur Schutzwirkung leisten. Da der Schutzwald gegen die Bildung von Lawinen lediglich im Entstehungsgebiet einen relevanten Einfluss hat (vgl. Kapitel 2.4), werden dort je nach Höhenlage und natürlichem Lebensraum zwei verschiedene Waldtypen unterschieden. Der Stillberg lässt sich dabei als obersubalpinen Lärchen-Arvenwald (*NaiS Anhang 2A: Bestimmen des Standortstyps*, 2009) einstufen, mit einer Hangneigung zwischen 10 und 58 Grad.

Die nötigen Anforderungen für das Minimal- sowie Idealprofil wurden so gut wie möglich auf das Untersuchungsgebiet im Stillberg angewendet, um zu analysieren, wie sich die Fläche zwischen 2015 und 2025 verändert hat. Hierbei zu beachten gilt, dass der Stillberg eine Aufforstung ist, und somit primär nicht einem natürlichen Waldtyp entspricht.

3.3.2. Deckungsgrad und Lücken gemäss NaiS (LiDAR)

Der Deckungsgrad sowie die Lücken wurden anhand der LiDAR-Daten von 2015 beziehungsweise 2025 ermittelt. Für die Berechnung des Deckungsgrads wurden die LiDAR-Daten in QGIS auf den Untersuchungsperimeter zugeschnitten und anschliessend auf Höhen ab 2 m gefiltert. Diese Höhe wurde gewählt, da für den Deckungsgrad gemäss NaiS lediglich die Kronenprojektionen berücksichtigt, und somit die Bodenvegetation grösstenteils ausgeschlossen werden konnte.

Die Erfassung der Lücken, und der Abgleich mit der maximal erlaubten Lückengrösse gemäss NaiS wurde ebenfalls in QGIS durchgeführt. Da eine Lücke als Abstand der Kronenränder ab Stangenholz, sprich ab

12 cm Durchmesser gilt (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005; NaiS Anhang 9: Glossar und Literatur, 2005*), wurde zuerst die durchschnittliche Höhe der Bäume bei 12 cm ermittelt. Da aus den bisherigen Analysen zur Schutzwirksamkeit der Bäume am Stillberg sowie der aktuellen Analysen gezeigt werden konnte, dass *L. decidua* den grössten Teil der lebenden und schutzwirksamen Bäume ausmacht (vgl. Kapitel 4.1.1 und 4.4), wurde der Durchschnitt der Höhen von *L. decidua* bei 12 cm als Richtwert genommen. Dieser lag 2015 bei 4.16m und 2025 bei 5.42m. Auf Basis dieses Zusammenhangs der Höhe und des Durchmessers konnten jene Baumkronen in den LiDAR-Daten identifiziert werden, bei denen davon ausgegangen wird, dass sie mindestens dem Stangenholz entsprechen.

Anschliessend wurde der Rasterdatensatz zu einem Vektor überführt. Relevante Lücken ausgehend von der maximalen Neigung am Stillberg sind durch 15 m Breite und 30 m Länge im Minimal- bzw. 15 m Breite und 25 m Länge beim Idealprofil definiert. Im Rahmen dieser Analyse wurde nur das Minimalprofil untersucht (vgl. Abbildung 16). Die zu untersuchenden Dimensionen wurden folgendermassen überprüft: Zuerst wurden im Abstand von 12 cm Linien in die Fallrichtung gelegt sowie im Abstand von 1 m hangparallel. Die 12 cm Abstand wurden aufgrund des benötigten Durchmessers für das Stangenholz gewählt, die 1 m wurden so gewählt, dass eine möglichst genaue Analyse beim Erhalt der Rechenleistung gewährleistet werden konnte. Die Falllinien wurden dann mittels des Tools *Split with lines* an jedem Schnittpunkt mit dem Vektorlayer der Baumkronen zerteilt. Die daraus erhaltenen Stücke, die unter 30 m waren und/oder sich innerhalb von Baumkronen befinden, wurden gelöscht, da sie für die weitere Analyse nicht relevant waren. Um die übrig gebliebenen Linien (> 30 m) wurde ein Buffer von 6 cm erstellt und mittels *dissolve* verbunden. Somit konnten alle Lücken als Flächen identifiziert werden, die die kritische Länge von 30 m überschritten.

Die hangparallelen Linien wurden dann mittels *Clip* auf die bisher identifizierten Lücken zugeschnitten. Diejenigen Linien, welche sich innerhalb der Polygone der Falllinien befinden und über 15 m breit sind, sind für die weitere Analyse interessant. Um diese wurde nun ebenfalls ein aufgelöster Buffer gelegt, diesmal von 50 cm Breite, um wiederum eine Fläche zu erhalten. Diese Fläche repräsentiert all jene Lücken, die hangparallel mindestens 15 m betragen. Von diesem Polygon ausgehend wurde nun von Hand diejenigen Bereiche digitalisiert, die nebst den 15 m in der Breite auch mindestens die 30 m in Falllinie aufwiesen. Als letzter Schritt wurden die erhaltenen Lücken auf diejenigen Einheitsflächen mittels *Clip* zugeschnitten, die eine Steigung von über 30° aufweisen. Dies, da die Lückengrösse erst ab dieser Neigung relevant ist, und die Auslösung von Lawinen darunter sehr unwahrscheinlich ist (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005; Schneebeli & Bebi, 2004*).

3.3.3. Schneehöhen, schutzwirksame Einzelbäume und Stammzahlen pro Hektar (Feldaufnahmen)

Ergänzend zur Schutzwirksamkeitsanalyse gemäss NaiS wurden Schnee- und Baumhöhen verglichen, um diejenigen Bäume zu identifizieren, deren Höhe mindestens doppelt so gross ist wie die Schneedecke und somit als schutzwirksam gelten (vgl. Kapitel 2.4). Die dazu verwendeten Baumdaten stammen aus den Feldaufnahmen 2015 und 2025, während die Schneehöhen auf Messungen von insgesamt 433 Schneepegeln beruhen, die 1959 gesetzt und 1973 erneuert wurden. Die 251 Schneepegel, welche innerhalb der Versuchsaufforstung liegen, wurden ähnlich den Einheitsflächen als Raster angeordnet, wobei die Seitenlänge der Quadrate 14 m beträgt und somit vier Einheitsflächen umfasst (Schönenberger & Frey, 1988), wie in Abbildung 17 ersichtlich.

Für jeden Schneepegel sind sowohl maximale als auch durchschnittliche Schneehöhen über den Zeitraum von 1959 bis 1992 vorhanden. Da am Stillberg bislang keine signifikante Abnahme der Schneehöhen beobachtet wurde, gilt dieser Datensatz mit den Schneehöhen dieser 33 Jahre weiterhin als verlässlich (Piazza et al., 2024) und wurden für die vorliegende Analyse verwendet.

Um für die gesamte Fläche Aussagen zur Schneehöhe zu erhalten, wurden die 251 Punktmessungen der Schneepegel über alle Einheitsflächen hinweg in QGIS mittels IDW-Interpolation räumlich aufbereitet. Pro Einheitsfläche wurde anschliessend der Mittelwert der interpolierten Schneehöhen berechnet, deren Rasterzellen die jeweilige Fläche überlagern. Die daraus resultierenden maximalen (Kriterium 1) sowie durchschnittlich maximalen (Kriterium 2) Schneehöhen sind in Abbildung 17 ersichtlich. Auf dieser Grundlage konnte untersucht werden, welche Bäume die Schneehöhen unter den beiden Kriterien um das Doppelte überragen und somit schutzwirksam sind (vgl. Kapitel 2.42.4).

Schneehöhen pro Einheitsfläche nach Pegeldata

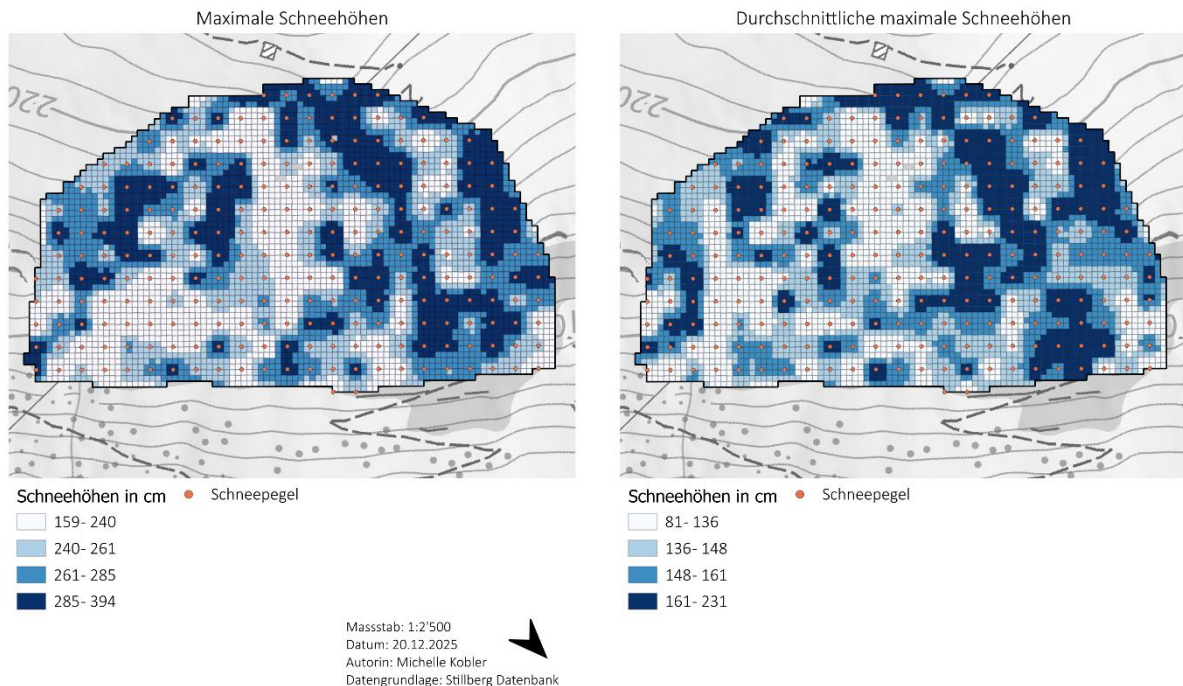


Abbildung 17: Schneehöhen der Einheitsflächen gemäss der gemittelten interpolierten Schneepegeldata

Durch den Vergleich der Baum- und Schneehöhen ist die Beurteilung der Schutzwirksamkeit von Einzelbäumen nur dann möglich, wenn der Baum vermessen wurde. Da aufgrund der Methodik der Feldaufnahmen (vgl. Kapitel 3.2) nur jeweils drei Bäume pro Einheitsfläche auf ihre Schutzwirksamkeit hin untersucht wurde, wäre die Anzahl effektiv schutzwirksamer Bäume wohl noch um einiges höher.

Für die Ermittlung der Anzahl schutzwirksamer Stämme pro Hektar wurden die Bäume, die sich im zusammenhängenden Teil der aufgenommenen Einheitsflächen mit einer Gesamtfläche von 2.129 ha befanden, auf einen Hektar runtergerechnet.

4. Resultate

Die Resultate der Felddaufnahmen illustrieren den Zustand und die Veränderungen zwischen 2015 und 2025, wobei jeweils in beiden Inventuren dasselbe Subset an Bäumen genommen wurde, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

4.1. Vitalzustand der Bestandesbäume und Aufkommen der natürlichen Verjüngung

4.1.1. Überleben und Mortalität der Bäume

Die Abbildung 18 zeigt den aktuellen Baumbestand (blau) sowie die Mortalität der jeweiligen Baumarten (Rot- und Orangetöne) im Zeitraum zwischen 2015 und 2025. Auffallend ist dabei, dass die Mortalität in den höhergelegenen Einheitsflächen gering ist, während sie gegen unten zunimmt. Ausserdem zeigt sich deutlich, dass vor allem *P. mugo* starke Verluste (898 Bäume) hinnehmen musste, die teilweise nahezu den gesamten Bestand einer Einheitsfläche (bis zu 25 Individuen) betrafen, wie in Abbildung 19 ersichtlich.

Vergleich der lebendigen und abgestorbenen Bäume zwischen 2015 und 2025

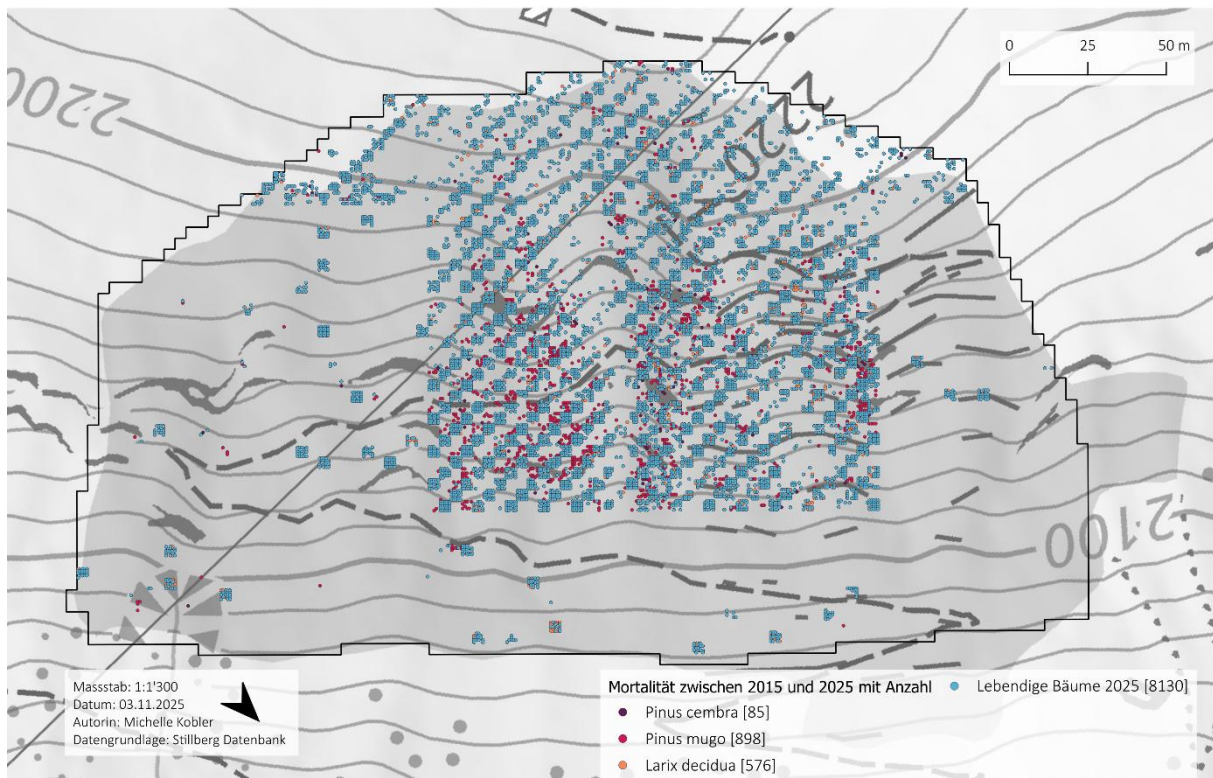


Abbildung 18: Überleben und Mortalität nach Art zwischen 2015 und 2025



Abbildung 19: Beispiel einer *P. mugo* Einheitsfläche, welche seit 2015 eine sehr starke Mortalität aufweist, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025

Die Überlebensraten der einzelnen Baumarten seit der letzten Erhebung sind in Abbildung 20 ersichtlich. Dabei zeigt sich erneut, dass *P. mugo*, gefolgt von *L. decidua*, am stärksten zurückging. Bei *P. cembra* sank die Überlebensrate von 2.4 % im Jahr 2015 auf 1.9 % im Jahr 2025. *P. mugo* verzeichnete im gleichen Zeitraum einen Rückgang von 7.8 % auf 1.8 %, während *L. decidua* von 54 % auf 50 % fiel. Über alle Arten hinweg sank die Anzahl der lebenden Bäume zwischen den beiden letzten Feldaufnahmen von 9'689 auf 8'130, was einem Rückgang von 16 % entspricht. 2025 lebten somit noch 276 *P. cembra*, 270 *P. mugo* und 7'584 *L. decidua*. Im Vergleich zu 2015 sind somit 2025 noch 92 % der *L. decidua*, 79 % der *P. cembra* und nur 23 % der *P. mugo* der 2015 lebenden Bäume erhalten.

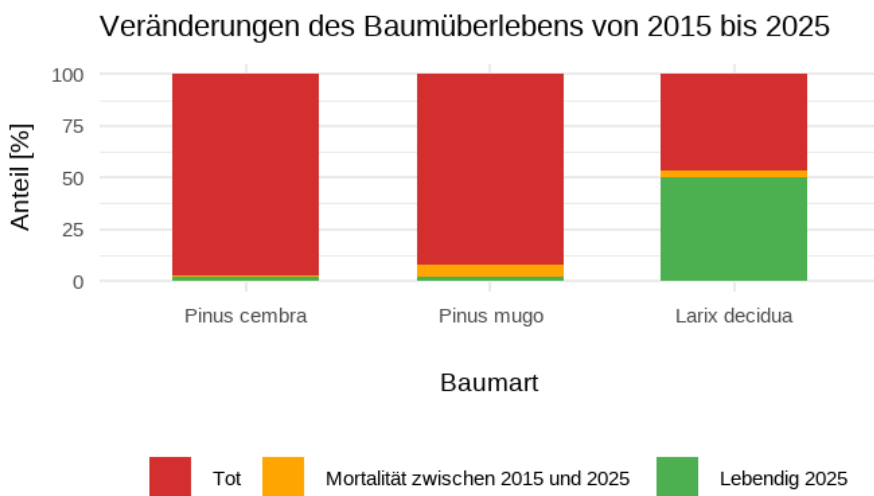


Abbildung 20: Veränderungen des Baumüberlebens von 2015 bis 2025

Die Überlebensraten der drei Baumarten im langjährigen Vergleich zeigen insbesondere im ersten Jahrzehnt deutliche Verluste. Bei *P. cembra* setzt sich dieser Rückgang nahezu gleich stark bis 1995 fort. *L. decidua* und *P. mugo* weisen seit diesem Zeitpunkt eine konstante Abnahme auf, während *P. cembra* seit etwa 2005 eine Abflachung der Kurve zeigt, wie in Abbildung 21 ersichtlich.

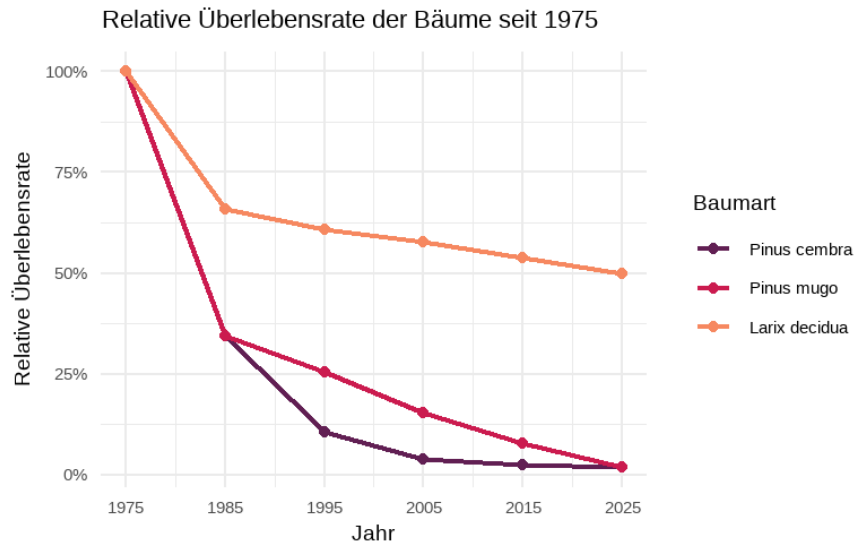


Abbildung 21: Langzeitüberleben der Bäume im Vergleich zu 1975

Die Abbildung 22 illustriert die unterschiedlich intensiven Verluste nach Baumarten räumlich, wobei nochmals deutlich wird, dass insbesondere im orografisch rechten unteren Bereich der Aufforstung der Verlust besonders gross ist und hauptsächlich *P. mugo* zugeschrieben werden kann. Veränderungen durch natürliche Verjüngung wurden hierbei nicht beachtet.

Lebendige Bäume nach Art

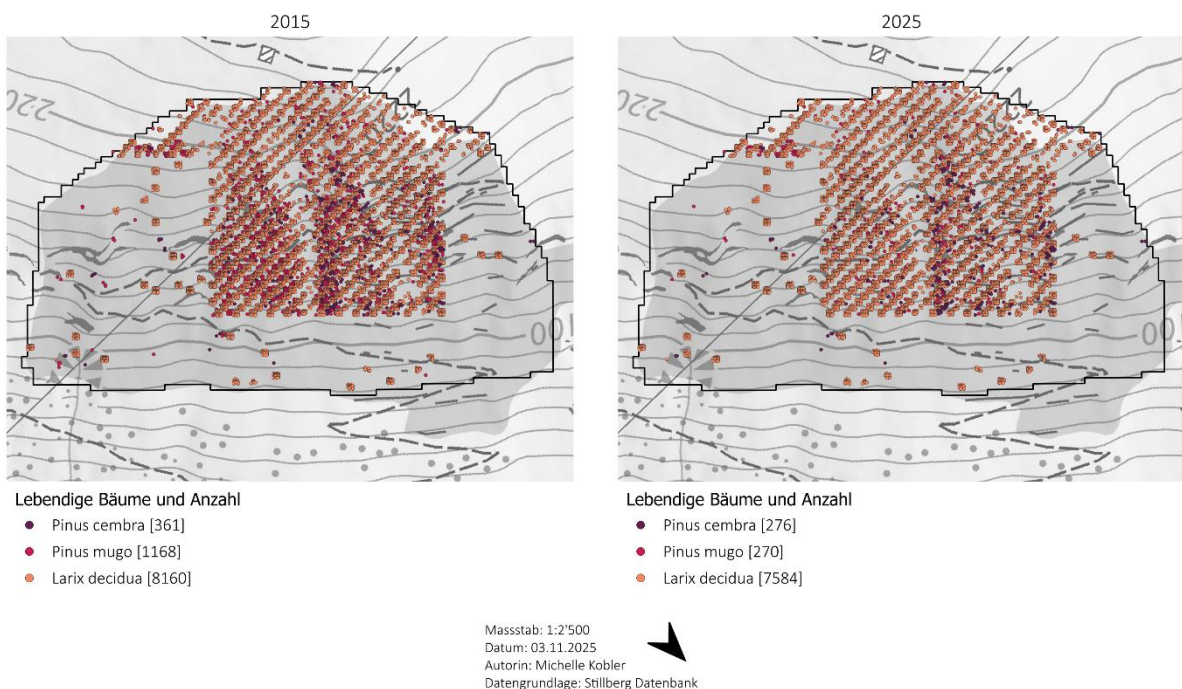


Abbildung 22: Verteilung und Anzahl lebender Bäume 2015 und 2025 nach Baumart

4.1.2. Natürliche Verjüngung

Die Abbildung 23 zeigt die Anzahl der natürlichen Verjüngung in den beiden Erhebungsjahren. Von den drei ursprünglich gepflanzten Arten weist nur *P. cembra* eine Zunahme zwischen den beiden Inventuren auf, während *P. mugo* und *L. decidua* geringe Abnahmen verzeichnen. Bei den weiteren Arten zeigen *P. abies* und *S. aucuparia* eine Zunahme, während *Salix spp.* abnimmt. Diese damals nicht gepflanzten Arten wurden wahrscheinlich durch natürliche Versamung von benachbarten Bäumen, und bei *P. abies* auch durch experimentelle Pflanzungen in der Versuchsfläche verbreitet.

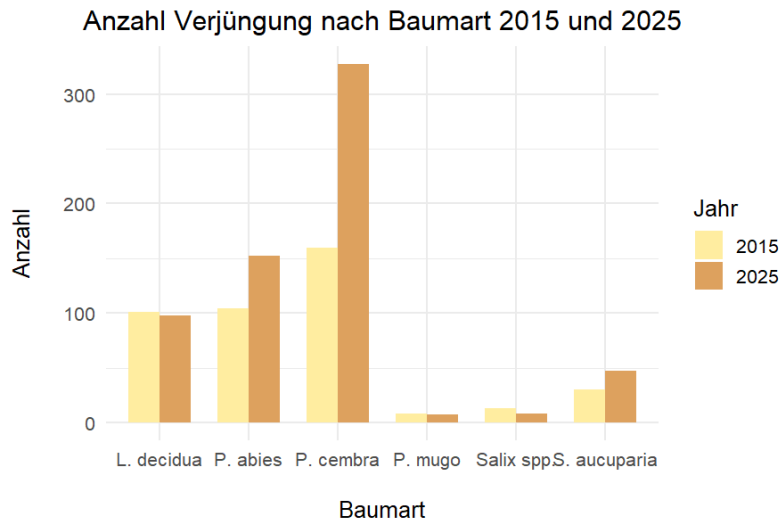


Abbildung 23: Anzahl Verjüngung nach Baumart zwischen den Jahren 2015 und 2025

Die Abbildung 24 illustriert die Verteilung der Verjüngung über die verschiedenen Topografien. Neben der generellen Zunahme der Verjüngung zwischen den Erhebungsjahren, die in Abbildung 23 detaillierter dargestellt ist, zeigt sich eine klare topografische Differenzierung. Die höchsten Verjüngungsdichten treten an Nordstandorten auf, gefolgt von Rippen- und Oststandorten. In Mulden ist dagegen kaum Verjüngung vorhanden.

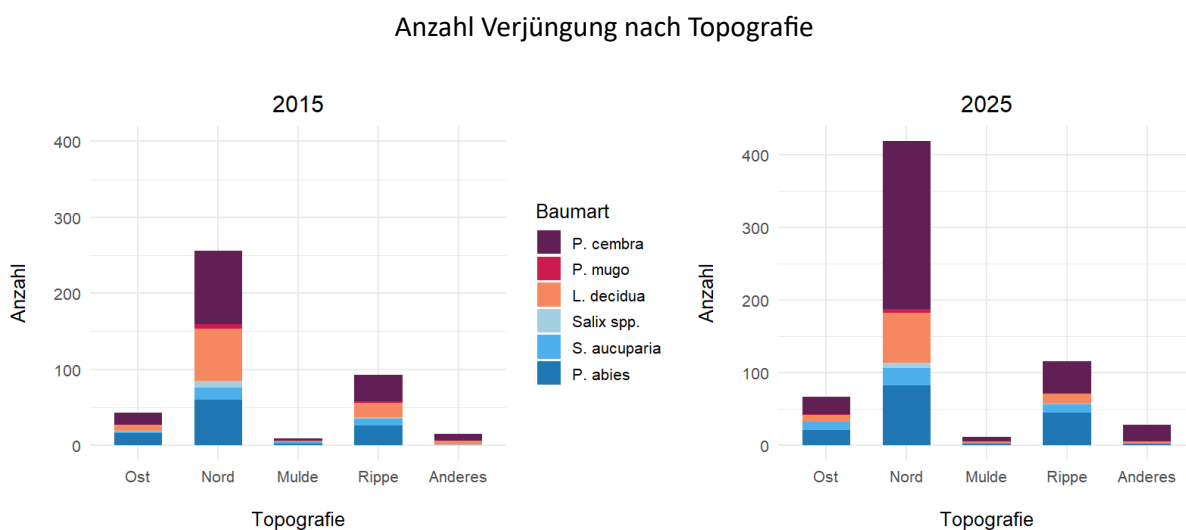


Abbildung 24: Anzahl Verjüngung nach Topografie

4.2. Schadensentwicklung

Die Entwicklung der **biotischen und abiotischen Schäden** zwischen 2015 und 2025 aus Abbildung 25 zeigt ein interessantes Bild: Während 2015 Nadelschüttepilze, spezifisch die Arvenschütte (*Phacidium infestans*) vor allem bei *P. cembra* (0.8 % der lebendigen Bäume betroffen) häufig auftrat, war er 2025 bei allen drei Baumarten der am stärksten vertretene Schaden (*P. cembra* 1.2 %, *P. mugo* 1.7 %, *L. decidua* 4.6 %). Die Zunahme der Nadelschüttepilze ging mit einer deutlichen Abnahme des Triebsterbens bei *P. mugo* (2015: 2.3 %, 2025: 0.3 %) einher. Die Herbivorie⁸ zeigte bei *P. cembra* eine Zunahme (2015: 0.1 %, 2025: 0.4 %) und bei *P. mugo* (2015: 1.8 %, 2025: 1.3 %) eine Abnahme, während *L. decidua* seit der letzten Inventur weiterhin ziemlich verschont blieb. Das Triebsterben nahm bei allen Arten ab, am stärksten bei *P. mugo* (siehe oben) und *L. decidua* (2015: 0.5 %, 2025: 0.1 %), bei *P. cembra* nur leicht. Frosttrocknis trat 2015 bei *P. cembra* noch nicht auf, 2025 ist sie nun in geringerem Umfang nachweisbar. Die beiden anderen Arten blieben diesbezüglich weitgehend unverändert.

Relative Anteile der Schadtypen aller lebendigen Bäume pro Baumart

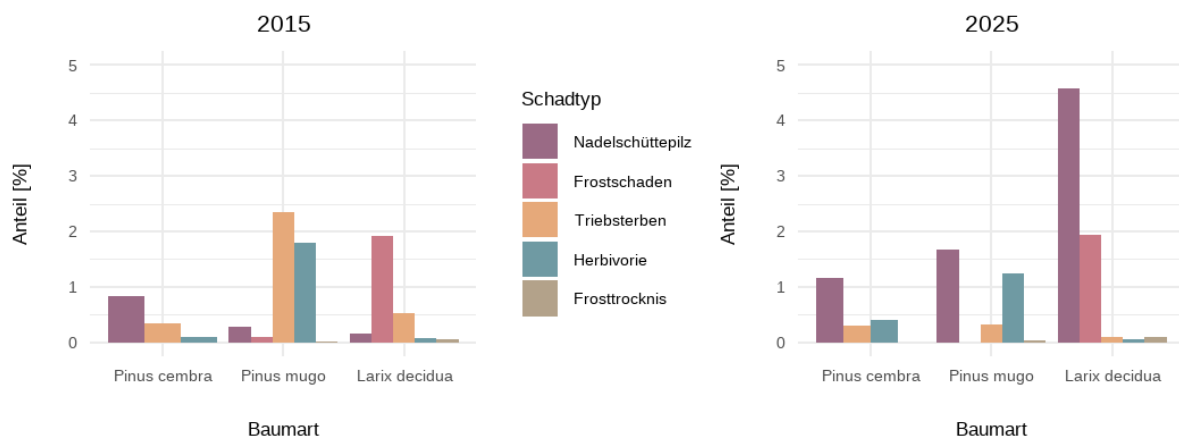


Abbildung 25: Relative Anteile der Schadtypen aller lebendigen Bäume pro Baumart

Unter den Nadelschüttepilzen werden die Arvenschütte (*Phacidium infestans*) der Abbildung 26 sowie die diesjährig erstmals so stark beobachtete Hypodermella-Lärchennadelschütte (*Hypodermella laricis*) der Abbildung 27 zusammengefasst.



Abbildung 27: Von *Hypodermella laricis* betroffene Lärchennadeln am Stillberg, Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025



Abbildung 26: Von *Phacidium infestans* betroffene Arvennadeln, Quelle: Arvenschneepilz (*Phacidium infestans*). (o. J.).

⁸ Am Stillberg geht die Herbivorie vor allem vom Birkwild aus (Schönenberger & Frey, 1988; Streule, 1974).

Auch bei *P. mugo* wurden auffällig viele abgestorbene Nadeln mit Pilzsporen festgestellt, deren Erscheinungsbild stark jenem der beiden anderen erfassten Schüttepilze ähnelte und daher ebenfalls diesem Schadenstyp zugeordnet wurden. Eine genauere Untersuchung, wie sie bei der Identifizierung der Hypodermella-Lärchennadelschütte durchgeführt wurde, erfolgte jedoch (noch) nicht. Bei den abgestorbenen *P. mugo* wurden ebenfalls meist befallene Nadeln vorgefunden. Diesen Bäumen wurde der Schüttepilz daher 2025 als Todesursache zugeordnet und betraf bei *P. mugo* 101 Individuen. Auch neun *P. cembra* sowie zehn *L. decidua* sowie starben höchst wahrscheinlich durch den Nadelschüttepilz ab. Ein einzelner Todesfall von *L. decidua* ist auf Frosteinwirkung zurückzuführen. Diese insgesamt 121 Individuen sind in den Auswertungen nicht erfasst, da die Analyse nur auf jenen Bäumen beruht, welche in beiden Feldaufnahmen lebend waren. 2015 wurden mögliche Todesursachen durch Schäden nicht erfasst.

Um das stark erhöhte Nadelschüttevorkommen dieses Jahres noch besser verstehen zu können, zeigt die Abbildung 28 die räumliche Verteilung der Pilze Bezug auf die Baumarten. Dabei fällt auf, dass sich der Pilzbefall 2015 bei *L. decidua* (*Hypodermella laricis*) und *P. mugo* (unklarer Erreger) fast ausschliesslich auf den oberen Bereich der Aufforstung beschränkte, während *P. cembra* (*Phacidium infestans*) verstärkt in den unteren Höhenstufen betroffen war. 2025 zeigt sich bei *L. decidua* ein umgekehrtes Bild: Der Befall konzentrierte sich vor allem auf die mittleren und unteren Höhenstufen. Auch bei *P. mugo* dehnte sich der Befall in die tieferen Bereiche aus, während das Bild bei *P. cembra* relativ konstant blieb. Die Anzahl befallener Bäume nahm jedoch bei allen Arten deutlich zu, insbesondere bei *L. decidua*. Die prozentualen Veränderungen sind der vorhergehenden Abbildung 25 zu entnehmen.

Räumliche Verbreitung der Nadelschüttepilze

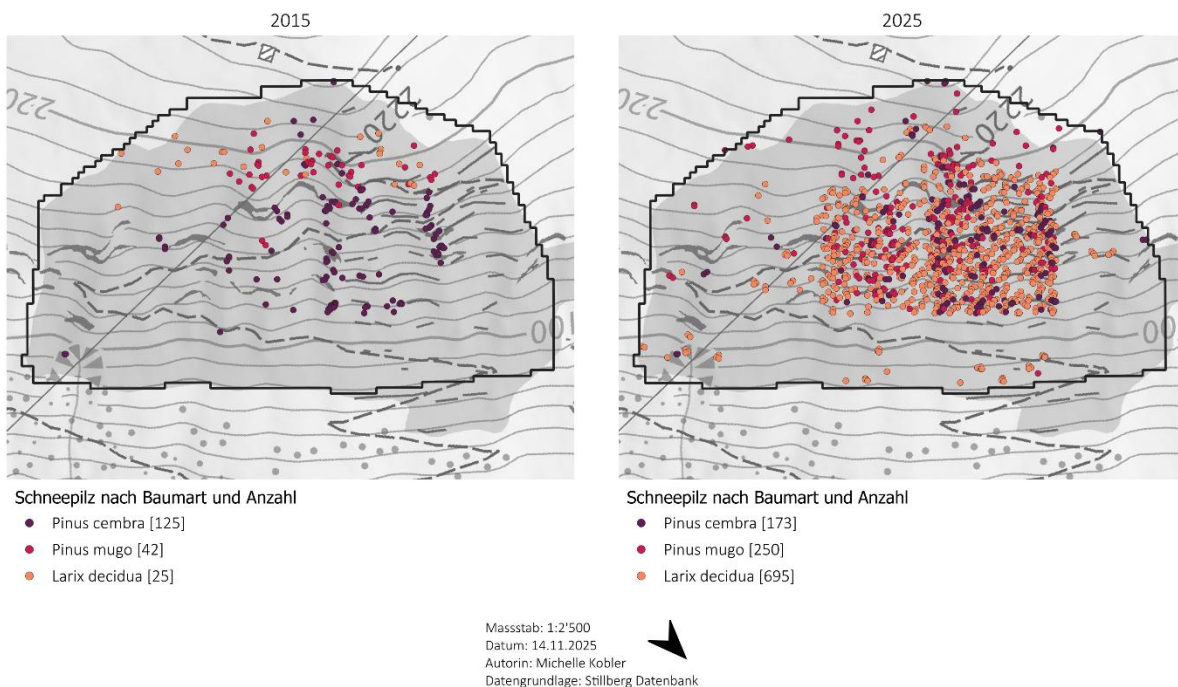


Abbildung 28: Räumliche Verteilung der Nadelschüttepilze 2015 und 2025

Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen, dass die Nadelschüttepilze 2015 bei den Pinus Arten am häufigsten auf Rippenstandorten anzutreffen war, gefolgt von Ostausrichtung bei *P. cembra* und Nordausrichtung bei *P. mugo*. Die Lärchennadelschütte dominierte deutlich bei der Nordausrichtung. 2025 waren überall die nördlichen Ausrichtungen am meisten geprägt von den Pilzen, gefolgt von den Rippenstandorten bei den Pinus Arten und der Ost Ausrichtung bei *L. decidua*. Diese Art zeigt über die anderen Standorte hinweg ein ausgeglichenes Vorkommen.

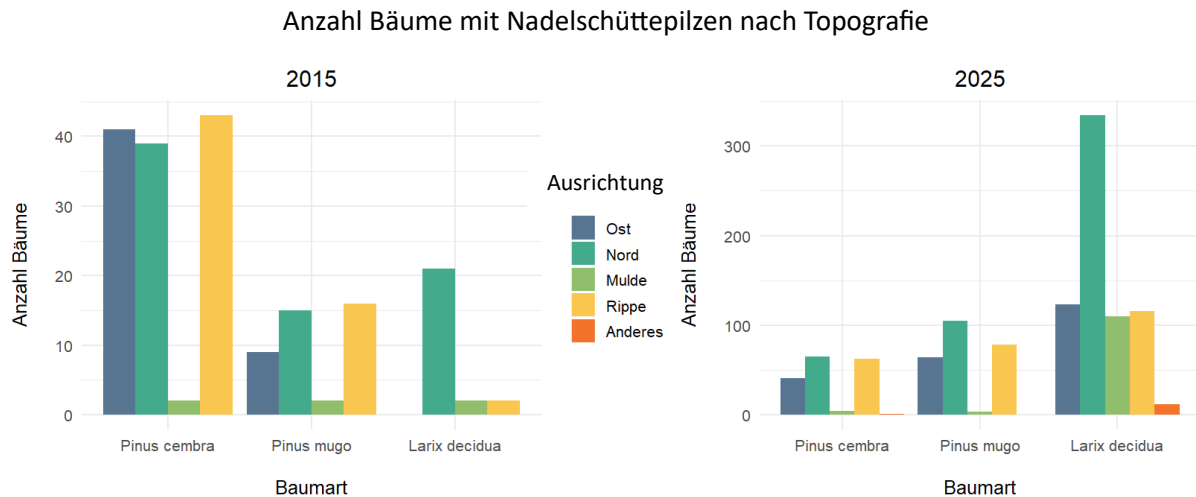


Abbildung 29: Verteilung der Bäume mit Nadelpilzerkrankungen auf die verschiedenen Topologien

Nebst Frostschäden können weitere abiotische Einwirkungen, wie **mechanische Ereignisse** mit Schädigungen am Stamm die Bäume schwächen oder deren Absterben verursachen. Bereits durch die Setzung der Schneedecke sowie Schneekriechen⁹ und Schneegleiten¹⁰ entsteht ein talwärts gerichteter Druck auf die Stämme, wodurch Säbelwuchs, Stammspaltungen (Abbildung 30) oder gar ein Stammbruch begünstigt werden.



Abbildung 30: Spaltungen an der Stammbasis von *L. decidua*, Quelle: Michelle Kobler aus den Feldaufnahmen 2025.

⁹ Setzung des Schnees am Hang, Schneebewegung ist an der Oberfläche am grössten, am Boden bewegt er sich nicht (Eidg. Forschungsanstalt WSL. (o. J.-d)).

¹⁰ Abgleiten der Schneedecke auf der Bodenoberfläche, starke Kräfte wirken auf die Baumbasis Eidg. Forschungsanstalt WSL. (o. J.-d).

Am Stillberg konnte bereits 20 Jahre nach der Pflanzung gezeigt werden, dass 70% der Bäume von Säbelwuchs betroffen waren und rund 2% der Bäume Stammbrüche oder -spaltungen aufwiesen (*Auswirkungen von Schneebewegungen auf Bäume*, o. J.). Das starke Vorkommen von Bäumen mit Säbelwuchs zeichnete sich erneut bei den diesjährigen Feldaufnahmen ab. Abbildung 31 zeigt diese typische Wuchsform der meisten Bäume. Lediglich Bäume in den wenigen flachen Teilen der Aufforstung weisen einen geringeren bis nicht vorhandenen Säbelwuchs auf. Auch Entwurzlungen kamen teilweise vor (Abbildung 32).



Abbildung 31: Typischer Säbelwuchs, hier am Beispiel von *L. decidua*, Quelle: Michelle Kobler aus den Feldaufnahmen 2025.



Abbildung 32: Entwurzelte *L. decidua*, Quelle: Michelle Kobler aus den Feldaufnahmen 2025.

Abbildung 33 zeigt die relativen Anteile an Stammschäden pro Baumart der beiden letzten Feldaufnahmen über alle lebendigen Bäume. Bei *P. cembra* lässt sich über alle Stammschäden ein leichter Rückgang verzeichnen, während bei *L. decidua* insbesondere beim Bruch sowie der Spaltung der Stammbasis ein Rückgang erkennbar ist. *P. mugo* verzeichnet bei diesen beiden Kategorien hingegen einen Zuwachs. Ausserdem zeigt *P. mugo* eine sehr deutliche Abnahme der hängenden Stämme, während bei *L. decidua* diesbezüglich nur eine geringe Abnahme zu beobachten ist. Da fast alle Individuen von Säbelwuchs betroffen waren, wurde dieser Stammschaden nicht aufgenommen.

Rückgänge von Schäden, wie bei hängenden Bäumen von *P. mugo*, lassen sich am ehesten durch das Absterben betroffener Individuen erklären, da Stammschäden und Wuchsformen irreversibel sind und auch zu einer erhöhten Mortalität beitragen können. Bedenkt man die starke Mortalität von *P. mugo* seit 2015, lässt sich der Rückgang von 11% auf 5% plausibilisieren. Ausserdem wurden aufgrund von Mortalität teilweise andere Bäume vermessen in den beiden Jahren.

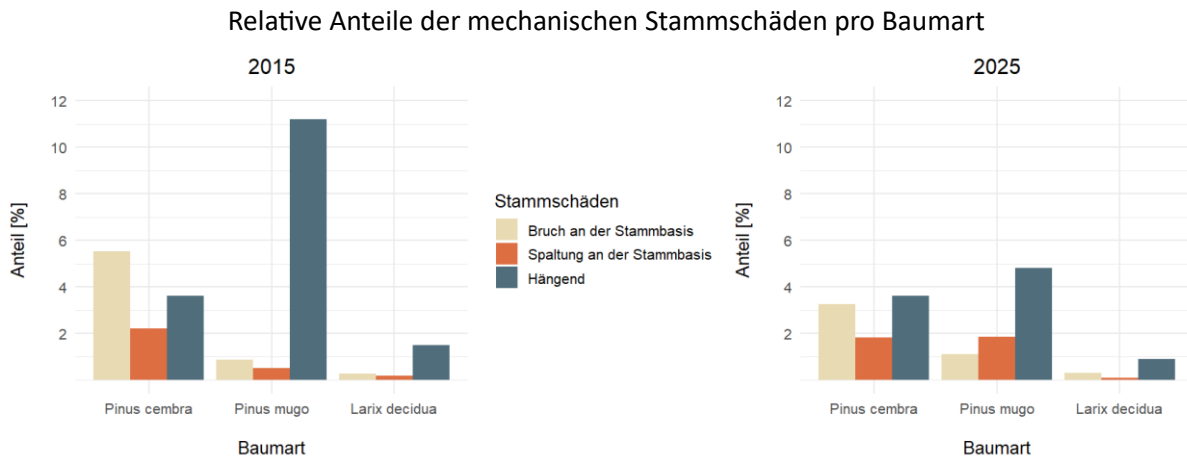


Abbildung 33: Relative Anteile der mechanischen Stammschäden pro Baumart in den Jahren 2015 und 2025

4.3. Durchmesser- und Höhenentwicklung

Die Durchmesser sowie Stammhöhen nahmen bei allen Baumarten zu, wie Abbildung 34 illustriert. *L. decidua* verzeichnete dabei das stärkste Wachstum: 43 % Zunahme im Durchmesser und 49 % in der Höhe. *P. cembra* wuchs um 38 % im Durchmesser und 41 % in der Höhe, während *P. mugo* ihren Durchmesser nur um 14 % vergrößerte, die Höhe jedoch um 35 % steigerte. *P. cembra* zeigte das ausgeglichene Wachstum zwischen Breite und Höhe, während *P. mugo* ein deutlich stärkeres Höhenwachstum bei vergleichsweise geringem Zuwachs in der Breite aufwies. Ausserdem weisen alle Baumarten lediglich Ausreisser nach oben auf, am stärksten *L. decidua*.

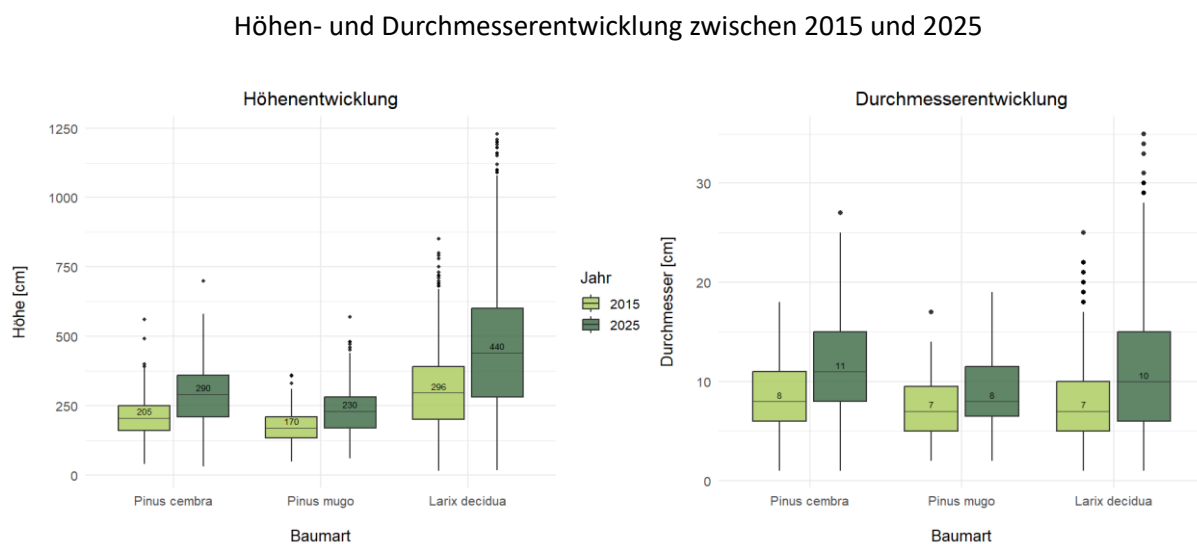


Abbildung 34: Höhen- und Durchmesserentwicklung nach Baumarten zwischen 2015 und 2025

Durch abhängige t-Tests konnte über alle Baumarten hinweg in der Höhen- sowie Durchmesserentwicklung eine deutlich signifikante Veränderung festgestellt werden bei $p < 0.05$. Bei beiden Messgrößen zeigte *L. decidua* den kleinsten p-Wert, gefolgt von *P. cembra* und *P. mugo*.

In Abbildung 35 ist ebenfalls zu erkennen, dass *L. decidua* und *P. cembra* ein deutlicheres Wachstum zwischen den beiden Feldaufnahmen in Höhe sowie Durchmesser aufweisen als *P. mugo*. Dies ist anhand der längeren Regressionsgeraden ersichtlich. Ausserdem lässt sich eine interessante Veränderung der Steigung der Regressionsgeraden zwischen 2015 und 2025 beobachten: Während diese bei *L. decidua* relativ gleich bleibt (von 30.3 % auf 29.7 %), zeigt sie bei *P. cembra* und *P. mugo* einen anderen Trend. 2015 wies *P. cembra* eine höhere Steigung (17.6 %) als *P. mugo* auf (14.5 %), was sich bei den Feldaufnahmen 2025 umkehrte. Da zeigt die Steigung für die zwei Arten die Werte 14.4 % respektive 16.2 % auf. Somit wandelte sich der Fokus des Längenwachstums von *P. cembra* 2015 zu einem leicht stärkeren Durchmesserwachstum 2025, während das Gegenteil bei *P. mugo* der Fall war.

Verhältnis der Stammhöhen zum Durchmesser nach Baumarten

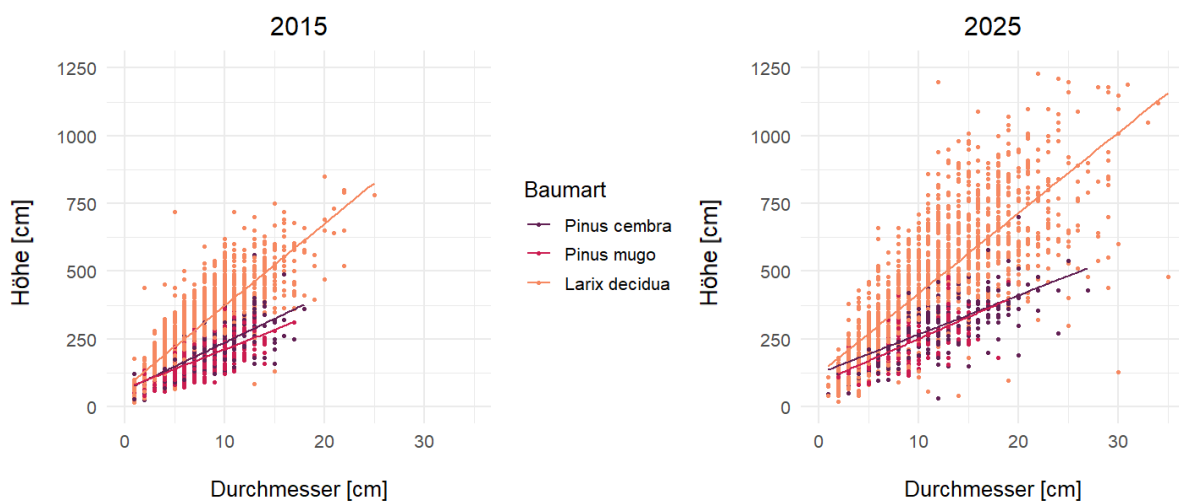


Abbildung 35: Verhältnis der Stammhöhen zum Durchmesser nach Baumarten 2015 und 2025

Das Verhältnis von Stammhöhe und Stammdurchmesser lässt sich im Mass des Schlankheitsgrades quantifizieren. Die Berechnung des Schlankheitsgrades in Tabelle 2 zeigt dieselben Verhältnisse auf wie die Regressionsgeraden in Abbildung 35, weist jedoch leicht höhere Werte auf, da Ausreisser stärker gewichtet werden. *L. decidua* zeigt in beiden Jahren einen Schlankheitsgrad, welcher auf verhältnismässig höhere und schlankere Bäume schliessen lässt, im Gegensatz zu *P. cembra* und *P. mugo*, welche eher einen gedrungenen Habitus mit grösserem Stammdurchmesser aufweisen. Während *P. cembra* unverändert blieb zwischen den beiden Jahren, nahmen die Schlankheitsgrade von *P. mugo* und *L. decidua* geringfügig zu. Die Abbildung 36 und Abbildung 37 widerspiegeln diese Schlankheitsgrade und damit einhergehenden Wuchsformen.

Tabelle 2: Schlankheitsgrad der Baumarten in den Jahren 2015 und 2025

	2015	2025
<i>P. cembra</i>	27	27
<i>P. mugo</i>	26	28
<i>L. decidua</i>	42	44

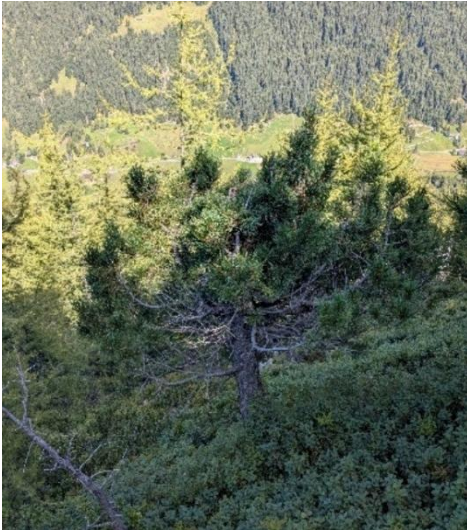


Abbildung 36: Gedrungener Habitus von *P. cembra*, Quelle: Viktoria Frank, bei den Feldaufnahmen 2025.



Abbildung 37: Schlanker und hochgewachsener Habitus von *L. decidua*, Quelle: Michelle Kobler, bei den Feldaufnahmen 2025

4.4. Schutzwirksamkeit von Einzelbäumen gemäss Feldaufnahmen

Die Schutzwirksamkeit der Einzelbäume beruht auf dem Vergleich der Höhe der vermessenen Bäume und den Schneehöhen. Über beide Kriterien hinweg (maximale und durchschnittlich maximale Schneehöhen) zeigte sich eine Zunahme der Anzahl schutzwirksamer Bäume zwischen den beiden Feldaufnahmen.

Kriterium 1: Bäume doppelt so hoch wie die durchschnittlich maximale Schneehöhe

Unter Kriterium 1 lässt sich zwischen 2015 und 2025 ein Anstieg von 982 schutzwirksamen Bäumen 2015 hin zu 1'394 Bäumen 2025 verzeichnen (Abbildung 38). Der Anteil der *P. mugo*, die das Kriterium der Schutzwirkung erfüllten, stieg um 220 %, während bei *P. mugo* 100 % und bei *L. decidua* 35 % mehr Bäume schutzwirksam waren. Insgesamt erhöhte sich damit die Anzahl der schutzwirksamen Bäume um 412, was über alle Baumarten hinweg einem Anstieg von 42 % entspricht.

Schutzwirksame Bäume 2015 vs. 2025 bei 2-facher Baumgrösse im Verhältnis zur durchschnittlich maximalen Schneehöhe

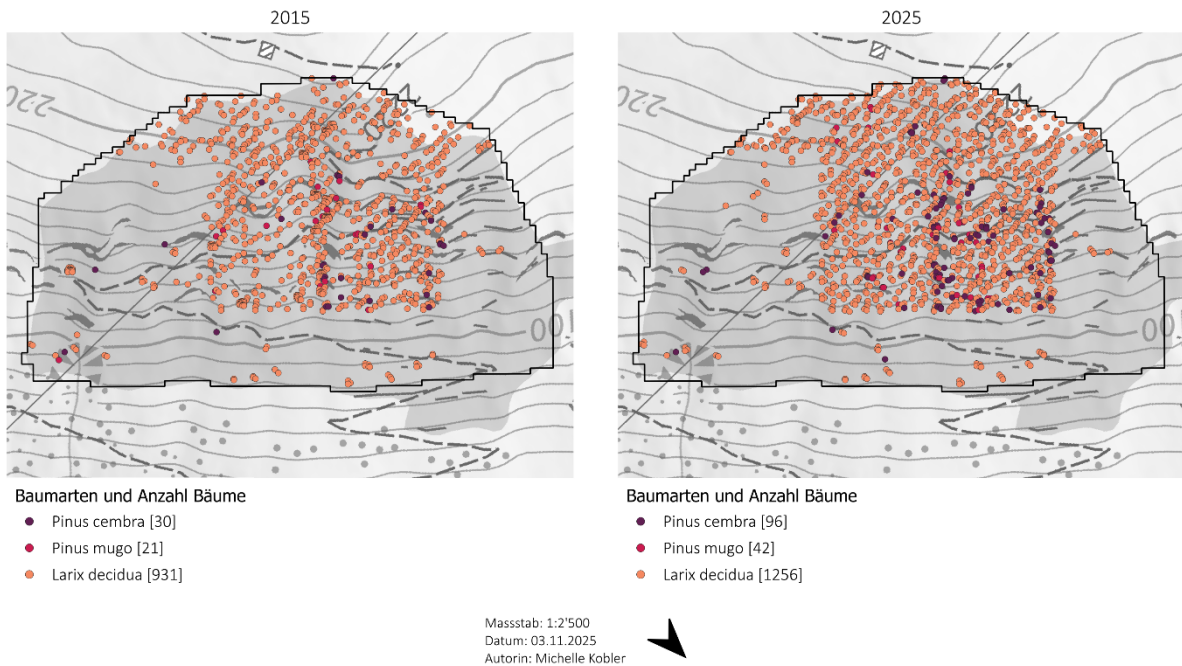


Abbildung 38: Schutzwirksame Bäume 2015 vs. 2025 bei 2-facher Baumgrösse im Verhältnis zur maximal durchschnittlichen Schneehöhe und Anzahl schutzwirksamer Bäume pro Hektar.

Die Zunahme der schutzwirksamen Bäume ist an Nord- und Rippenstandorten am deutlichsten, gefolgt von den Oststandorten. In den Mulden ist keine Zunahme zu beobachten (Abbildung 39). Die Anzahl schutzwirksamer Bäume pro Hektar nahm von 426 auf 617 Bäumen deutlich zu zwischen den beiden Aufnahmen¹¹.

Anzahl schutzwirksamer Bäume nach Topografie unter Kriterium 1

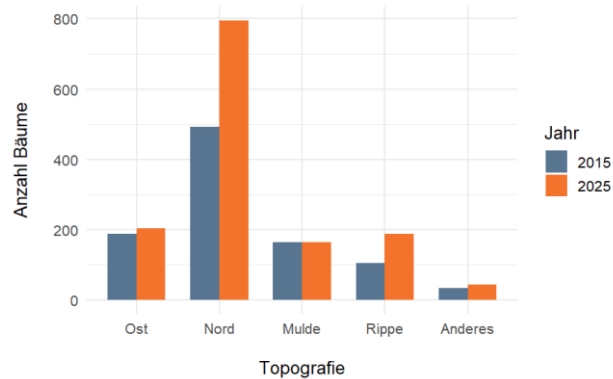


Abbildung 39: Anzahl schutzwirksamer Bäume nach Topografie unter Kriterium 1

¹¹ Für diese Berechnung wurden nur diejenigen Bäume berücksichtigt, welche innerhalb der zusammenhängenden Fläche der aufgenommenen Einheitsflächen liegen.

Kriterium 2: Bäume doppelt so hoch wie die maximale Schneehöhe

Abbildung 40 zeigt, dass unter dem strengeren Kriterium deutlich weniger Bäume schutzwirksam sind. Zwischen den beiden Aufnahmen zeigt sich über alle Arten hinweg eine Veränderung von 128 Bäumen 2015 zu 643 Bäumen 2025. Dieser Anstieg auf rund 515 Bäumen entspricht einer Zunahme von 402 %, was deutlich höher ist als unter Kriterium 1. 2015 ist ersichtlich, dass die schutzwirksamen Individuen sehr spärlich verteilt sind, und sicherlich noch keinen umfassenden Schutz bieten können, während die Lücken 2025 zwar abnehmen, jedoch noch nicht so flächig geschlossen sind wie unter Kriterium 1. Auch unter diesem Kriterium leistet *L. decidua* den grössten Anteil an die Schutzwirksamkeit. Während 2015 noch kein Individuum von *P. mugo* schutzwirksam war, erfüllen 2025 wenigstens 2 Bäume das strengere Kriterium. Bei *P. cembra* erhöhte sich die Anzahl Bäume von 2 auf 5 schutzwirksame Individuen. Auch hier nahmen die schutzwirksamen Bäume pro Hektar von 48 auf 281 deutlich zu.

Schutzwirksame Bäume 2015 vs. 2025 bei 2-facher Baumgrösse im Verhältnis zur maximalen Schneehöhe

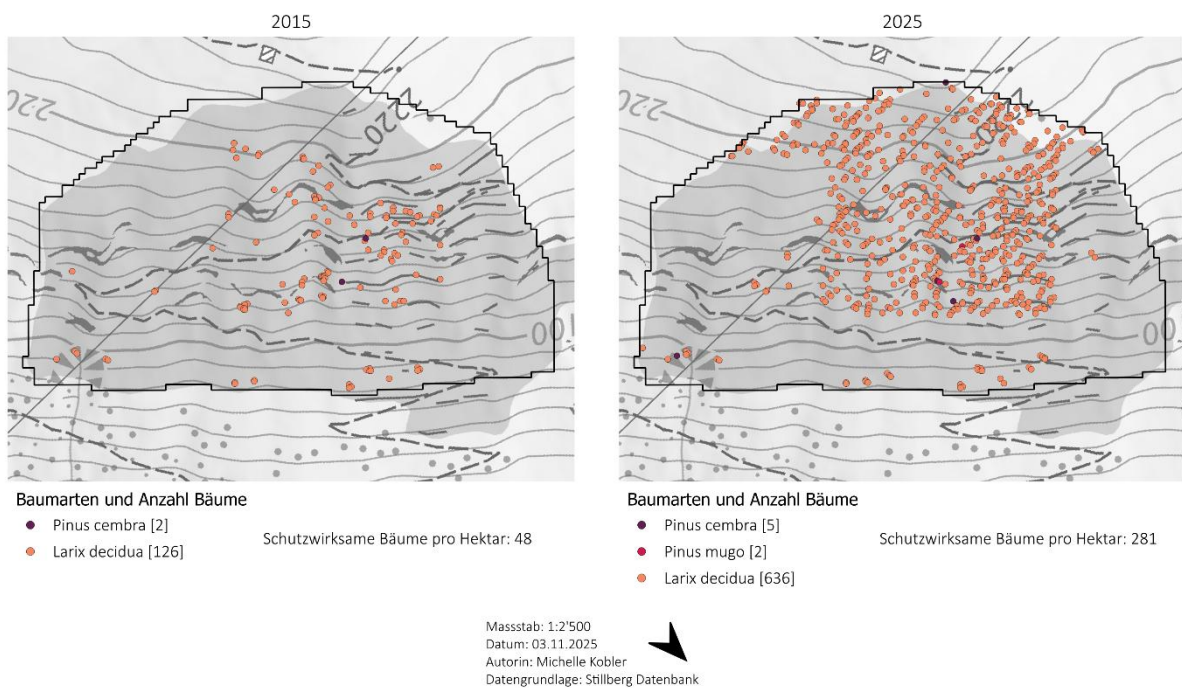


Abbildung 40: Schutzwirksame Bäume 2015 vs. 2025 bei 2-facher Baumgrösse im Verhältnis zur maximalen Schneehöhe und Anzahl schutzwirksamer Bäume pro Hektar.

Im Gegensatz zu Kriterium 1 zeigte sich unter Kriterium 2 insbesondere in den Mulden eine deutliche Zunahme der schutzwirksamen Bäume. In den übrigen Topografien war, analog zu Kriterium 1, ebenfalls eine Zunahme festzustellen (Abbildung 41).

Anzahl schutzwirksamer Bäume nach Topografie unter Kriterium 2

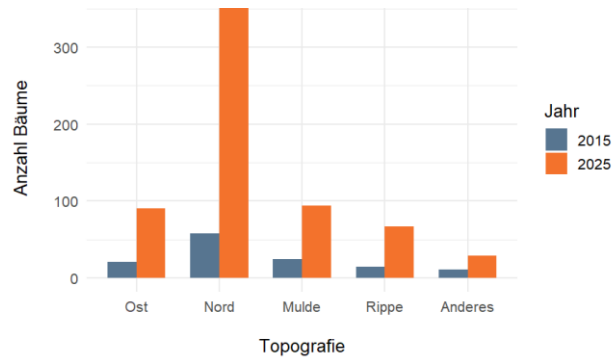


Abbildung 41: Anzahl schutzwirksamer Bäume nach Topografie unter Kriterium 2

Bei den Analysen zur Schutzwirksamkeit gilt zu berücksichtigen, dass nebst der Zunahme der generellen Schutzwirksamkeit zwischen den Jahren gewisse Bäume ihre Schutzwirksamkeit auch verloren haben, da sie entweder abgestorben sind, oder eine Einbusse ihrer Höhe durch mechanische Schäden am Stamm erlitten (vgl. Kapitel 4.2).

4.5. Schutzwirksamkeit und Baumwachstum gemäss LiDAR-Daten

Da die Beurteilung der Schutzwirksamkeit auf Grundlage der Feldaufnahmen räumlich begrenzt ist, wurde die Schutzwirksamkeit ausserdem anhand der Lidar-Daten analysiert. Somit können Aussagen über die gesamte Fläche getroffen werden, ohne dass Lücken im Bestand durch fehlende Daten hervorgerufen werden.

4.5.1. Deckungsgrad und Baumhöhen

Der Vergleich der Daten von 2015 und 2025 über die gesamte Fläche hinweg zeigt klar, dass die Aufforstung in den letzten 10 Jahren nochmals deutlich wuchs. Sowohl in der Höhe als auch in der Kronengrösse.

Abbildung 42 stellt die Baumhöhen ab 2 m dar, um nicht fälschlicherweise die hochgewachsene Krautschicht darzustellen. Im Vergleich der beiden Jahre wird ersichtlich, dass sich der Deckungsgrad von 36 % auf 59 % erhöht hat, was einerseits dadurch erreicht wurde, dass mehr Bäume die 2m Grenze überschritten haben, und andererseits durch das erhöhte Kronenwachstum, wodurch mehr Fläche abgedeckt wird. Zu beachten gilt hierbei, dass die Daten aus den Sommermonaten sind, wo *L. decidua* einen stark erhöhten Deckungsgrad aufweist im Gegensatz zu den Wintermonaten, wo sie kahl ist.

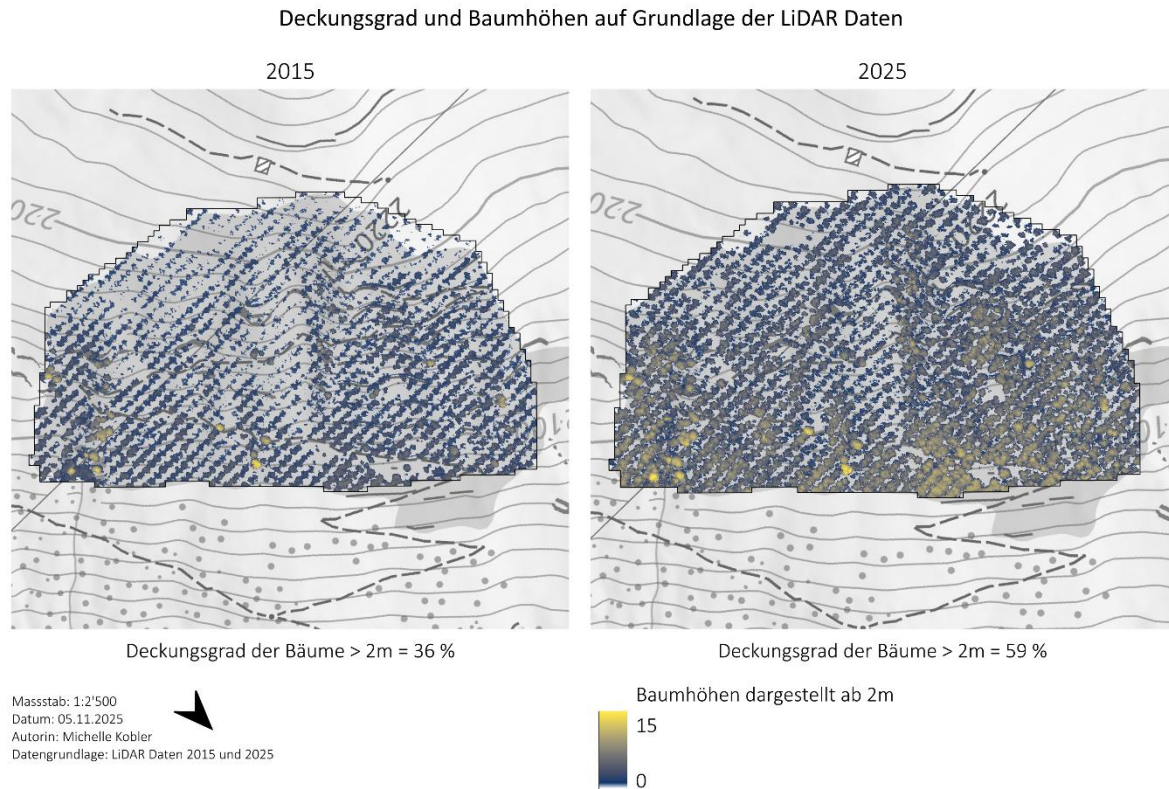


Abbildung 42: Baumhöhen in der gesamten Versuchsaufforstung auf Grundlage der LiDAR Daten

4.5.2. Kritische Lücken

Nebst dem Deckungsgrad konnte anhand der LiDAR-Daten die maximal erlaubte Lückengrösse auf Grundlage des minimalen Anforderungsprofils des NaiS ausgewertet werden. Diese erlaubte Lückenlänge ab Stangenholz beläuft sich dabei aufgrund der Neigung am Stillberg auf 30 m und die Breite auf 15 m (vgl. Kapitel 3.3.1). Abbildung 43 zeigt den Vergleich zwischen den beiden Jahren, wobei 2015 noch teils grosse Lücken vorhanden sind, die 2025 nicht mehr ersichtlich sind aufgrund der dichteren Bestockung von Bäumen im Stangen- und Baumholz. Trotzdem fällt auf, dass in den ehemaligen Lückenbereichen die Kronendeckung tief ist im Vergleich zu den anderen Standorten.

Kritische Lückengrößen

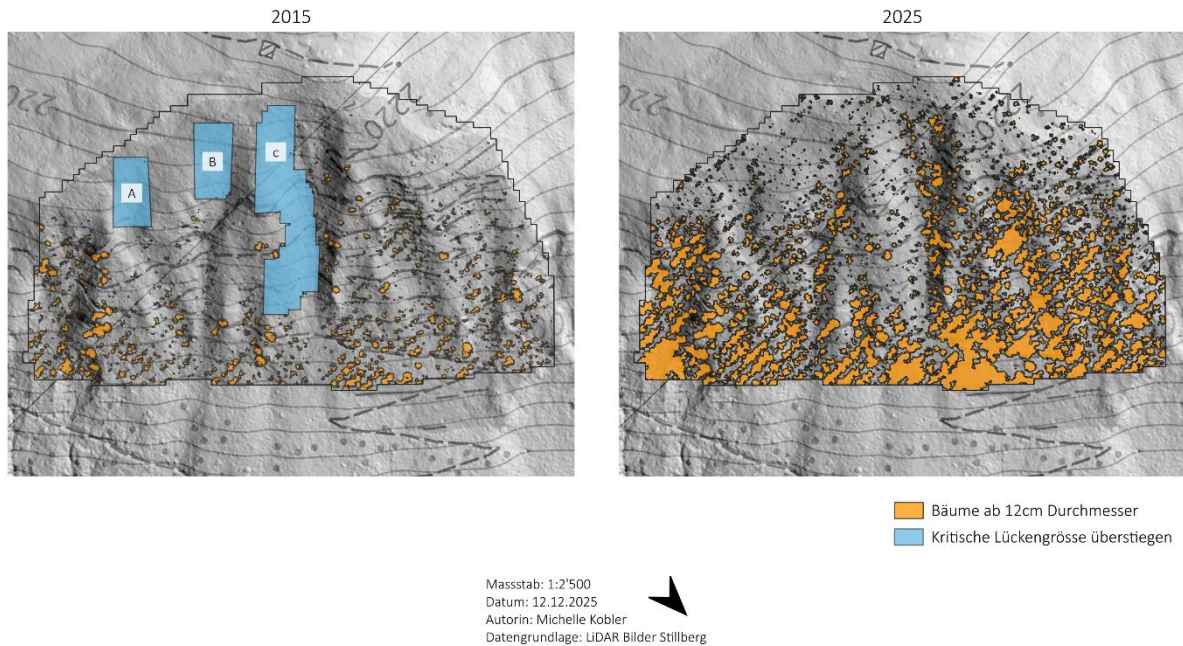


Abbildung 43: Kritische Lücken, die über den maximal erlaubten Massen des Minimalprofils von 30 m Länge in Falllinie und 15 m Breite liegen.

Abbildung 44 zeigt, dass die Lücke A hauptsächlich von Mulden geprägt ist, gefolgt von Nordausrichtungen. Die Lücken B und C hingegen sind grösstenteils nordausgerichtet, gefolgt von den Mulden. Interessanterweise hat Lücke C auch einen beträchtlichen Teil an Rippenstandorten.

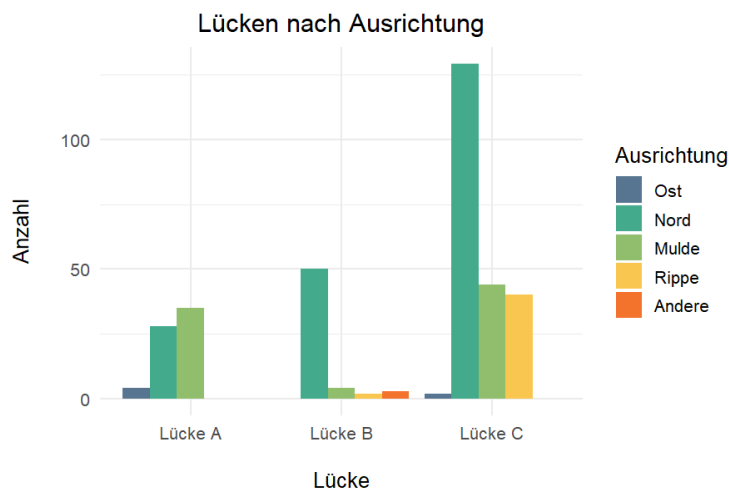


Abbildung 44: Lücken nach topografischer Ausrichtung

Die Lücke C von 2015 entspricht der teils noch aktiven Hauptlawinenrunse, in der die Baumdichte relativ tief ist aufgrund der schwierigen Wachstumsbedingungen, hoher Konkurrenz der Bodenvegetation und vermehrten frühen Ausfällen (vgl. Kapitel 2.2). Die Abbildung 45 illustriert diese Gegebenheiten der gras- und Hochstaudengeprägten Bodenvegetation.

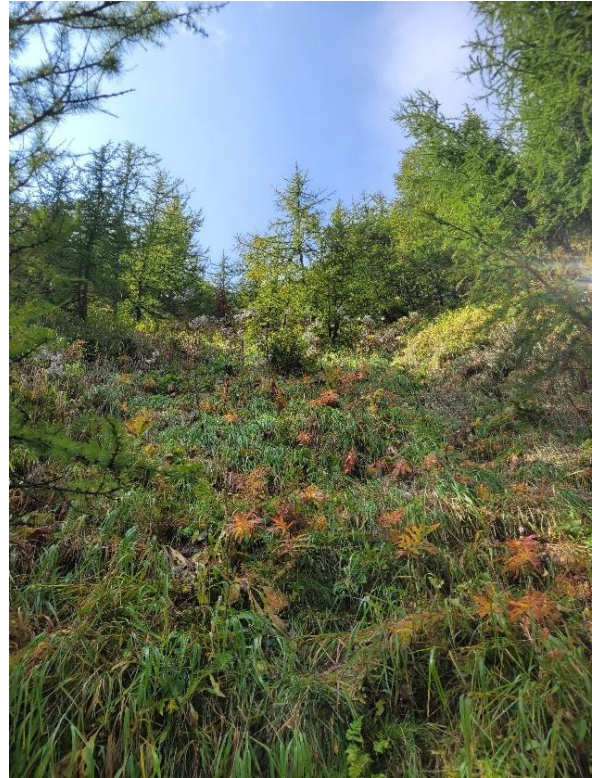
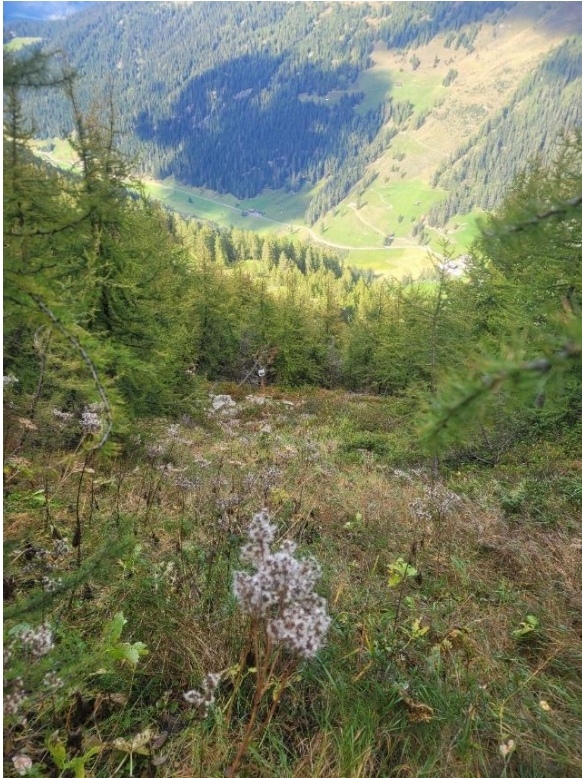


Abbildung 45: Kritische Lücken im Feld, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025.

5. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Versuchsaufforstung seit den letzten Feld- und Fernerkundungsaufnahmen im Jahr 2015 weiterhin positiv entwickelt hat: Das anhaltende Höhen- und Durchmesserwachstum der Bäume führte zu einer Zunahme des Deckungsgrades und somit auch zur fortschreitenden Schliessung von Bestandeslücken. Damit einher geht eine erhöhte Schutzwirksamkeit, was die Eignung der Aufforstung zur Erfüllung der Schutzfunktion weiterhin bestätigt. Im aktuellen Jahr wurden jedoch vermehrt Schäden in Form eines ungewöhnlich häufigen Pilzvorkommnisses festgestellt, wobei erstmals die Lärchennadelschütte (*Hypodermella laricis*) auf der Fläche nachgewiesen werden konnte. Um diese Erkenntnisse besser einordnen zu können, ist es hilfreich, zunächst die methodischen Rahmenbedingungen zu betrachten.

Da bei den diesjährigen **Feldaufnahmen** lediglich ein Teil der Fläche erfasst wurde, sind die Resultate vor dem Hintergrund der Überrepräsentation höher gelegener Einheitsflächen sowie der damit einhergehenden Unterrepräsentation tiefer gelegener Einheitsflächen einzuordnen. Insbesondere die Ergebnisse zur Durchmesser- und Höhenentwicklung dürften daher tendenziell etwas höher ausfallen, wenn Bäume bis zur untersten Höhenstufe gleichermaßen vertreten wären, da die Individuen dort tendenziell bessere Wachstumsbedingungen vorfinden.

Auch bezüglich der **LiDAR-Daten** gilt es, die Auswirkungen der unterschiedlichen Genauigkeiten darzulegen. Da die Datensätze Unterschiede in ihrer Genauigkeit der Höhe hinsichtlich der Dezimalstellen aufweisen, ergibt sich bei der Lückenberechnung eine leichte Tendenz, dass im Datensatz von 2015 noch etwas mehr Bäume im Stangen- und Baumholz vorhanden gewesen wären als nun identifiziert. Da die Mindestgrösse von 12 cm Durchmesser einer Höhe von 4,16 m entspricht (vgl. Kapitel 3.3.2), wurden aufgrund der Genauigkeit der Daten ohne Nachkommastellen für die Lückenberechnung nur Bäume ab einer Höhe von 5 m berücksichtigt. Dadurch entsteht eine Abweichung in der Höhe von bis zu 0,84 m. Im Gegensatz dazu weisen die Daten von 2025 keine Abweichung diesbezüglich auf wegen der höheren Genauigkeit. Ausserdem besteht eine vertikale Differenz von 0.05 – 0.08 m aufgrund der unterschiedlichen Genauigkeit der Höhen in den beiden Datensätzen.

Ebenfalls fliessen durch die gewählte Methode für die **Lückenberechnung** auch sehr kleine Baumkronen in die Analyse ein (vgl. Abbildung 43). Dies entspricht zwar formal dem Kriterium «Stangenholz», jedoch spielt für die Schutzwirkung bei Lawinen auch insbesondere die Kronengrösse eine Rolle. Es könnte daher sinnvoll sein, zusätzlich zum Höhenkriterium eine Mindestkronengrösse festzulegen, um vermehrt nur die Bäume zu berücksichtigen, deren Kronen für den Lawinenschutz eine hohe Relevanz aufweisen. Dies hätte jedoch zur Folge, dass auch für 2015 einige Kronen nicht berücksichtigt würden, wodurch womöglich wiederum mehr Lücken identifiziert würden, und die Schutzwirkung möglicherweise unterschätzt würde.

Bei der Bewertung der Schutzwirkung von Einzelbäumen auf Basis der **Schneepegeldaten** von 1959 – 1992 ist zu prüfen, ob diese noch repräsentativ sind. Das neue Schneetrendmodell SPASS des SLF zeigt jedoch, dass in hochgelegenen Lagen über 2000 m entlang des Alpenhauptkammes meist keine signifikanten Schneerückgänge auftreten. So auch im Dischma: Dort beträgt die nicht signifikante Abnahme der Schneehöhe etwa 1 bis 3 cm pro Dekade (Marty et al., 2025). Seit den 1960er Jahren summiert sich dies auf eine Abnahme von rund 5 bis 15 cm in der Region, was angesichts der nordöstlichen Exposition plausibel erscheint, unter den aktuellen klimatischen Entwicklungen jedoch trotzdem kritisch hinterfragt werden muss.

Trotz dieser Limitationen in der Methodik sind die erarbeiteten Resultate aussagekräftig und geben einen guten Überblick über die aktuellsten Entwicklungen der Fläche. Mit der Beendigung der

Feldaufnahmen 2026 können die bisherigen Wissenslücken noch geschlossen und der Einfluss der gewählten Stichprobe weiter ausgeglichen werden. Auf Basis dieser Überlegungen werden im Folgenden die unterschiedlichen Aspekte der Entwicklungen am Stillberg diskutiert.

5.1. Schadensdynamik

Besonders interessant ist das stark erhöhte Vorkommen der **Nadelschüttepilze**, insbesondere bei *L. decidua* und *P. mugo*. Während bei *L. decidua* der Pilz als Lärchennadelschütte identifiziert werden konnte, ist die Zuordnung des Pilzschadens an vielen *P. mugo* noch unklar. Bisher wurde bei *P. mugo* lediglich Triebsterben verzeichnet. Die diesjährigen Aufnahmen zeigten jedoch ein Schadbild, das eher an die Arvenschütte erinnert, dessen Ursache aber noch nicht abgeklärt ist. Diese Frage wird voraussichtlich erst durch die nächsten Feldaufnahmen beantwortet werden können. Ähnlich wie bei *L. decidua*, bei der ein neuer Pilz auftrat, ist auch bei *P. mugo* denkbar, dass ein bislang unbekannter Pilz eine Rolle spielt.

Als Treiber für die Lärchennadelschütte gelten langanhaltende Niederschläge oder Nebel während des Austreibens oder des Längenwachstums sowie Wärmeperioden im späten Frühjahr (Cech, 2004). Die Erkrankung kommt insbesondere über 1000 m.ü.M. vor und führt bei einem moderaten Befall lediglich zu geringfügigen Zuwachsverlusten, nicht aber zu bleibenden Schäden (Cech, 2003). Starke Befälle, insbesondere auch von jüngeren *L. decidua* können hingegen tödlich sein (Cech, 2004). Das deutlich erhöhte Auftreten der Lärchennadelschütte dieses Jahr lässt sich unter anderem durch die Kombination eines der wärmsten Junimonate seit Messbeginn sowie den aussergewöhnlich niederschlagsreichen Juli erklären. So wurde im Juli in Davos mit 22 Regentagen, die zweithöchste Niederschlagsmenge seit Messbeginn registriert (DWD et al., 2025) was günstige Bedingungen für die Ausbreitung des Pilzes geschaffen hat. Diese Umstände könnten auch die noch unbekannte Nadelpilzerkrankung von *P. mugo* gefördert haben.

Die räumliche Verteilung der Nadelschüttepilze stützt die von Schönenberger & Frey (1988) und Senn & Schönenberger (2001) aufgestellte Wirtstheorie (vgl. Kapitel 2.2), da 2015 bei *P. cembra* die meisten Infektionen auf Rippen- gefolgt von Oststandorten im mittleren und unteren Bereich gefunden wurden. Auch 2025 sind die Rippenstandorte derselben Höhenlage noch die zweithäufigste Topologie für das Vorkommen der Arvenschütte. Dass mittlerweile auch vermehrt Nord- und Oststandorte betroffen sind, könnte daran liegen, dass inzwischen mehr Bäume als Wirte dienen. Dass die Muldenstandorte, die ursprünglich als am kritischsten für die Arvenschütte eingestuft wurden, kaum Infektionen aufweisen, kann einerseits an der eben genannten Wirtstheorie liegen, wie auch die Tatsache, dass in dieser Topografie sowieso kaum mehr Bäume vorhanden sind. Im Gegensatz dazu tritt die Lärchennadelschütte 2025 am häufigsten an Nordhängen auf, während alle anderen Expositionen, einschliesslich der Mulden, etwa gleich häufig besiedelt sind. Die erhöhten Mortalitätsraten in Zusammenhang mit dem Auftreten von Nadelschüttepilzen machen eine weiterführende Beobachtung der Bestandsentwicklung notwendig, auch hinsichtlich der stärker gefährdeten Verjüngung. Es bleibt zu prüfen, inwieweit die beobachtete Verschiebung der Häufigkeiten auf einen nachhaltigen Trend hindeutet oder vielmehr einen temporären Effekt aufgrund des vergangenen Sommerklimas widerspiegelt.

Während in den ersten Jahren nach der Pflanzung das **Triebsterben** für *P. cembra* und *P. mugo* eine der wichtigsten Todesursachen darstellte (Senn & Schönenberger, 2001), ging dessen Relevanz seit 2015 deutlich zurück und es konnten 2025 keine tödlichen Schäden durch das Triebsterben festgestellt werden. Viel mehr standen dabei die zuvor diskutierten Nadelschüttepilze im Zentrum, welche bei allen drei Arten deutlich zugenommen haben.

Winterfrost und **Frostrocknis** galten bis 1985 selten als Ausfallsursache und kamen in den ersten 10 Jahren jeweils mit unterschiedlicher Intensität vor (Schönenberger & Frey, 1988). Auch in den letzten beiden Aufnahmen zeigt sich kein klarer Trend diesbezüglich. Die Herbivorie hingegen nahm bei beiden Pinus Arten deutlich zu. Auch bei den letzten beiden Feldaufnahmen konnten die aufgenommenen Frassschäden erneut dem Birkhuhn zugeordnet werden, da während der Feldaufnahmen 2025 zahlreiche Tiersichtungen sowie Kotfunde darauf hinwiesen. Dies entspricht den Beobachtungen aus den ersten Jahren der Aufforstung (Streule, 1974). Nach Streule 1977 betreffen die Frassschäden insbesondere jene vitalen Bäume mit gutem Wachstum, die im Winter über die Schneedecke hinausragen. Somit führt die Herbivorie zu einer «negativ Auslese», was für die Weiterentwicklung der Bäume kritisch sein kann. Da die Bäume mittlerweile nicht mehr in einer kritischen Wachstumsphase sind, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine mässige Belastung nicht mehr tödlich ist. Für die aufkommende Verjüngung kann die Herbivorie jedoch in den folgenden Jahren zunehmend kritisch werden.

Die **mechanischen Stammschäden** spielten in den ersten Jahren nach der Aufforstung eine untergeordnete Rolle. Zwar wurden Bäumchen, die auf skelettreichen und flachgründigen Böden gepflanzt teils entwurzelt, Stammbrüche gab es jedoch nur vereinzelt (Schönenberger & Frey, 1988). Bei den Feldaufnahmen 2015 und 2025 zeigte sich jedoch, dass über alle Baumarten hinweg Stammbrüche und -spaltungen vorkamen (vgl. Kapitel 4.2). Ein kritischer Faktor für diese Zunahme liegt in der Zunahme des Durchmessers: Während kleine und schmale Bäume einen elastischen Stamm aufweisen, der durch den Schnee niedergedrückt, und sich nach der Ausaperung wieder aufrichtet, geht diese Elastizität mit zunehmendem Durchmesser zurück (Petty & Worrell, 1981). Ab ca. 5 – 7 cm Stammdurchmesser befinden sich die Bäume in der kritischen Phase, wo sie nicht mehr genügend biegsam, jedoch auch noch nicht kräftig genug sind, um die Schneekräfte gut stemmen zu können (Bebi, Hagedorn, et al., 2009; Eidg. Forschungsanstalt WSL, o. J.-d; Solantie, 1994). In dieser Zeit sind sie besonders anfällig für Stammschäden, während mit einer weiteren Zunahme des Durchmessers die Bäume wiederum resistenter gegen Brüche und Spaltungen werden (Peltola et al., 1999).

Bei den Feldaufnahmen 2015 zeigte sich über alle Baumarten hinweg das Muster, dass die Durchmesser der Bäume mit Stammspaltungen geringfügig grösser sind (max. 11 cm bei *P. cembra*) als jene der Brüche (max. 10 bei *L. decidua*). 2025 zeigt für *P. mugo* und *L. decidua* (max. 18 cm) dasselbe Muster, während bei *P. cembra* der Durchmesser der Brüche (14 cm) höher ist als jener der Spaltungen (10 cm). Die Annahme, dass Bäume bevorzugt in einem bestimmten Durchmesserfenster brechen, bestätigt sich somit auch in den aktuellen Felddaten. Limitierend für eine verallgemeinernde Aussage ist jedoch, dass teilweise nur sehr wenige Bäume von Stammschäden betroffen sind pro Kategorie (zwischen 3 und 131 Individuen) und dass in den aktuellen Feldaufnahmen der untere Bereich der Aufforstung, wo die grössten Durchmesser sind, unterrepräsentiert ist. Mit den Daten der fortgesetzten Feldaufnahme 2026 könnte weiter untersucht werden, ob sich wirklich ein Muster erkennen lässt, bei welchen Durchmessern die Bäume eher gespalten, respektive gebrochen werden. Sind Bäume von Stammverletzungen betroffen, sind sie auch anfälliger für Schäden durch Pilze (Gauthier et al., 2015), was für die langfristige Vitalität der Bäume kritisch sein kann.

5.2. Entwicklung der Bestandesbäume und der aufkommenden Verjüngung

Die Resultate zeigen, dass über alle Arten hinweg das **Durchmesser- sowie Höhenwachstum** zunahm (vgl. Abbildung 34), was der erwarteten Wachstumsdynamik entspricht. Setzt man diese beiden Werte ins Verhältnis, um den Schlankheitsgrad auszurechnen, so ergaben sich 2015 und 2025 jeweils deutlich höhere und stärker gestreute Werte bei *L. decidua* im Gegensatz zu den Pinus Arten (vgl. Tabelle 2 und Abbildung 35).

Da *L. decidua* seit langem die Baumart mit der höchsten Überlebensrate ist (Abbildung 21), kommt sie auch an sehr unterschiedlichen Standorten bezüglich Topografie und Höhenlage vor. Dadurch ist *L. decidua* teils sehr guten, teils aber auch sehr schlechten Wachstumsbedingungen ausgesetzt, was sich während der Feldarbeit deutlich zeigte: Während gewisse Einheitsflächen oder Einzelbäume aus lauter kleinen Individuen bestanden, welche kaum über 1.50 m reichten, im Extremfall lediglich 17 cm (Abbildung 47) bis hin zu Einheitsflächen, welche Höhen bis zu 12.3 m verzeichneten (Abbildung 46), und das bei demselben Alter. Solch extreme Unterschiede liessen sich bei den Pinus Arten nicht beobachten. Dies könnte eine mögliche Erklärung für die stärker gestreuten Werte bei *L. decidua* sein im Gegensatz zu den Pinus Arten.



Abbildung 46: Hochgewachsene *L. decidua* mit orangenen Pfeilen, die auf sehr schlanke, teils abgestorbene Bäume in der Mitte des Plots zeigen. Quelle: Michelle Kobler bei den Felddaufnahmen 2025.



Abbildung 47: Niederwüchsige *L. decidua* an einem wohl eher ungünstigen Standort. Quelle: Michelle Kobler bei den Felddaufnahmen 2025.

Diese Befunde zum Verhältnis des Durchmesser- und Höhenwachstum widerspiegeln sich auch in der Auswertung von Dellagiovanna (2011). Dabei waren zwar die maximalen Werte noch deutlich tiefer, trotzdem zeigte *L. decidua* auch hier die grösste Streuung und steilste Regressionsgerade.

Da tiefe **Schlankheitsgrade** ein Indiz sind für die Baumstabilität gegenüber Schnee- oder Windbelastung (Pach et al., 2022) stellen sie auch besonders im Schutzwald eine wichtige Kenngrösse dar. Die Entwicklung dieses Parameters hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab, wie beispielsweise Standort, Temperatur, Baumart und Bestandesstruktur (Deng et al., 2019; Feldpausch et al., 2011; Hulshof et al., 2015). Zudem konnten Deng et al. (2019) zeigen, dass Individuen infolge einer Ausdünnung des Bestandes aufgrund des erhöhten Platzangebotes eine Zunahme des Durchmessers erfahren bei einer gleichzeitigen Einbusse des Höhenwachstums. Um sich den gewonnenen Konkurrenzvorteil, unter anderem durch erhöhte mechanische Stabilität jedoch zu sichern, wird anschliessend wieder mehr Energie in das Höhenwachstum gesteckt, um konkurrenzfähig zu bleiben. *L. decidua* als typische Pionier- und Lichtbaumart zeichnet sich dadurch aus, dass sie natürlicherweise eher hohe Schlankheitsgrade hat, da sie verstärkt in das Höhenwachstum investiert (Bundesforschungszentrum für Wald, o. J.), was auch die aktuellen Daten bestätigen.

Insbesondere in den unteren Bereichen der Aufforstung hat *L. decidua* bereits beträchtliche Höhen und ein ziemlich geschlossenes Kronendach erreicht (vgl. Abbildung 42). Aufgrund des sehr engen Pflanzabstandes (70 cm) und des geringen Ausfalls gewisser Einheitsflächen finden sich hier überwiegend sehr hohe und schlanke Bäume. In diesen Beständen sind die Schlankheitsgrade folglich als kritisch bezüglich ihrer Stabilität einzustufen. Abbildung 46 zeigt eine solche Einheitsfläche, bei welcher nebst der hohen Schlankheitsgrade ein weiteres Phänomen sichtbar wird: Die orangen Pfeile deuten auf eher mittig gepflanzte Individuen, welche zwischen 2015 und 2025 abgestorben sind. Ein möglicher Grund dafür ist die Konkurrenz (insbesondere um Licht), die von den höheren benachbarten Bäumen ausgeht und somit zur Selbstausdünnung der schwächeren Individuen führt (Thomas, 2018). Dieser Prozess zeigt auch, dass sich die Aufforstung in gewissen Bereichen bereits zu einem selbstregulierenden Waldbestand entwickelt hat.

Ein weiteres Indiz dafür ist die natürliche **Verjüngung**, die je nach Art unterschiedlich ausfällt (vgl. Kapitel 4.1.2). Der Rückgang der Verjüngung bei *P. mugo* erscheint angesichts der hohen Mortalität nachvollziehbar, während *P. cembra* eine stabile Entwicklung zeigt. Bemerkenswert ist die Zunahme der Verjüngung bei *P. abies*, da dies ausserhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets erfolgt (*NaiS Anhang 2A: Bestimmen des Standortstyps*, 2009). Besonders wertvoll ist die Verjüngung von *S. aucuparia*, da diese Art gut an die Bedingungen im Gebirgswald angepasst ist (Eidg. Forschungsanstalt WSL, o. J.-b). Dass in den Muldenstandorten mit hoher Vegetationskonkurrenz und schlechten Wachstumsbedingungen kaum natürliche Verjüngung vorkommt, ist insbesondere für den Erhalt und die weitere Förderung der Schutzwirksamkeit kritisch. Um den Bestand langfristig zu sichern, ist es daher entscheidend, die bestehende Verjüngung zu erhalten und weitere Nachwuchsbäume gezielt zu fördern.

5.3. Entwicklung der Schutzwirksamkeit

Die Entwicklung der Schutzwirksamkeit zeigte zwischen 2015 und 2025 eine deutliche Zunahme der Anzahl schutzwirksamer Bäume sowohl bei maximaler als auch bei durchschnittlicher maximaler Schneehöhe (Abbildung 38 und Abbildung 40). Gemäss des minimalen Anforderungsprofils von NaiS wurde 2015 die Schutzwirksamkeit aufgrund des zu geringen Deckungsgrades (Abbildung 42) und des Vorhandenseins kritischer Lücken (Abbildung 43) noch nicht erreicht. 2025 wurde das Minimalprofil erreicht, bedingt durch die Erhöhung des Deckungsgrades und die Lückenschliessung. Die Analyse der Lücken gemäss des Idealprofils könnte insbesondere 2025 eine differenziertere Beurteilung ermöglichen. Im Vergleich zu früheren Prognosen lässt sich diese Entwicklung wie folgt einordnen:

Die Einschätzungen der Schutzwirksamkeit von Dellagiovanna (2011) bei **maximaler Schneehöhe** für die Jahre 2015 und 2020 deuten lediglich stellenweise auf eine ausreichende Schutzwirkung hin und lassen noch keinen flächendeckenden Schutz erkennen. Bei **durchschnittlich maximaler Schneehöhe** hingegen sollte der Schutz stellenweise bereits 2015 gewährleistet, und im Jahr 2020 über die gesamte Fläche hinweg als genügend bis gut eingestuft werden.

Über alle Daten der Feldaufnahmen hinweg, lassen sich diese Einschätzungen für die Zukunft aufgrund der Verteilung der schutzwirksamen Bäume aus der Abbildung 40 wie folgt einordnen: Während bei **maximaler Schneehöhe** 2015 noch kaum von einer flächendeckenden Schutzwirkung gesprochen werden kann, zeigt 2025 eine verbesserte und dichtere Verteilung schutzwirksamer Bäume, welche jedoch noch nicht ganz geschlossen ist. Ob dieser Zuwachs in den letzten fünf Jahren stattgefunden hat oder bereits im Jahr 2020 vorhanden war, lässt sich nicht eindeutig sagen. Sicherlich war der Bestand 2020 jedoch noch weniger dicht als heute. Die aufgestellte Prognose für 2015 lässt sich somit bestätigen, jene von 2020 in Anbetracht der Daten aus 2025 jedoch eher ablehnen, da der Schutz besser ist als damals vermutet.

Die Prognosen bezüglich der **durchschnittlich maximalen Schneehöhe** lässt sich für 2020 eher bestätigen. Denn die Daten aus 2025 zeigen ein sehr deutliches Schutzbild, und es kann davon ausgegangen werden, dass diese deutliche Zunahme an schutzwirksamen Bäumen nicht erst gänzlich in den letzten fünf Jahren stattfand. Für 2015 lässt sich sagen, dass der Schutz zwar nicht vollständig flächendeckend, aber weitgehend vorhanden war und lediglich in einigen Bereichen noch etwas gering ausfiel (Abbildung 38). Die Prognose war diesbezüglich eher etwas zu konservativ.

Da in der Arbeit von Dellagiovanna (2011) eine andere Methode zur Berechnung der Schneehöhen verwendet wurde, sind die Prognosen mit etwas Zurückhaltung an- beziehungsweise abzulehnen. Die in der vorliegenden Arbeit errechneten Schneedaten sind jedoch meist etwas höher als damals, sodass die erneute Bewertung der Schutzwirksamkeit tendenziell auf etwas strengeren Kriterien beruht. Da in beiden Fällen jedoch nur jeweils 3 Bäume pro Einheitsfläche gemessen wurden und somit für die Analyse zur Verfügung stehen, ist die Anzahl effektiv schutzwirksamer Bäume deutlich höher anzusetzen.

Unter Berücksichtigung der weiteren Kriterien des Deckungsgrades und der Lückenlänge gemäss NaiS können die Entwicklungen zusätzlich über die gesamte Fläche eingeordnet werden und deutlich unterstrichen werden, dass die Schutzwirkung bis 2025 stetig zunahm. Während 2015 der Deckungsgrad noch unter dem Schwellenwert gemäss NaiS lag, wurde dieser 2025 überschritten. Auch die Lücken, welche 2015 gemäss Minimalprofil noch grossflächig bestanden, schlossen sich in den letzten 10 Jahren sogar vollständig.

Darüber hinaus zeigt das Auftreten einzelner Lawinen aus 2019 und 2021 (Piazza et al., 2024), dass bis vor kurzem durchaus noch punktuell offene Stellen vorhanden waren, und vielleicht auch noch sind. Dies wird auch unterstützt durch das starke Vorkommen von Reitgras in den identifizierten Lücken (vgl. Abbildung 45), welches typisch ist für Lawinenrunsen (Schönenberger & Frey, 1988) und stellt gleichzeitig eine Gleitoberfläche mit wenig Reibung dar (Fromm et al., 2018). Die verzeichneten Anrisse konzentrierten sich jedoch bereits ab den 2000er Jahren auf die Mulden im oberen Teil der Aufforstung und entsprechen teils den identifizierten Lücken aus Abbildung 43. Die Resultate aus den Feldaufnahmen sowie den LiDAR-Daten ergänzen sich gegenseitig und entsprechen somit auch den Resultaten aus den letzten Forschungen, die sich intensiv mit den Lawinen am Stillberg beschäftigten (Dellagiovanna, 2011; Piazza et al., 2024, 2025).

Die Frage, wie stark die Schutzwirksamkeit von *L. decidua* aufgrund ihres Nadelabwurfes überhaupt sein kann, wird unterschiedlich beurteilt (Bauerhansl et al., 2010; Bebi, Kulakowski, et al., 2009; Gubler & Rychetnik, 1990; Schneebeli & Meyer-Grass, 1992; Viglietti et al., 2010). Unabhängig davon zeigt sich jedoch, dass der Hang im Untersuchungsgebiet ziemlich zuverlässig gegen Lawinenanrisse stabilisiert, während der überwiegende Teil der beteiligten Bäume *L. decidua* sind. Bei der Analyse der Schutzwirksamkeit von *L. decidua* wird oft von einem natürlichen Bestand in der Nähe der Waldgrenze ausgegangen, welcher relativ locker steht und somit sowieso zu geringe Stammzahlen aufweist und zu lückenreich ist (Gubler & Rychetnik, 1990; Schneebeli & Meyer-Grass, 1992). Die winterkahlen Bäume am Stillberg stehen jedoch viel dichter als in einem natürlichen Bestand und sind schutzwirksam. Das deutet darauf hin, dass die Stammzahl möglicherweise ebenso wichtig wie die Kronendeckung der immergrünen Arten ist, und dass zusätzliche Prozesse zur Stabilisierung der Schneedecke ablaufen, die nicht direkt sichtbar sind (Bauerhansl et al., 2010; Schneebeli & Meyer-Grass, 1992).

Während das aktuelle NaiS die Stammzahlen für den Lawinenschutz nicht berücksichtigt (*NaiS Anhang 1: Naturgefahren*, 2005), werden diese beispielsweise für die Schutzwaldbeurteilung in Österreich herbeigezogen (Bauerhansl et al., 2010). Obwohl sich bereits einige Studien mit der nötigen Mindeststammzahl pro Hektar gegen den Lawinenanriss beschäftigt haben, variieren diese Werte sehr stark. Eine einheitliche Bestimmung dieser ist aufgrund der lokalen Unterschiede der Wälder schwierig (Bauerhansl et al., 2010). Obwohl die Stammzahl am Stillberg eine wichtige Komponente für die

Schutzwirkung ist, besonders bei *L. decidua*, können die gewonnenen Erkenntnisse daher nicht direkt in einen grösseren Kontext gesetzt werden. Auch wenn eine Umsetzung auf Grundlage des aktuellen Wissensstandes derzeit noch schwierig ist, wäre es im Rahmen der anstehenden Überarbeitung des NaiS sinnvoll, diese Komponente zu berücksichtigen.

Wie bereits in Kapitel 5.1. angedeutet, entwickelt sich die Aufforstung zunehmend zu einem selbstregulierenden Ökosystem, wobei sich 50 Jahre nach der Pflanzung die Frage stellt, wie es mit der Fläche weitergehen soll. Eine weitere Zunahme der Schutzwirksamkeit ist anzunehmen, solange der Bestand stabil bleibt. Geht die Aufforstung jedoch aufgrund fehlender Pflegemassnahmen mit der Zeit in einen natürlichen Zerfall über bei ausbleibender Verjüngung, ist jedoch mit einem Rückgang zu rechnen. Auch die temporären Verbauungen, welche damals in Teilen in der Fläche errichtet wurden, sind nach diesen 50 Jahren langsam am Ende ihrer Lebenszeit angelangt (Graf et al., 1986), und die Bäume haben mittlerweile erfolgreich die Schutzwirkung der technischen Massnahmen übernommen. Wie von Piazza et al. (2024) bereits vorgeschlagen, wären eventuell erneute Verbauungsmassnahmen in den noch aktiven Lawinenrutschen eine kostengünstige Möglichkeit, die Schutzwirkung auch in den noch kritischen Bereichen zu stabilisieren. Würden wiederum temporäre statt dauerhafte Verbauungen eingesetzt, müsste sichergestellt werden, dass in diesen Bereichen die natürliche Verjüngung aufkommen kann, oder Neupflanzungen stattfinden. Da sich das Überleben der Bäume in diesen Bereichen bisher jedoch als schwierig herausgestellt hat, wäre eine dauerhafte Verbauung möglicherweise sinnvoller. Würde man die natürliche Verjüngung weiter fördern wollen, müsste die Konkurrenz, insbesondere durch Gras und Hochstauden, eingedämmt werden.

6. Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Entwicklungen der Versuchsaufforstung Stillberg zwischen 2015 und 2025 mit Fokus auf die generelle Bestandesentwicklung sowie die Schutzwirksamkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass Baumhöhen und Durchmesser weiterhin zunahmten und sich weitere für die Schutzwirkung relevante Parameter, wie Deckungsgrad, Stammzahlen pro Hektar und Anzahl schutzwirksamer Einzelbäume, positiv entwickelt haben. Damit einher ging eine Verringerung der Lücken, in denen Lawinenanrisse möglich wären. Während die Mortalität von *L. decidua* und *P. cembra* relativ gering war seit der letzten Inventur, zeigte *P. mugo* starke Verluste, was in vielen Fällen auf den noch nicht identifizierten Erreger, womöglich einen Nadelschüttepilz, zurückzuführen ist. Das erstmalige und häufige Auftreten der Lärchennadelschütte bei *L. decidua* im Jahr 2025 unterstreicht zugleich, dass sich die Schadenssituation dynamisch entwickeln kann. Auch wenn derzeit kein akuter Handlungsbedarf besteht, erscheint eine fortlaufende Beobachtung im Hinblick auf die langfristige Bestandesstabilität sinnvoll. Insbesondere wäre ein stärkeres Auftreten der Lärchennadelschütte kritisch zu beurteilen, da grössere Ausfälle bei *L. decidua* die Schutzwirksamkeit der Aufforstung beeinträchtigen könnten, zumal diese Art den grössten Beitrag leistet. Auch im Hinblick auf die erhöhte Schadensanfälligkeit der aufkommenden natürlichen Verjüngung ist die Beobachtung der Schadensentwicklung relevant. Die Hypothese der **Fragestellung 1**, dass sich die schutzwirksamkeitsrelevanten Parameter positiv entwickelten und die Verjüngung zunahm, kann somit abgesehen von der gleichbleibenden Schadensentwicklung angenommen werden.

Die Auswertung der LiDAR- und Felddaten zur **Fragestellung 2** zeigt, dass sich die im Jahr 2015 noch vorhandenen Lücken bis 2025 weitgehend geschlossen haben und gemäss dem Minimalprofil zur maximal zulässigen Lückengrösse gemäss NaiS keine Problemzonen mehr identifizierbar sind. Trotzdem sind auch noch 2025 in gewissen Bereichen der Aufforstung die Baumhöhen und Kronendeckung geringer, was oftmals mit einer erhöhten Konkurrenz durch Gras- und Hochstaudenvegetation einhergeht. Da das Aufkommen der natürlichen Verjüngung unter diesen Umständen erschwert ist, stellt dies eine besondere Herausforderung dar. Denn gerade an diesen Standorten ist eine Erhöhung der Schutzwirksamkeit besonders relevant, weshalb eine Sicherung der Mulden durch dauerhafte Verbauungen eine mögliche Massnahme darstellt. Die langfristige Förderung der natürlichen Verjüngung in diesen Bereichen ist schwierig, da die Standorte ungünstige Bedingungen aufweisen und aufwändige Pflegemassnahmen erfordern würden. Die Hypothese dieser Fragestellung, dass sich die Lücken schliessen werden und die Schutzwirksamkeit verbessert, kann somit angenommen werden. Auch wenn die bisherigen Problemstellen im Jahr 2025 gemäss der kritischen Lückenlänge nicht mehr identifiziert wurden, sind diese Bereiche weiterhin nicht vollständig vor Lawinenanrissen geschützt.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen zum aktuellen Zustand und der Entwicklung der letzten zehn Jahre lässt sich ein präziseres Bild der Versuchsaufforstung zeichnen, auf dessen Grundlage künftige Veränderungen besser eingeschätzt werden können. Da der Stillberg aktuell eine Schutzfunktion erfüllt, stellt sich nun die Frage, ob der Wald weiter seiner natürlichen Dynamik überlassen wird, oder ob es aufgrund dieser Entwicklungen an der Zeit ist, mit gezielten forstlichen Massnahmen, die aktuell gewährleistete Schutzfunktion auch für die Zukunft zu erhalten. So könnte sichergestellt werden, dass die bestehende (und neue) Verjüngung an geeigneten Standorten gute Chancen hat, um die Schutzfunktion nachhaltig sicherzustellen. Wenn 2026 die untersten und aussenliegenden Einheitsflächen noch erhoben werden, können gezieltere Aussagen über die gesamte Fläche gemacht, und die Notwendigkeit von Eingriffen noch besser abgeschätzt werden. Ausserdem können die gewonnenen Erkenntnisse als Grundlage für die Überarbeitung des NaiS genutzt werden, um beispielsweise der Stammzahl verstärkt Beachtung zu schenken. Für die praktische Umsetzung in anderen Aufforstungen liefern die Entwicklungen am Stillberg zudem insbesondere für Schutzwälder, die vorwiegend aus laubwerfenden Baumarten bestehen, wertvolle Hinweise.

Literaturverzeichnis

- Ammann, W., & Bebi, P. (2000). *Der Lawinenwinter 1999: Ereignisanalyse* (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Hrsg.).
- Arvenschneepilz (*Phacidium infestans*). (o. J.). Abgerufen 7. Januar 2026, von <https://www.wsl.ch/de/wald/bewirtschaftung-und-waldfunktionen/waldbau-wachstum-und-ertrag/waldverjuengung/arvenschneepilz-neu/>
- Auswirkungen von Schneebewegungen auf Bäume. (o. J.). Abgerufen 22. November 2025, von <https://www.wsl.ch/de/wald/bewirtschaftung-und-waldfunktionen/waldbau-wachstum-und-ertrag/waldverjuengung/schneebewegung/>
- Barbeito, I., Dawes, M. A., Rixen, C., Senn, J., & Bebi, P. (2012). Factors driving mortality and growth at treeline: A 30-year experiment of 92 000 conifers. *Ecology*, *93*(2), 389–401. <https://doi.org/10.1890/11-0384.1>
- Bartelt, P., & Stöckli, V. (2001). The influence of tree and branch fracture, overturning and debris entrainment on snow avalanche flow. *Annals of Glaciology*, *32*, 209–216. <https://doi.org/10.3189/172756401781819544>
- Bauerhansl, C., Berger, F., Dorren, L., Duc, P., Ginzler, C., Kleemayr, K., Koch, V., Koukal, T., Mattiuzzi, M., Perzl, F., Prskawetz, M., Schadauer, K., Schneider, W., & Seebach, L. (2010). *Development of harmonized indicators and estimation procedures for forests with protective functions against natural hazards in the alpine space*. Office for Official Publications of the European Communities. <https://data.europa.eu/doi/10.2788/51473>
- Bebi, P., Hagedorn, F., Rixen, C., Senn, J., & Wasern, U. (2009). Forschung am Stillberg vor 25 Jahren und heute. *Informationsblatt Forschungsbereich Wald*, *25*, 5–7.
- Bebi, P., Kulakowski, D., & Rixen, C. (2009). Snow avalanche disturbances in forest ecosystems—State of research and implications for management. *Forest Ecology and Management*, *257*(9), 1883–1892. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.050>
- Brändli, U.-B., Abegg, M., & Allgaier Leuch, B. (2020). *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017*. 65939779 bytes, 519543 bytes, 1 bytes. <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.146>
- Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., & Wasser, B. (2006). Management of protection forests in the European Alps: An overview. *Forest Snow and Landscape Research*, *80*(1), 23–44.
- Brožová, N., Fischer, J.-T., Bühler, Y., Bartelt, P., & Bebi, P. (2020). Determining forest parameters for avalanche simulation using remote sensing data. *Cold Regions Science and Technology*, *172*. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.102976>
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2025a). *Biologische Massnahmen*. <https://www.bafu.admin.ch/de/schutzwald>
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2025b). *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald Nais*. <https://www.bafu.admin.ch/de/nais>
- Bundesforschungszentrum für Wald. (o. J.). *Die Lärche: Pionierin für den Schutzwald*. Abgerufen 13. Dezember 2025, von <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/baeume-und-waldpflanzen/nadelbaeume/die-laerche-pionierin-fuer-den-schutzwald>
- Cech, T. (2003). Untersuchungen von Pflanzenproben am Institut für Forstschutz – auffällige Schadensorganismen im Jahr 2002. In *Forstschutzsituation 2002 in Österreich—Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2002* (Bd. 30, S. 6–8).
- Cech, T. (2004). Nadelschütten der Lärche. In *Forstschutz Aktuell* (Bd. 32, S. 11–13).
- DeepL. (2026, Januar 6). <https://www.deepl.com/de/translator>
- Dellagiovanna, M. (2011). *Lawinenschutzwirksamkeit der Hochlagenaufforstung Stillberg*. Masterarbeit ETH Zürich.
- Deng, C., Zhang, S., Lu, Y., Froese, R. E., Ming, A., & Li, Q. (2019). Thinning Effects on the Tree Height–Diameter Allometry of Masson Pine (*Pinus massoniana* Lamb.). *Forests*, *10*(12). <https://doi.org/10.3390/f10121129>

- DWD, MeteoSchweiz, & GeoSphere Austria. (2025). *Alpenklima Sommerhalbjahr 2025: Klimazustand in den Zentral- und Ostalpen*.
- Eidg. Forschungsanstalt WSL. (o. J.-a). *Bergwald als Lawinenschutz*. Abgerufen 5. Januar 2026, von <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/schutzfunktion/schnee-und-lawinen/bergwald-als-lawinenschutz>
- Eidg. Forschungsanstalt WSL. (o. J.-b). *Die Vogelbeere in der Schweiz*. Abgerufen 6. Januar 2026, von <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/baeume-und-waldpflanzen/laubbaeume/die-vogelbeere-in-der-schweiz>
- Eidg. Forschungsanstalt WSL. (o. J.-c). *Rottenstrukturen an der Waldgrenze*. Abgerufen 25. November 2025, von <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/gebirgswald/rottenstrukturen-an-der-waldgrenze>
- Eidg. Forschungsanstalt WSL. (o. J.-d). *Unsichtbare Kräfte im Bergwald: Schnee drückt, kriecht und gleitet*. Abgerufen 10. Dezember 2025, von <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/gebirgswald/schneekriechen-schneegleiten>
- Feistl, T., Bebi, P., Teich, M., Bühler, Y., Christen, M., Thuro, K., & Bartelt, P. (2014). Observations and modeling of the braking effect of forests on small and medium avalanches. *Journal of Glaciology*, 60(219), 124–138. <https://doi.org/10.3189/2014JoG13J055>
- Feldpausch, T. R., Banin, L., Phillips, O. L., Baker, T. R., Lewis, S. L., Quesada, C. A., Affum-Baffoe, K., Arets, E. J. M. M., Berry, N. J., Bird, M., Brondizio, E. S., de Camargo, P., Chave, J., Djagbletey, G., Domingues, T. F., Drescher, M., Fearnside, P. M., França, M. B., Fyllas, N. M., ... Lloyd, J. (2011). Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences*, 8(5), 1081–1106. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1081-2011>
- Fernerkundung*. (o. J.). Abgerufen 27. Dezember 2025, von <https://www.slf.ch/de/ueber-das-slf/portrait/wie-wir-forschen/beobachten/fernerkundung/>
- Fromm, R., Baumgärtner, S., Leitinger, G., Tasser, E., & Höller, P. (2018). Determining the drivers for snow gliding. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(7), 1891–1903. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1891-2018>
- Gauthier, N., Fountain, W. E., & Missun, T. (2015). Tree Wounds Invitations to Wood Decay Fungi. *Plant Pathology Fact Sheet, University of Kentucky. College of Agriculture, Food and Environment*.
- Geoportal Kanton Graubünden*. (o. J.). Abgerufen 2. Dezember 2025, von <https://map.geo.gr.ch/theme/Naturgefahrenkarte>
- Graf, E., in der Gand, H., & Wälchli, O. (1986). Holzschutz im temporären Lawinenverbau. *Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung*, 40.
- Gubler, H., & Rychetnik, J. (1990). *Effects of forests near timberline on avalanche formation*. 73–92.
- Höllner, P. (1998). Tentative investigations on surface hoar in mountain forests. *Annals of Glaciology*, 26, 31–34. <https://doi.org/10.3189/1998AoG26-1-31-34>
- Hulshof, C. M., Swenson, N. G., & Weiser, M. D. (2015). Tree height–diameter allometry across the United States. *Ecology and Evolution*, 5(6), 1193–1204. <https://doi.org/10.1002/ece3.1328>
- Infrastruktur Stillberg*. (o. J.). Abgerufen 9. April 2025, von <https://www.slf.ch/de/ueber-das-slf/versuchsanlagen-und-labors/forschungsflaechen-gebirgsoekosysteme/versuchsaufforstung-stillberg/infrastruktur-stillberg/>
- Jamieson, J. B., & Schweizer, J. (2000). Texture and strength changes of buried surface-hoar layers with implications for dry snow-slab avalanche release. *Journal of Glaciology*, 46(152), 151–160. <https://doi.org/10.3189/172756500781833278>
- Langzeitforschung am Stillberg*. (o. J.). Abgerufen 22. Dezember 2025, von <https://www.slf.ch/de/gebirgsoekosysteme/waldgrenzen/langzeitforschung-am-stillberg/>
- Marty, M. (2015). *Abschlussbericht Mauro Marty Stillberg Sommer 2015*.
- NaiS Anhang 1: Naturgefahren* (S. 3–8). (2005).
- NaiS Anhang 2A: Bestimmen des Standortstyps*. (2009, revidiert und ergänzt).
- NaiS Anhang 9: Glossar und Literatur*. (2005).

- Newesely, C., Tasser, E., Spadinger, P., & Cernusca, A. (2000). Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic and Applied Ecology*, 1(1), 61–67. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00009>
- OpenAI, Version GPT-5.2. (2025). <https://chatgpt.com/>
- Pach, M., Bielak, K., Bončina, A., Coll, L., Höhn, M., Kašanin-Grubin, M., Lesiński, J., Pretzsch, H., Skrzyszewski, J., Spathelf, P., Tonon, G., Weatherall, A., & Zlatanov, T. (2022). Climate-Smart Silviculture in Mountain Regions. In R. Tognetti, M. Smith, & P. Panzacchi (Hrsg.), *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions* (S. 263–315). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80767-2_8
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H., & Ikonen, V.-P. (1999). A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(6), 647–661. <https://doi.org/10.1139/x99-029>
- Petty, J. A., & Worrell, R. (1981). Stability of Coniferous Tree Stems in Relation to Damage by Snow. *Forestry*, 54(2), 115–128. <https://doi.org/10.1093/forestry/54.2.115>
- Piazza, N., Bottero, A., Gaume, J., Vacchiano, G., & Bebi, P. (2024). Influence of changing forest height on the frequency of avalanche release in an alpine afforestation in the Swiss Alps. *Proceedings of the International Snow Science Workshop 2024*, 562–569. <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A38081>
- Piazza, N., Bottero, A., Gaume, J., Vacchiano, G., Marcer, M., & Bebi, P. (2025). Growing trees decrease the frequency of avalanche release in an alpine afforestation in the Swiss Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2025.104612>
- QGIS (Version 3.40.9). (2024). [Software].
- RStudio (Version 2025.05.1+513). (2025). [Software].
- Schneebeili, M., & Bebi, P. (2004). HYDROLOGY | Snow and Avalanche Control. In *Encyclopedia of Forest Sciences* (S. 397–402). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00271-4>
- Schneebeili, M., & Meyer-Grass, M. (1992). *Avalanche starting zones below the timber line—Structure of forest*. 176–181.
- Schönenberger, W., & Frey, W. (1988). Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenaufforstung: Forschungsergebnisse aus dem Lawinenanrissgebiet Stillberg. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 139(9), 735–820. <https://doi.org/10.5169/seals-766744>
- Schönenberger, W., Noack, A., & Thee, P. (2005). Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. *Forest Ecology and Management*, 213(1), 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.062>
- Schweizer, J. (Red.), & Rhyner, H. U. (2015). Lawinen und Recht. Tagungsband zum Internationalen Seminar vom 1.–3. Juni 2015. *WSL Berichte*, 34.
- Senn, J., & Schönenberger, W. (2001). Zwanzig Jahre Versuchsaufforstung Stillberg: Überleben und Wachstum einer subalpinen Aufforstung in Abhängigkeit vom Standort. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 152(6), 226–246.
- Solantie, R. (1994). Effect of weather and climatological background on snow damage of forests in Southern Finland in November 1991. *Silva Fennica*, 28(3), 201–211. <https://doi.org/10.14214/sf.a9173>
- Streule, A. (1974). Schäden in Gebirgsaufforstung durch das Birkhuhn (*Lyrurus tetrix*). *WSL Berichte*, 119.
- Thomas, F. (2018). Ökologische Interaktionen. In F. Thomas (Hrsg.), *Grundzüge der Pflanzenökologie* (S. 111–132). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54139-5_4
- Triebsschnee. (o. J.). Abgerufen 5. Januar 2026, von <https://www.slf.ch/de/lawinenbulletin-und-schneesituation/wissen-zum-lawinenbulletin/typische-lawinenprobleme/triebsschnee/>
- Versuchsaufforstung Stillberg. (o. J.). Abgerufen 9. April 2025, von <https://www.slf.ch/de/ueber-das-slf/versuchsanlagen-und-labors/forschungsflaechen-gebirgsoekosysteme/versuchsaufforstung-stillberg/>
- Viglietti, D., Letey, S., Motta, R., Maggioni, M., & Freppaz, M. (2010). Snow avalanche release in forest ecosystems: A case study in the Aosta Valley Region (NW-Italy). *Cold Regions Science and Technology*, 64(2), 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.08.007>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte der Versuchsaufforstung Stillberg im Dischma bei Davos	3
Abbildung 2: Topografie der Einheitsflächen am Stillberg mit verschiedenen Ausrichtungen und Hanglagen	4
Abbildung 3: Pflanzanordnung der 25 Bäume innerhalb einer Einheitsfläche	4
Abbildung 4: Anordnung der Einheitsflächen und Topografie Stillberg.....	5
Abbildung 5: Situation am Stillberg im Winter 1978. Die kleinen Bäumchen ragen noch nicht über die Schneedecke hinaus, die temporären Lawinenverbauungen und die Bestandesarven an den geeigneten Standorten stützen die Schneedecke. Quelle: Walter Schönenberger von SLF.....	6
Abbildung 6: Lockerschnee- (Loose) und Schneebrettlawinen (Slab) am Stillberg zwischen 1976 und 2022. Quelle: Piazza et al. 2024, S. 564	7
Abbildung 7: Einfluss des Waldes auf die Schneedecke, Quelle: NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005, S. 3.....	8
Abbildung 8: Unterschied des Schneedeckenaufbaus auf offener Fläche und im Wald, Quelle: Eidg. Forschungsanstalt WSL, o. J.-d, Original: Imbeck 1987).	8
Abbildung 9: DJI Matrice 300 RTK in der Vorbereitung zum Flug im August 2025, Quelle: Viktoria Frank bei den Feldaufnahmen 2025	10
Abbildung 10: Aufgenommene Einheitsflächen bei der Feldaufnahme 2025 mit entsprechenden Baumarten	12
Abbildung 11: Impression aus den Feldaufnahmen, Vermessung einer <i>L. decidua</i> und Notierung auf dem Toughpad, Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025.	13
Abbildung 12: Vermessung einer <i>L. decidua</i> , bei welcher die Stammlänge und die effektive Höhe aufgrund der Wuchsform nicht übereinstimmt, Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025.	13
Abbildung 13: Hochstaudengeprägte Vegetation, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025	13
Abbildung 14: Grasgeprägte Vegetation, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025	13
Abbildung 15: Vaccinium- und Rhododendrongeprägte Vegetation, Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025.....	14
Abbildung 16: Anforderungsprofil Lawinen gemäss NaiS, Quelle: NaiS Anhang 1: Naturgefahren, 2005, S. 3.....	15
Abbildung 17: Schneehöhen der Einheitsflächen gemäss der gemittelten interpolierten Schneepegeldaten	17
Abbildung 18: Überleben und Mortalität nach Art zwischen 2015 und 2025	18
Abbildung 19: Beispiel einer <i>P. mugo</i> Einheitsfläche, welche seit 2015 eine sehr starke Mortalität aufweist, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025	19
Abbildung 20: Veränderungen des Baumüberlebens von 2015 bis 2025	19
Abbildung 21: Langzeitüberleben der Bäume im Vergleich zu 1975.....	20
Abbildung 22: Verteilung und Anzahl lebender Bäume 2015 und 2025 nach Baumart	20
Abbildung 23: Anzahl Verjüngung nach Baumart zwischen den Jahren 2015 und 2025.....	21
Abbildung 24: Anzahl Verjüngung nach Topografie.....	21
Abbildung 25: Relative Anteile der Schadtypen aller lebendigen Bäume pro Baumart	22
Abbildung 26: Von <i>Phacidium infestans</i> betroffene Arvennadeln, Quelle: Arvenschneepilz (<i>Phacidium infestans</i>). (o. J.)	22
Abbildung 27: Von <i>Hypodermella laricis</i> betroffene Lärchennadeln am Stillberg, Quelle: Zora van der Bie bei den Feldaufnahmen 2025	22
Abbildung 28: Räumliche Verteilung der Nadelschüttepilze 2015 und 2025	23
Abbildung 29: Verteilung der Bäume mit Nadelpilzerkrankungen auf die verschiedenen Topologien... ..	24

Abbildung 30: Spaltungen an der Stammbasis von <i>L. decidua</i> , Quelle: Michelle Kobler aus den Feldaufnahmen 2025.....	24
Abbildung 31: Typischer Säbelwuchs, hier am Beispiel von <i>L. decidua</i> , Quelle: Michelle Kobler aus den Feldaufnahmen 2025.....	25
Abbildung 32: Entwurzelte <i>L. decidua</i> , Quelle: Michelle Kobler aus den Feldaufnahmen 2025.	25
Abbildung 33: Relative Anteile der mechanischen Stammschäden pro Baumart in den Jahren 2015 und 2025.....	26
Abbildung 34: Höhen- und Durchmesserentwicklung nach Baumarten zwischen 2015 und 2025.....	26
Abbildung 35: Verhältnis der Stammhöhen zum Durchmesser nach Baumarten 2015 und 2025	27
Abbildung 36: Gedrungener Habitus von <i>P. cembra</i> , Quelle: Viktoria Frank, bei den Feldaufnahmen 2025.	28
Abbildung 37: Schlanker und hochgewachsener Habitus von <i>L. decidua</i> , Quelle: Michelle Kobler, bei den Feldaufnahmen 2025.....	28
Abbildung 38: Schutzwirksame Bäume 2015 vs. 2025 bei 2-facher Baumgrösse im Verhältnis zur maximal durchschnittlichen Schneehöhe und Anzahl schutzwirksamer Bäume pro Hektar.....	29
Abbildung 39: Anzahl schutzwirksamer Bäume nach Topografie unter Kriterium 1.....	29
Abbildung 40: Schutzwirksame Bäume 2015 vs. 2025 bei 2-facher Baumgrösse im Verhältnis zur maximalen Schneehöhe und Anzahl schutzwirksamer Bäume pro Hektar.....	30
Abbildung 41: Anzahl schutzwirksamer Bäume nach Topografie unter Kriterium 2.....	31
Abbildung 42: Baumhöhen in der gesamten Versuchsaufforstung auf Grundlage der LiDAR Daten.....	32
Abbildung 43: Kritische Lücken, die über den maximal erlaubten Massen des Minimalprofils von 30 m Länge in Falllinie und 15 m Breite liegen.....	33
Abbildung 44: Lücken nach topografischer Ausrichtung.....	33
Abbildung 45: Kritische Lücken im Feld, Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025.....	34
Abbildung 46: Hochgewachsene <i>L. decidua</i> mit orangen Pfeilen, die auf sehr schlanke, teils abgestorbene Bäume in der Mitte des Plots zeigen. Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025.....	38
Abbildung 47: Niederwüchsige <i>L. decidua</i> an einem wohl eher ungünstigen Standort. Quelle: Michelle Kobler bei den Feldaufnahmen 2025.....	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezifikationen der LiDAR Aufnahmen 2015 und 2025	11
Tabelle 2: Schlankheitsgrad der Baumarten in den Jahren 2015 und 2025	27

Anhang

Anhang A: Auswahlverfahren bei abgestorbenen Bäumen

Priorität Ersatzbäume bei *ungerader* Einheitsfläche

1	5	6	7	2
16	17	18	19	8
15	24	25	20	9
14	23	22	21	10
4	13	12	11	3

Baum 1:
Möglichst am Rand
Priorität oben links

16	18	20	22	24
12	4	6	8	14
10	2	1	3	11
13	5	7	9	15
17	19	21	23	25

Baum 2:
Möglichst in der Mitte
Priorität oben links

25	10	9	8	24
11	19	18	17	7
12	20	21	16	6
1	13	14	15	5
22	2	3	4	23

Baum 3:
Priorität Randbaum
mit einem Nachbar

Priorität Ersatzbäume bei *gerader* Einheitsfläche

2	7	6	5	1
8	19	18	17	16
9	20	25	24	15
10	21	22	23	14
3	11	12	13	4

Baum 1:
Möglichst am Rand
Priorität oben rechts

25	23	21	19	17
15	9	7	5	13
11	3	1	2	10
14	8	6	4	12
24	22	20	18	16

Baum 2:
Möglichst in der Mitte
Priorität unten rechts

24	8	9	10	25
7	17	18	19	11
6	16	21	20	12
5	15	14	13	1
23	4	3	2	22

Baum 3:
Priorität Randbaum
mit einem Nachbar

Topic	Position	Description	Value	Value description
General				
	EF	Plotnummer		
	BANR	Tree number in plot	1 - 25	
	ART	Tree species	pin cem pin mug lar dec	Pinus cembra Pinus mugo Larix decidua
Vegetation cover				
	alpenr_%	Percentage of plot covered by Rhododendron	x [%] NA	Percentage Parameter not recorded in plot
	vaccinien_%	Percentage of plot covered by Vaccinium	x [%] NA	Percentage Parameter not recorded in plot
	gras_%	Percentage of plot covered by grass	x [%] NA	Percentage Parameter not recorded in plot
	hochst_%	Percentage of plot covered by tall herbs	x [%] NA	Percentage Parameter not recorded in plot
Natural regeneration				
	r_lardec	Natural regeneration of <i>Larix decidua</i>	n 0 NA	Number of individuals in plot Zero individual in plot Parameter not recorded in plot
	r_pincem	Natural regeneration of <i>Pinus cembra</i>	n 0 NA	Number of individuals in plot Zero individual in plot Parameter not recorded in plot
	r_pinmug	Natural regeneration of <i>Pinus mugo</i>	n 0 NA	Number of individuals in plot Zero individual in plot Parameter not recorded in plot
	r_picabi	Natural regeneration of <i>Picea abies</i>	n 0 NA	Number of individuals in plot Zero individual in plot Parameter not recorded in plot
	r_sorauc	Natural regeneration of <i>Sorbus aucuparia</i>	n 0 NA	Number of individuals in plot Zero individual in plot Parameter not recorded in plot
	r_salspp	Natural regeneration of <i>Salix spp.</i>	n 0 NA	Number of individuals in plot Zero individual in plot Parameter not recorded in plot
Measurements				
	SURV	Survival 2025	1 2 -1	Tree alive Tree dead Tree survival not recorded
	SURV15	Survival 2015 for easier identification of the trees	Same as SURV	
	DM	Diameter 2025	[cm]	Diameter at stem base
	LOT	Perpendicular height 2025	[cm]	Perpendicular height for hanging trees (<30° to ground)
	H	Height 2025	[cm]	Height until top or in case of damaged top until highest branch alive
	H_15	Height 2015 for easier identification of the trees	Same as H	
	STAMM	Tree stem characteristics 2025	1 2 3 -1	One single stem (default) Forked tree (split in two stems over more than half of the tree height) Shrublike growth (split in more than two stems over more than half of the tree height) Stem caharcteristic not recorded or tree dead
	STAMM_15	Tree stem characteristics 2015 for easier identification of the trees	Same as STAMM	
	BASIS	Damage to the stem base	1 2 3 4 -1	Break at stem base Splitting at stem base Hanging stem (>30°) No damage Stem base damage not recorded or tree dead
	GIPFEL	Condition of the tree top (apical shoot)	1 2 -1	Tree top not intact (damaged or dead) Tree top intact (default) Tree top characteristic not recorded
	DAMAGE1 / 2 / 3	Damages to the tree. A maximum of 3 damages per tree were recorded	1 2 3 4 5 6 -1	Shoot dieback caused by the fungal pathogen <i>Gremmeniella abietina</i> (only <i>Pinus cembra</i> and <i>Pinus mugo ssp. uncinata</i>) Snow blight fungus <i>Phacidium infestans</i> (only <i>Pinus</i>) Frost damage Winter desiccation Herbivory on needles or buds No damage Damage not recorded
	INT1 / 2 / 3	Intensity of the respective damage	1 2 3 4 5 -1	Low intensity (less than one third of all branches or twigs affected) Medium intensity (one third to two thirds of all branches) High intensity (more than two thirds of all branches or Tree recently died due to this damage) No damage Damage intensity not recorded
	UNC	Indicates whether there was uncertainty in the identification of the individual tree	1 2 -1	Identification of tree uncertain Identification of tree was unambiguous Certainty of tree identificatin not recorded
	ZAPFEN	Cone presence on tree	1 2 -1	One or more cones present Cones absent (default) Cone presence not recorded
	V	Indicates whether the tree was covered from above or visible by UAV	1 2 -1	Tree occluded from above Tree not occluded from above Tree visibility not recorded or tree dead