



Amt für Wald und Naturgefahren
Uffizi da gaud e privels da la natira
Ufficio foreste e pericoli naturali

Monetäre Bewertung von schalenwildbedingten Verjüngungsproblemen im Schutzwald

Fallbeispiel Bannwald Tinizong



Oktober 2019

Auftraggeber:

Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden, Marco Vanoni, Loëstrasse 14, 7000 Chur

Auftragnehmer:

Gadola 
Naturgefahren Wald & Umwelt

Nora Zürcher-Gasser
Postfach 20
7172 Rabius



Monika Frehner
Sixerstrasse 9
7320 Sargans

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....2

2 Einleitung und Auftrag.....2

3 Stand des Wissens.....2

4 Methode.....3

5 Untersuchungsgebiet5

6 Bisherige und zukünftige Entwicklung Bannwald6

 6.1 *Geschichte und heutiger Zustand..... 6*

 6.2 *Verwendete Szenarien und Definition Wildeinflusstufen 11*

 6.3 *Beschreibung der Szenarien..... 11*

7 Eingriffe im Altbestand15

 7.1 *Minimale waldbauliche Behandlung (SZ 0, 1a, 2a, 3a)..... 15*

 7.2 *Intensive waldbauliche Behandlung (1b, 2b, 3b)..... 15*

 7.3 *Resultate 16*

8 Pflanzungen/Wildschadenverhütungsmassnahmen17

 8.1 *Methode und Annahmen 17*

 8.2 *Resultate 20*

9 Lawinerverbauungen22

 9.1 *Methode und Annahmen 22*

 9.2 *Resultate 22*

10 Erhöhte Sturzrisiken24

 10.1 *Methode und Annahmen..... 24*

 10.2 *Resultate..... 24*

11 Zusammenfassung der Resultate und Diskussion.....28

 11.1 *Zusammenfassung der Resultate 28*

 11.2 *Diskussion..... 29*

12 Schlussfolgerungen31

Literatur36

Beilage 1: Begründung der Annahmen zur Waldentwicklung und den waldbaulichen Massnahmen unter den verschiedenen Szenarien38

Beilage 2: Anpassung an den Klimawandel.....42

Beilage 3: Methode zur Abschätzung der Sturzrisiken44

Beilage 4: Waldmodell51

1 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie zeigt am Fallbeispiel Bannwald Tinizong (Gde. Surses) exemplarisch auf, welche ökonomischen Konsequenzen wildbedingte Verjüngungsprobleme im Schutzwald haben können. Dazu werden im vorliegenden Beispiel drei Aspekte untersucht und für die nächsten 50 Jahre monetär bewertet: 1) Kosten für Wildschadenverhütungsmassnahmen zum Erhalt der Schutzwirksamkeit des Waldes, 2) Verzögerung/Verhinderung der Waldverjüngung und daraus entstehende Konsequenzen (Risikoanstieg, technische Schutzmassnahmen), 3) Kosten für Verjüngungseinleitung und -unterstützung, deren Ziele wildbedingt nicht erreicht werden können.

Die vorliegende Fallstudie zeigt, dass im Fallbeispiel Tinizong die angewendete Methode an Grenzen stösst, da Kosten und Nutzen der verschiedenen Szenarien nicht vollumfänglich innerhalb des Betrachtungszeitraumes liegen. Eine Verlängerung des Betrachtungszeitraumes ist aufgrund der wachsenden Unsicherheiten keine Alternative.

Trotz dieser methodischen Schwierigkeiten kann gesagt werden, dass durch die hohe Verbissbelastung im Bannwald Tinizong in Zukunft mit erheblichen Mehrkosten zu rechnen ist.

2 Einleitung und Auftrag

Wildbedingte Verjüngungsprobleme können in Schutzwäldern erhebliche finanzielle Konsequenzen haben. Der Kanton Graubünden möchte dies anhand von konkreten Fallbeispielen untersuchen und quantifizieren.

Dabei sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen:

- Investitionen in Bau und Unterhalt von Wildschadenverhütungsmassnahmen, um die Schutzwirksamkeit der Wälder mittel- und langfristig möglichst zu erhalten.
- Verzögerung/Verhinderung der Waldverjüngung und daraus entstehende Konsequenzen (Risikoanstieg durch erhöhtes Gefahrenpotential, technische Schutzmassnahmen für den Ersatz der Waldwirkung).
- Folgeinvestitionen in temporäre Schutzbauten, deren Ziele wildbedingt verfehlt werden und ersetzt werden müssen. Dieser Aspekt ist im Bannwald Tinizong nicht von Bedeutung, da keine temporären Schutzbauten vorhanden sind.
- Zu diesen Kosten, die aus volkswirtschaftlicher Sicht direkt anfallen, kommen Kosten für Eingriffe zur Einleitung und Unterstützung der Verjüngung, deren Ziele wildbedingt nicht erreicht werden können. Solche Eingriffe können als wildbedingte Fehlinvestitionen bezeichnet werden.

Diese finanziellen Konsequenzen werden im vorliegenden Bericht für das Gebiet Bannwald oberhalb Tinizong abgeschätzt und monetär bewertet.

Mit Vertrag vom 26.3.2018 wurde die Arbeitsgemeinschaft Gadola, Rabius, und Frehner, Sargans, mit der Erarbeitung des vorliegenden Fallbeispiels Bannwald Tinizong beauftragt und dieses im Rahmen des Waldbauworkshops 2019 der Waldregion 4 (Mittelbünden-Moesano) zu präsentieren, zu diskutieren und die Ergebnisse aus der Diskussion in den Bericht einzuarbeiten. Die Kapitel 11 und 12 enthalten somit auch die wichtigsten Inhalte und Diskussionspunkte aus dem Waldbauworkshop der Region 4 vom 24. Juni 2019 in Tinizong.

Die Berechnungen bezüglich Risiken durch Sturzprozesse (Kap. 10, Beilage 3) erfolgten durch C. Moos, HAFL.

3 Stand des Wissens

Es existieren verschiedene Studien, die sich jeweils mit Teilaspekten der Fragestellung der vorliegenden Studie oder verwandten Themen beschäftigen.

Die Frage nach der Bewertung von Schalenwildeinfluss im Schutzwald ist eng verbunden mit der Frage der Bewertung der Schutzwirkung eines Waldes. Zu dieser Fragestellung gibt es einige Studien, welche die Wirkung von Schutzwäldern mit verschiedenen Ansätzen monetär bewerten. So bewertet z.B. (Salzburger Landesrechnungshof 2015) den Wert eines Schutzwaldes mit dem Ersatzkostenansatz, d.h. es wird berechnet, was es kosten würde, einen Schutzwald mit technischen Schutzmassnahmen zu ersetzen. In (Olschewski et al. 2011) wird hingegen anhand der Zahlungsbereitschaft von direkten Nutznießern der Wert eines Lawinenschutzwaldes resp. dessen Pflege hergeleitet. In (Teich and Bebi 2009) wird der Wert von Schutzwäldern anhand von Risikoabschätzungen beurteilt. (Moos et al. 2017) schlagen ein Vorgehen zur Berücksichtigung der Waldwirkung in Steinschlagschutzwäldern vor. Die darin vorgeschlagene Methode kommt in der vorliegenden Studie zur Anwendung.

Weiter gibt es einen engen Bezug zur Frage der Entwicklung der Schutzwirksamkeit von Wäldern unter verschiedenen Szenarien. Im Rahmen der Tagung 2014 der GWG (Schweizerische Gebirgswaldpflegegruppe) wurde dieser Thematik im Zusammenhang mit der Wirkung von Totholz nachgegangen und die erwarteten Entwicklungen wurden in einfachen Diagrammen dargestellt (Schwitter 2014).

Studien zur monetären Bewertung von Schalenwildeinfluss gibt es auch aus Frankreich (Boulanger and Rakotoarison 2015) und Baden-Württemberg (Suchant et al. 2011). Darin wird allerdings eine Bewertung bezüglich Holzproduktion und nicht bezüglich Schutzwirksamkeit vorgenommen.

Der vorliegenden Fragestellung am besten entspricht eine Studie an der Rigi Nordlehne, in welcher die Kosten waldbaulicher Massnahmen und Ersatzschutzbauten im Zusammenhang mit Schalenwildschäden abgeschätzt werden (Gasser et al. 2011). Nicht abgeschätzt werden dort der Risikoanstieg auf Grund veränderter Naturgefahren und wildbedingte Fehlinvestitionen.

4 Methode

Die vorliegende Studie wird grundsätzlich nach dem selben Vorgehen erarbeitet wie bereits die Studien Puzzag, Runfoppa und Mezzaselva/Putzerberg, alle im Auftrag des AWN GR. Details zum Vorgehen können in diesen Berichten nachgelesen werden.

In Abweichung zu diesen Studien erfolgte im vorliegenden Fallbeispiel die Risikoabschätzung bezüglich Sturzprozessen für die verschiedenen Szenarien sehr viel detaillierter. Die dabei angewendete Methode ist in der Beilage 3 enthalten.

Ebenfalls in Abweichungen zu den bisherigen monetären Bewertungen von schalenwildbedingten Verjüngungsproblemen im Schutzwald im Kt. Graubünden wurden die Kosten nicht diskontiert, und zwar aufgrund folgender Überlegungen:

- Für die Verwendung von Diskontraten sprechen folgende Argumente (Bergen et al. 2012):
 - Positive Zeitpräferenz von Individuen/Haushalten/Gesellschaften: Kosten und Nutzen, welche nahe beim Entscheidungszeitpunkt liegen, wird ein höherer Stellenwert beigemessen als Kosten und Nutzen, welche in ferner Zukunft anfallen («a bar of chocolate today is more worth to me than a bar of chocolate tomorrow»). Dies spricht dafür, Kosten und Nutzen, welche in Zukunft anfallen, im Vergleich mit zeitnahen Kosten und Nutzen abzuwerten. Dies wird mit einer Verzinsung erreicht. Dem Argument, dass Einzelpersonen resp. Haushalte bei Projekten mit einer Laufdauer von mehr als einer Generation zu kurzfristig denken wird mit tiefen Zinsraten begegnet (individuelle vs. soziale Zeitpräferenz).
 - Opportunitätskosten eines Projektes: dieses Konzept geht davon aus, dass das Geld, welches in ein Projekt investiert wird, angelegt werden kann und damit später mehr Konsum/Investitionen möglich wären, da die Geldanlage verzinst wurde. Verzinst wird zu

demjenigen Prozentsatz, bei welchem es für einen Haushalt gleichwertig ist, ob er heute etwas weniger konsumiert oder später etwas mehr.

Häufig wird eine Kombination von Zeitpräferenz- und Opportunitätskosten-Konzept angewendet, indem der Zinssatz für langfristige, festverzinsliche, staatliche Wertpapiere verwendet wird. So wurde es auch in den bisherigen monetären Bewertungen von schalenwildbedingten Verjüngungsproblemen im Schutzwald im Kt. Graubünden angewendet, wobei für den Vergleich die Resultate mit Zinssätzen von 2%, 1% und 0% angegeben wurden.

- Gegen die Verwendung von Diskontraten im vorliegenden Projekt sprechen folgende Argumente:
 - Bei Entscheidungen, welche mehrere Generationen betreffen und/oder irreversibel sind, scheint es aus ethischen Gründen weder fair noch nachvollziehbar, Kosten und Nutzen, welche künftige (und somit nicht in der Entscheidung beteiligte) Generationen zu tragen haben, weniger stark zu gewichten als heute anfallende Kosten und Nutzen (Oesten 1991; Price n.d.).
 - Prinzipien, welche von Individuen/Haushalten tagtäglich bei Entscheidungen aller möglichen Arten angewendet werden und in diesem Kontext auch Sinn machen, sind nicht unbedingt auch auf Entscheidungen mit weitreichenden, langfristigen Konsequenzen anzuwenden, da Individuen offensichtlich nicht eine möglichst hohe Wohlfahrt des Gemeinwesens zum Ziel haben. Insbesondere staatlich finanzierte Projekte sollten auf Entscheidungsmechanismen gründen, welche nicht die Maximierung des Nutzens von Individuen anstreben, sondern von der Gesellschaft inkl. künftiger Generationen zum Ziele haben.
 - Die Anwendung von Diskontraten untergräbt systematisch den Nachhaltigkeitsgedanken, indem Kosten, aber auch Nutzen, welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, unterschiedlich bewertet werden. «**Nachhaltigkeit** ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.» (WCED 1987). Die Frage stellt sich natürlich, ob künftige Generationen dieselben Ansprüche haben werden an den Wald wie unsere Generation – wahrscheinlich nicht. Aber dies legitimiert noch längstens nicht die Annahme, dass die Ansprüche der künftigen Generation weniger Wert wären als diejenigen der heutigen Generation. Dagegen kann eingewendet werden, dass es gegenüber der heutigen Generation nicht fair sei, nicht zu diskontieren, da die zukünftigen Generationen über ein höheres Pro-Kopf-Einkommen verfügen würden. Mit dieser Argumentation müssten allerdings teuerungsbereinigte Wachstumsraten verwendet werden. Diese liegen für die Schweiz bei weniger als 1%. Diese Annahme basiert zudem auf der Annahme, dass weiterhin mit einem Wohlfahrtswachstum gerechnet werden kann. Diese Annahme, wie auch die Annahme langfristig stabiler Zinssätze ist angesichts der langen Zeiträume, die im Wald betrachtet werden müssen, fraglich.
- Es kann auch argumentiert werden, dass die Frage nach dem Zinssatz und somit nach der Bewertung von künftigen Kosten und Nutzen nicht im Vordergrund stehen sollte, sondern dass in Bezug auf Entscheidungen bezüglich einer nachhaltigen Entwicklung die Frage nach der Substituierbarkeit eines Gutes gestellt werden sollte (Hänggi 2018; Neumayer 2007). D.h. in unserem Fall sollte gefragt werden: «wird die Ressource permanente Schutzwirkung durch massiven Schalenwildeinfluss massgeblich beeinträchtigt, und falls ja, kann mit den heute eingesparten Mitteln in Zukunft adäquater Ersatz finanziert werden oder handelt es sich um einen Schaden, der nicht mit verhältnismässigem Aufwand ersetzt werden kann». Wir sollten also nicht verzinsen, sondern gemäss dem Vorsorgeprinzip die Massnahmen darauf auslegen, dass wir nicht heute Probleme von morgen schaffen und dass wir möglichst auch auf Katastrophen vorbereitet sind. Dies führt u.U. zu ganz anderen Massnahmenbeurteilungen.

Die Autorinnen kommen aufgrund der obigen Argumente sowie aufgrund der Tatsache, dass es bei Projekten, welche von der öffentlichen Hand finanziert werden und sehr langfristige Auswirkungen haben, zum Schluss dass es ethisch nicht begründbar ist, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallende Kosten und Nutzen unterschiedlich zu bewerten. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie auf eine Diskontierung verzichtet.

5 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet Bannwald liegt oberhalb von Tinizong in der Gemeinde Surses (siehe Abb. 1). Die Waldungen erstrecken sich von 1300 m ü. M. bis auf knapp 1600 m ü. M. und umfassen knapp 70 ha. Der häufigste Waldstandort ist der Ehrenpreis-Fichtenwald (55). Die Bestände bestehen praktisch zu 100% aus Fichten. Aus den Felsbändern oberhalb von ca. 1500 m ü. M. lösen sich regelmässig Steine und Blöcke und im Winter/Frühling auch Eisblöcke und gelangen bis an den unteren Waldrand und in Einzelfällen auch bis zu den obersten Häusern. Entsprechend haben die Bestände eine wichtige Schutzfunktion bezüglich Sturzprozessen. Dank der Bestockung sind Schneeprozesse im Gebiet momentan nicht relevant. Aufgrund der Hangneigung sowie der Höhenlage muss aber bei deutlichen Änderungen in den Waldbeständen auch mit Schneeprozessen gerechnet werden. Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes bestehen Flächen/Rinnen, aus welchen 2002 flachgründige Rutschungen zu murgang-ähnlichen Prozessen führten. Dieser Prozess wird im vorliegenden Gutachten nicht berücksichtigt. Jedoch reduziert die aktuelle Bestockung zweifelsfrei das Risiko von Rutschungs-/Erosionsprozessen.

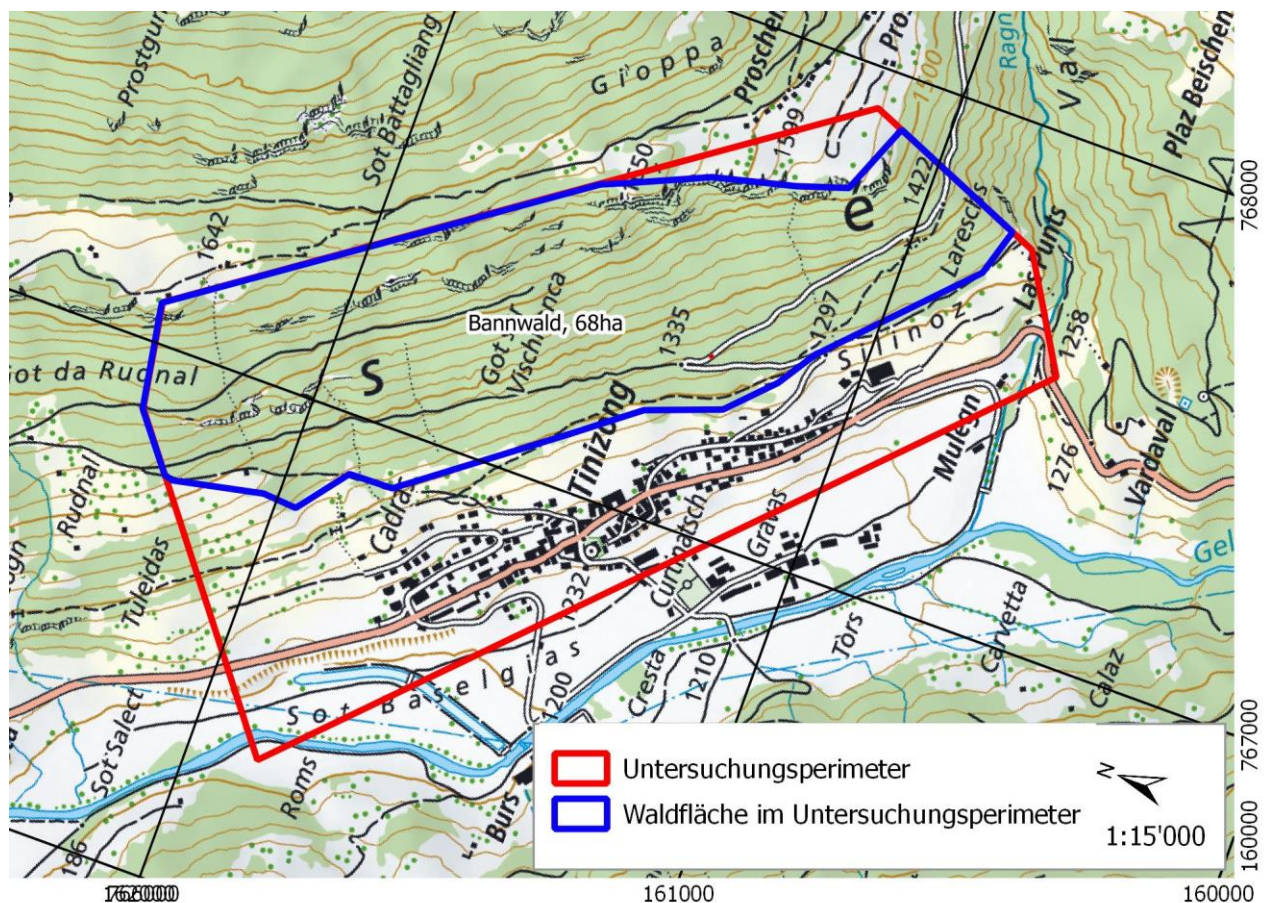


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Bannwald Tinizong

6 Bisherige und zukünftige Entwicklung Bannwald

6.1 Geschichte und heutiger Zustand

Geschichte:

Die Bedeutung der Schutzwälder oberhalb Tinizong ist seit langem bekannt. Nutzungen wurden v.a. im mittleren Teil des Bannwaldes seit mindestens 200 Jahren keine getätigt. Auf der Gegenhangaufnahme von 1937 (Abb. 2) präsentiert sich der Bannwald weitgehend geschlossen, wobei vereinzelte Waldschneisen deutlich sichtbar sind. Im untersten Bereich bis ungefähr auf die Höhe der heutigen Waldstrasse wurden die Waldungen bis ca. in die 1960-er-Jahre beweidet, teilweise mit Ziegen. Im obersten Bereich zwischen den Felsbändern wurden immer wieder einzelne Nutzungen getätigt. Nach den Kriegsjahren wurde im oberen südlichen Bereich ein grosses Holzpolter aufgerüstet, welches aber nie abtransportiert wurde und noch heute zu sehen ist (mündl. Mitt. P. Janutin).

1976 erfolgten die ersten Eingriffe (zwei lange Seillinien, vgl. Luftbild 1979 in Abb. 6). Seither sind regelmässig kleinflächige Eingriffe erfolgt zur Unterstützung/Freistellung von Verjüngung und Strukturierung der Bestände. Regelmässig führten auch Zwangsnutzungen auf Grund von Borkenkäferschäden zu kleineren Lücken. Einzelne auch heute noch bestehende Lücken sind bereits auf dem Luftbild 1991 zu erkennen (Abb. 6). Seit 2003 haben sich die bereits länger bestehenden Lücken v.a. im mittleren Bereich (südlich/unterhalb des Endes der oberen Erschliessungsstrasse) aufgrund von Zwangsnutzungen sehr stark vergrössert (Abb. 7).



Abb. 2: Gegenhangaufnahme von 1937 (Quelle: swisstopo)

Heutiger Zustand:

Baumartenzusammensetzung: Fi 100%, ganz vereinzelt W'Fö und Lb

Waldstandort: 55 Ehrenpreis-Fichtenwald, an trockenen Stellen 55* Schneesimsen-Fichtenwald. Für die Verjüngung sind relativ kleine Öffnungen vorteilhaft (genügend gross, damit Niederschlag auf den Boden gelangt, aber nicht zu gross wegen der Ausstrocknung).

Bestandesaufbau: Mehrheitlich mittleres bis starkes Baumholz, locker bis lückig, seit 1976 diverse klein- bis mittelflächige Eingriffe erfolgt zur Freistellung vorhandener Verjüngungsansätze. Insgesamt gute horizontale Strukturierung. Vereinzelt Stangenholzgruppen vorhanden, insgesamt ist diese Altersklasse aber eher untervertreten. Der Altbestand weist ein Alter von ca. 180-200J. auf. Im mittleren Bereich sind umfangreiche Zwangsnutzungen erfolgt (Borkenkäfer), welche zu grösseren Lückenflächen geführt haben.

Im Bereich unterhalb der Waldstrasse wurden ebenfalls Eingriffe durchgeführt um die vorhandene Verjüngung freizustellen und zu fördern (Abb. 4).

Verjüngungssituation: Es ist nur wenig Ansamung/Anwuchs zu finden. In den Böschungen weist der vorhandene Anwuchs starke Verbisspuren auf. In den Eingriffsflächen konnten sich die beim Eingriffszeitpunkt bereits vorhandenen Verjüngungsansätze zumindest teilweise gut entwickeln. Entwicklungsfähige Verjüngungsansätze ungefähr im Lückenalter sind kaum zu finden. Auch in den sehr alten Verjüngungsöffnungen (Seillinien ab 1976), wo man aufgrund der Öffnungsgrössen durchaus Bäume im Dickungs- bis Stangenholzalter erwartet, wächst ausser in den Zäunen kaum Verjüngung. Am ehesten ist Verjüngung dort zu finden, wo sehr viel liegendes Holz vorhanden ist, wobei diese weit unter der zu erwartenden Anzahl und Höhe-/Durchmesserklasse liegt. Bäume, die den Aufwuchs erreichen, werden häufig geschält. Die umfangreichen Einzelschutzmassnahmen, welche teilweise seit Jahrzehnten durchgeführt werden (chemischer Verbisschutz, Polynet, Zäune) zeigen nur sehr begrenzt eine Wirkung (Abb. 5).



Abb. 3: Gegenhangansicht des Bannwaldes 2018 (Foto: Gadola AG 2018)

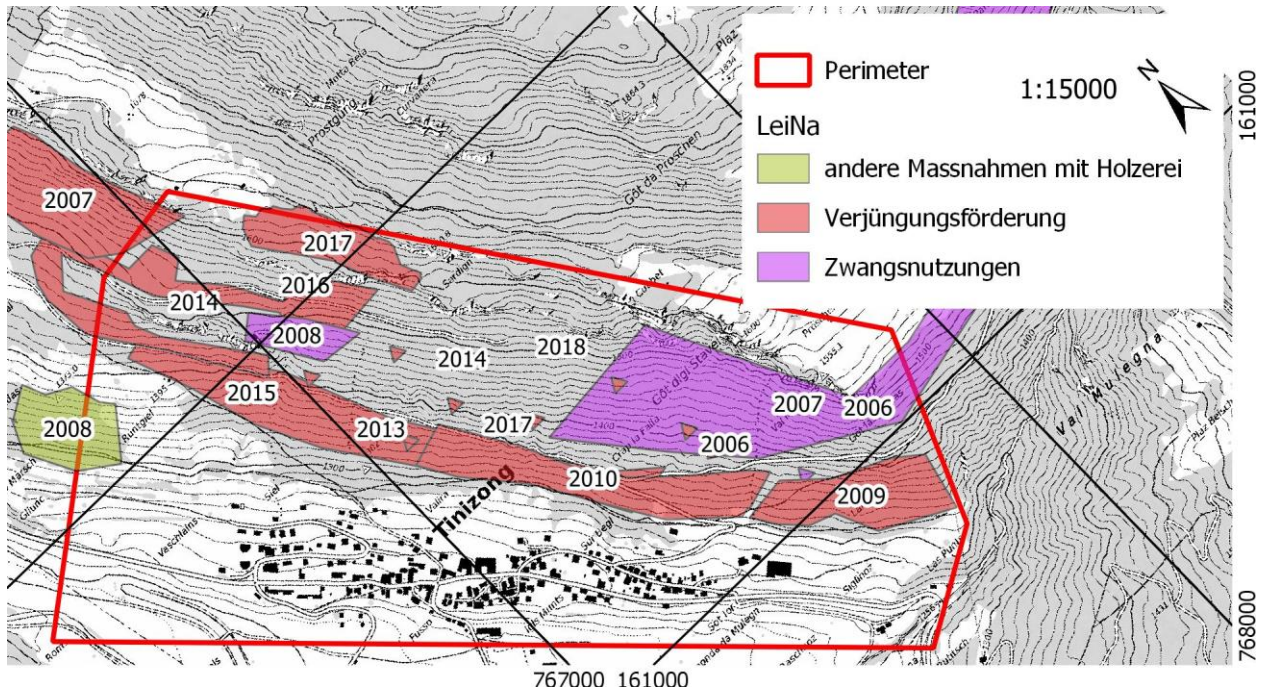


Abb. 4: Eingriffe seit 2005 im Bannwald Tinizong (Auszug LeiNa, AWN GR, Stand 2018)



Abb. 5: Wildschadenverhütungsmassnahmen im Bannwald Tinizong (Foto: Gadola AG 2018)

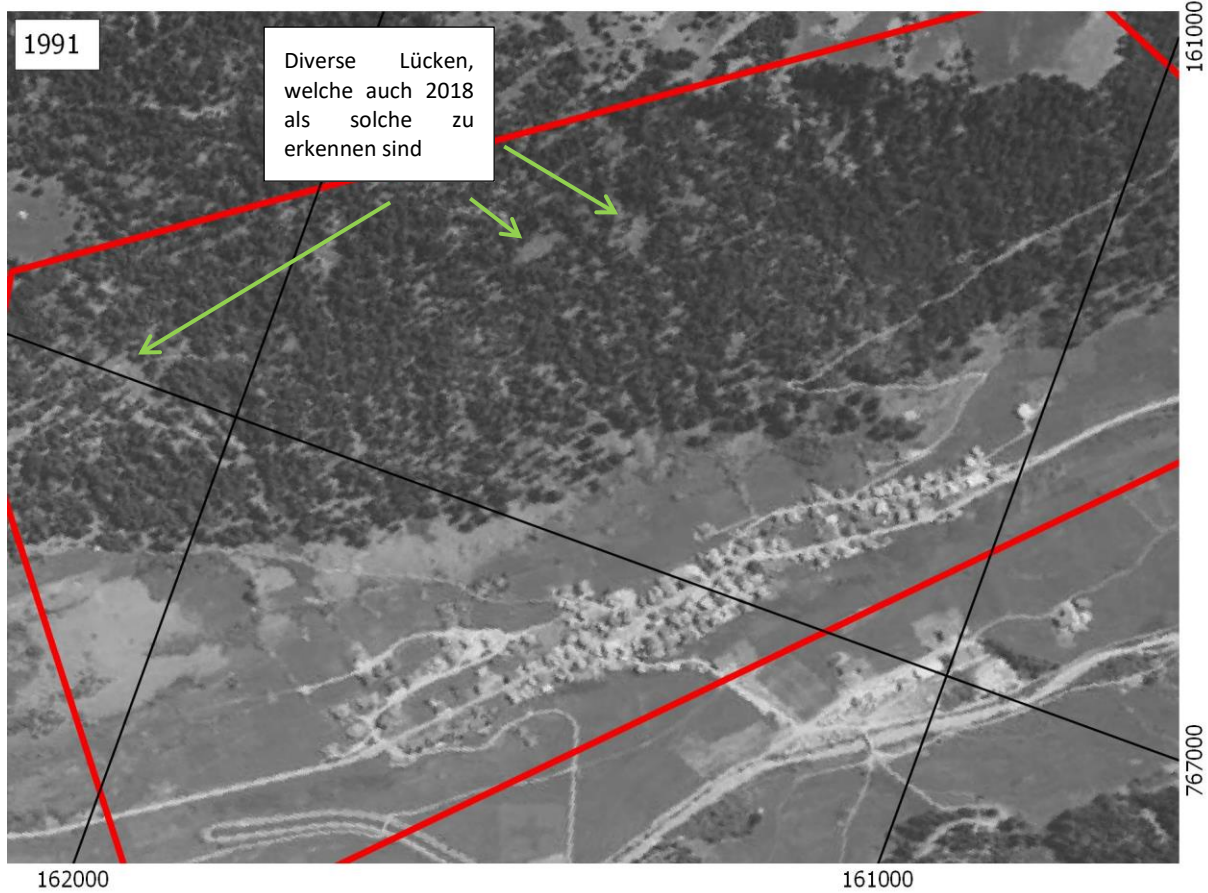
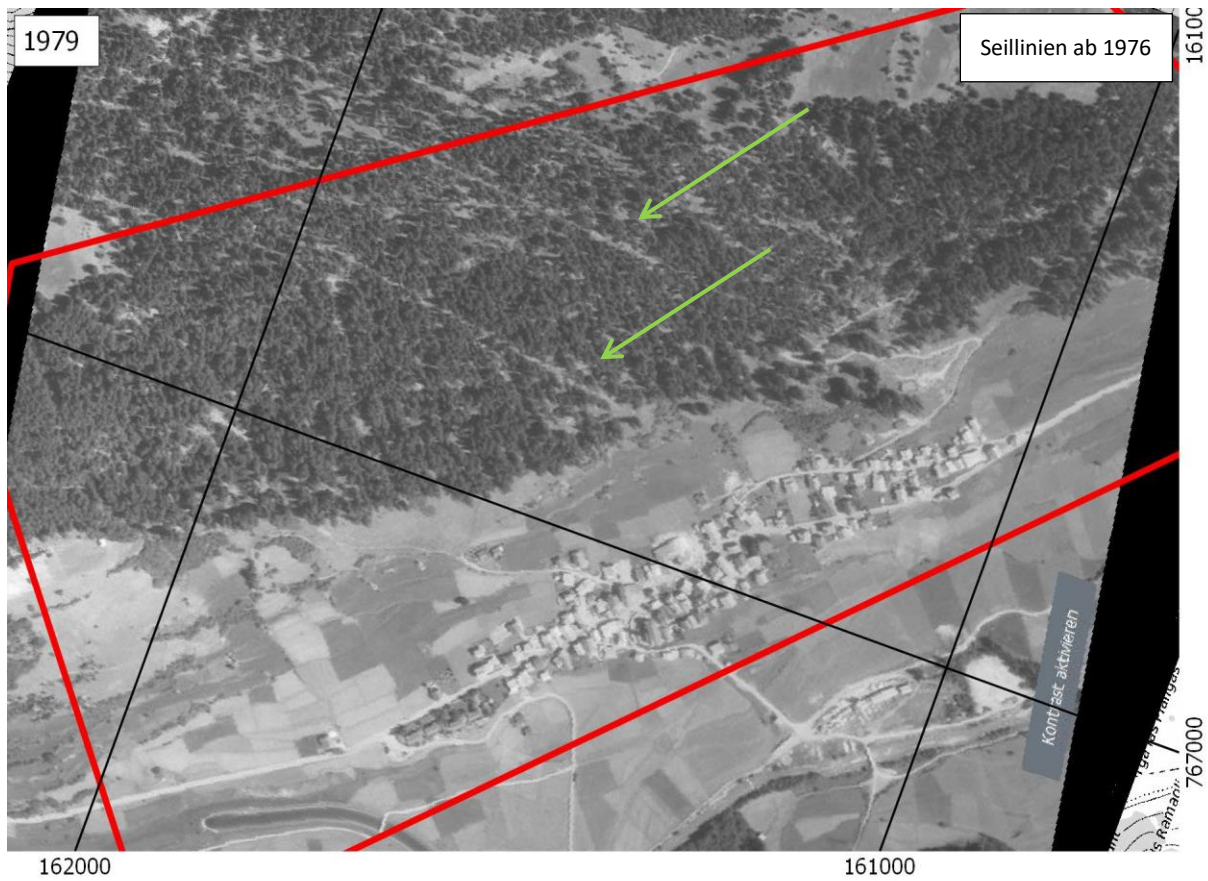


Abb. 6: Luftbild von 1979 und 1991 (Quelle: swisstopo). Rot: Untersuchungsperimeter Bannwald

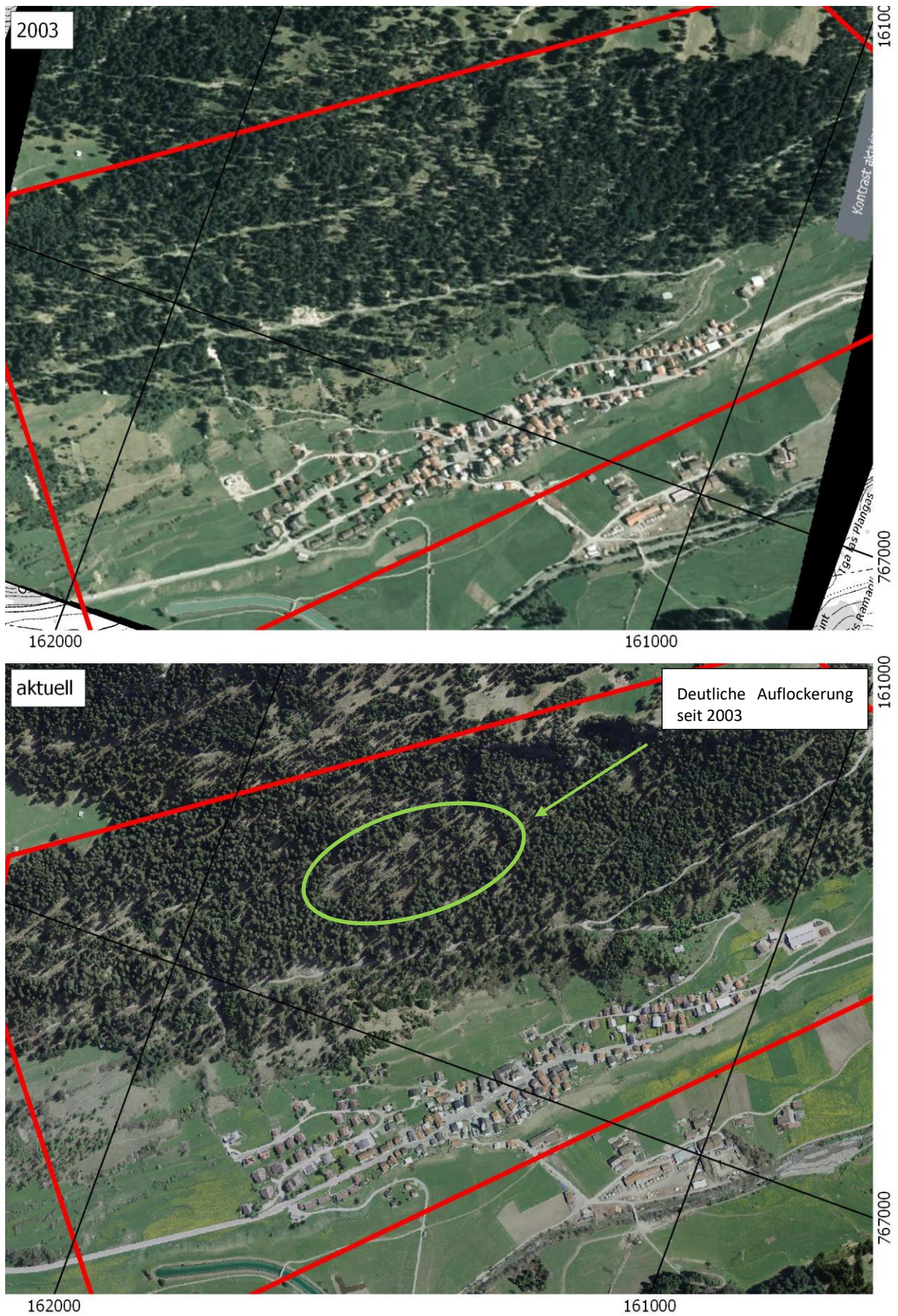


Abb. 7: Luftbild von 2003 und 2015 (Quelle: swisstopo). Rot: Untersuchungsperimeter Bannwald.

6.2 Verwendete Szenarien und Definition Wildeinflusstufen

Die Beurteilung erfolgt für folgende Szenarien:

- 0: Verbiss seit ca. 1991 tragbar, minimale waldbauliche Behandlung („Basisszenario“)
- 1a: Verbiss ab heute tragbar, minimale waldbauliche Behandlung
- 1b: Verbiss ab heute tragbar, intensive waldbauliche Behandlung inkl. nötige/theoretisch mögliche technische Schutzmassnahmen vor Wildschäden
- 2a: Verbiss kritisch, minimale waldbauliche Behandlung
- 2b: Verbiss kritisch, intensive waldbauliche Behandlung inkl. nötige/theoretisch mögliche technische Schutzmassnahmen vor Wildschäden
- 3a: Verbiss untragbar, minimale waldbauliche Behandlung
- 3b: Verbiss untragbar, intensive waldbauliche Behandlung inkl. nötige/theoretisch mögliche technischen Schutzmassnahmen vor Wildschäden

Dabei wird folgende Definition der Wildeinflusstufen verwendet:

- Verbiss tragbar: Naturverjüngung kann sich normal entwickeln, gepflanzte Nebenbaumarten können sich mit chemischem Schutz erwartungsgemäss entwickeln
- Verbiss kritisch: Naturverjüngung verbissunempfindlicher Hauptbaumarten entwickelt sich leicht verzögert, Naturverjüngung von verbissempfindlichen Baumarten fällt aus, gepflanzte/chemisch geschützte Baumarten fallen aus
- Verbiss untragbar: die Verjüngung sämtlicher Baumarten fällt weitgehend aus

Um Kosten für waldbauliche Massnahmen oder auch Veränderungen der Sturzrisiken bewerten zu können ist es wertvoll zu wissen, wieviel Risiko ein Waldkomplex verhindert. Um eine solche Einschätzung vornehmen zu können wurde bei der Berechnung der Sturzrisiken zusätzlich ein Szenario «Ohne Wald» berechnet. Aus Sicht der Autorinnen ist dieses Szenario allerdings nicht unbedingt relevant, da realistischerweise

- a) an dieser Stelle mit grosser Wahrscheinlichkeit kein Dorf stehen würde, wenn der Bereich oberhalb Tinizong nicht bewaldet resp. waldfähig wäre und
- b) ein Szenario ganz ohne Wald / Stöcke / liegendes Holz / Geländeunebenheiten in menschlich überblickbaren Zeiträumen auch unter Berücksichtigung sehr extremer Klima-/Wild- und anderer Störungsszenarien sehr unwahrscheinlich ist.
- c) Der Wald auch ohne jegliche menschliche Ansprüche existiert, und deshalb nicht Szenarien «Wald ja – nein» sondern verschiedene Waldzustände miteinander verglichen werden sollten.

Somit wurde bei der Berechnung der Sturzrisiken zusätzlich ein Szenario «Extrem» berechnet, welches von einer Vorratsreduktion von 2/3 gegenüber des heutigen Vorrates durch Störungsereignisse oder von sehr starkem Wildverbiss über eine lange Zeitdauer (z.B. 70-80 Jahre) ausgeht (vgl. Beschrieb der Waldszenarien in Beilage 4). Ein solches Szenario wird durchaus als im Bereich des Möglichen betrachtet. Die definierten waldbaulichen Massnahmen zielen darauf ab, das Szenario «Extrem» zu verhindern resp. abzuschwächen. Auf eine Abschätzung der Kosten, welche für intensive waldbauliche Massnahmen nach einem solchen grossen Störungsereignis aufgewendet werden müssten, wurde allerdings verzichtet.

Was die Szenariendefinition konkret für den Bannwald Tinizong bedeutet ist im folgenden Kapitel beschrieben.

6.3 Beschreibung der Szenarien

Die Tab. 1 enthält eine Zusammenfassung der Annahmen bezüglich Entwicklung des Altbestandes, des Folgebestandes, des Risikos durch Sturzprozesse und der Gefährdung durch Lawinen für die verschiedenen

Szenarien. Die Begründungen dafür sind in der Beilage 1 enthalten. Eine grafische Darstellung der Entwicklung des Alt- und Folgebestandes sowie der resultierenden Schutzwirksamkeit unter den verschiedenen Szenarien ist in Abb. 8 enthalten.

Die Beschreibungen und Details zu den Massnahmen (minimale/intensive waldbauliche Behandlung sowie die Wildschadenverhütungsmassnahmen), welche auch den Kostenberechnungen zu Grunde liegen, sind in den Kap. 7 resp. 8 enthalten.

Details zur Umsetzung der Annahmen bezüglich Waldentwicklung im Waldmodell als Eingangsparameter für die Sturzmodellierungen sind in der Beilage 4 enthalten.

Die Beschreibung der Massnahmen zur Kompensation der reduzierten Schutzwirksamkeit bezüglich Lawinengefährdung inkl. Kostenschätzungen sind in Kap. 9 enthalten.

Die Beschreibung der zu erwartenden Veränderungen bezüglich Sturzrisiken sind in Kap. 10 enthalten.

Aufgrund der Beurteilung im Wald wird davon ausgegangen, dass für das Untersuchungsgebiet bezüglich Wildeinfluss heute Szenario 3, bezüglich Massnahmen auf Teilflächen (d.h. in Flächen, wo intensiv Wildschadenverhütung betrieben wurde) Szenario 3b, auf dem Rest der Flächen Szenario 3a zutrifft.

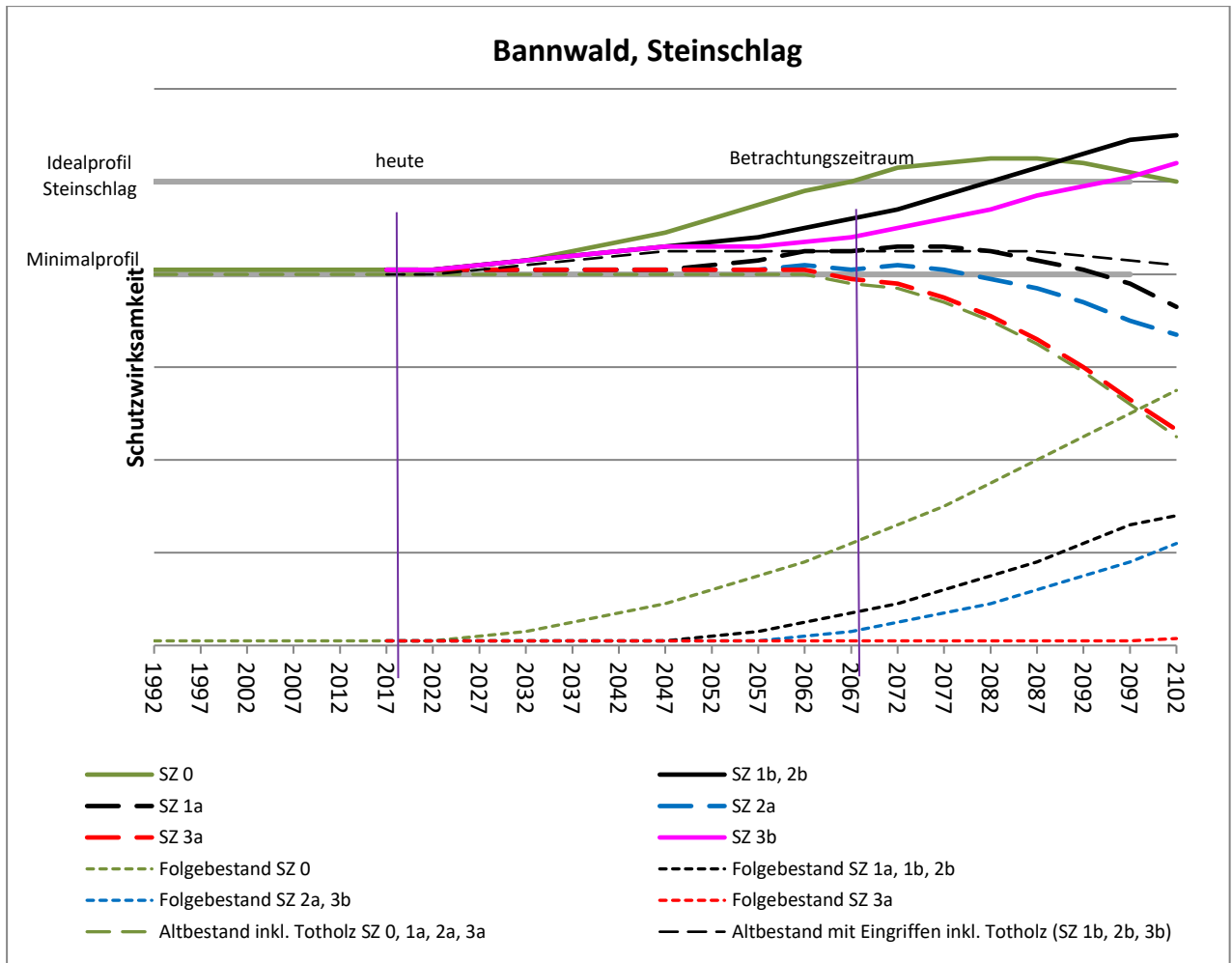


Abb. 8: Entwicklung der Schutzwirksamkeit gegen Steinschlag

Folgende Seite:

Tab. 1: Zusammenfassung/Überblick Entwicklungsszenarien für den Bannwald Tinizong. Spalte Risiko Sturz enthält qualitative Abschätzungen der Risiken, welche in Kap. 10 konkretisiert werden. Darin ist farblich bezeichnet, wo die Annahmen gleich bleiben.

| Szenario | Altbestand | Folgebestand | Risiko durch Sturzprozesse | Lawinen | Wildbedingte Kosten |
|---|---|---|--|--|--|
| SZ 0: Verbiss tragbar seit 1991, minimale waldbauliche Behandlung („Basisszenario“) | Bestandesalter ca. 180-200 Jahre. Maximales Bestandesalter ca. 250-300 Jahre. Bedeutende Borkenkäferschäden in den nächsten 20-30 Jahren zu erwarten, d.h. verbleibender Bestand weist BHD-Zuwachs von 2mm/Jahr auf. Reduktion der Stammzahl. Keine Bekämpfung der Borkenkäferschäden, d.h. Holz bleibt im Bestand und übernimmt als liegendes und stehendes Totholz vorübergehend einen Teil der Schutzwirkung des Altbestandes. | Fi verjüngt sich problemlos seit 1991. Die Lücken, welche bereits 1991 bestanden, sind bis 2018 mit schwachem Stangenholz bestockt. Lä, Vb, W'Ta, B'Ah und W'Fö werden mangels Samenbäumen ab 2018 künstlich eingebracht und chemisch vor Verbiss geschützt. Innerhalb von 40 Jahren Beginn der Schutzwirksamkeit gegenüber Sturzprozessen. | Es wird erwartet, dass im Vergleich zu heute das Risiko bezüglich Sturzprozessen geringfügig besser wäre als es heute ist. | Gefährdung bleibt mehr oder weniger gleich wie unter dem heutigen Waldzustand, d.h. keine relevanten Schadensereignisse zu erwarten. | |
| SZ 1a: Verbiss ab heute tragbar, minimale waldbauliche Behandlung | Siehe SZ0. | Fi verjüngt sich problemlos ab 2018. Die Lücken, welche 2018 bestehen, sind bis 2058 mit Stangenholz bestockt. Lä, Vb, W'Ta, B'Ah und W'Fö werden mangels Samenbäumen ab 2018 künstlich eingebracht und chemisch vor Verbiss geschützt Innerhalb von 40 Jahren Beginn der Schutzwirksamkeit gegenüber Sturzprozessen. | Zunahme der Risiken durch Sturzprozesse aufgrund des Vorratsrückganges im Altbestand. | Analog SZ 0. | Differenz Risiko heute und SZ0 ₂₀₁₈ |
| SZ 1b: Verbiss ab heute tragbar, intensive waldbauliche Behandlung | Durch konsequente Borkenkäferbekämpfung kann die Lebensdauer des Altbestandes etwas verlängert und Verjüngungsschläge gezielt ausgeführt werden. Hohe Stöcke und wenig liegendes Totholz übernehmen einen Teil der Schutzwirkung → der Zwangsnutzungsanteil ist deutlich tiefer, es finden in ca. 20 Jahren einzelne Eingriffe Jahren in dichten Partien statt. | Analog SZ 1a. | Rückgang der Risiken durch Sturzprozesse dank Verhinderung grosser Lücken und gutem Einwuchs | Analog SZ 0. | Differenz Risiko heute und SZ0 ₂₀₁₈ |
| SZ 2a: Verbiss kritisch, minimale waldbauliche Behandlung | Siehe SZ 0. | Verjüngung wird um ca. 10 Jahre verzögert. Lä, Vb, W'Ta, B'Ah und W'Fö werden mangels Samenbäumen künstlich eingebracht und chemisch vor Verbiss geschützt, Pflanzungen fallen verbissbedingt aus. Innerhalb von 50 Jahren Beginn der Schutzwirksamkeit gegenüber Sturzprozessen. Langfristig findet eine Entmischung statt und im Hinblick auf den Klimawandel muss mit einem deutlichen Rückgang der Schutzwirksamkeit gerechnet werden (ausserhalb Betrachtungszeitraum, nicht quantifiziert). | Zunahme der Risiken durch Sturzprozesse aufgrund des Vorratsrückganges im Altbestand und dem leicht verzögerten Einwuchs. | Die Schutzwirksamkeit verringert sich vorübergehend. Nicht risikorelevant, da positive Entwicklung innerhalb des Betrachtungszeitraums absehbar. | Differenz Risiko heute und SZ0 ₂₀₁₈ Pflanzungen/Wildschutz Adaptation Klimawandel Differenz Risiko heute und zukünftiges Risiko gem. Kap. 10 |
| SZ 2b: Verbiss kritisch, intensive waldbauliche Behandlung inkl. nötige/theoretisch mögliche technische Wildschadenverhütungsmassnahmen | Siehe SZ1b. | Dank Wildschutzmassnahmen Entwicklung analog SZ 1a (optimistische Einschätzung, da Wildschutzmassnahmen nur auf einem Teil der Fläche realistisch sind). Die Wildschutzmassnahmen beinhalten: <ul style="list-style-type: none"> • Chemischer Schutz der Fi-Naturverjüngung • Schutz der Pflanzungen (analog zu SZ 0) mit Kleinzäunen über 20 Jahre • anschliessend Schutz einer reduzierten Stammzahl mit Polynet | Rückgang der Risiken durch Sturzprozesse dank Verhinderung grosser Lücken und gutem Einwuchs | Analog SZ 0. | Differenz Risiko heute und SZ0 ₂₀₁₈ Kleinzäune/Polynet für Nebenbaumarten Chemischer Schutz Fi |
| SZ 3a: Verbiss untragbar, minimale waldbauliche Behandlung | Siehe SZ 0. | Fi-Verjüngung wird durch Verbiss praktisch verunmöglicht. Lä, Vb, W'Ta, B'Ah und W'Fö werden mangels Samenbäumen künstlich eingebracht und chemisch vor Verbiss geschützt, die Pflanzungen fallen verbissbedingt aus. Es ist nicht absehbar, dass die Verjüngung innerhalb des Betrachtungszeitraums schutzwirksam wird. | Zunahme der Risiken durch Sturzprozesse aufgrund des Vorratsrückganges im Altbestand und dem schlechten Einwuchs der Lücken. | Einige bereits heute bestehende Lücken vergrössern sich, so dass mit Waldlawinen, welche zu weiteren Schäden am Schutzwald führen können, zu rechnen ist. Entsprechend müssen die Lücken verbaut werden. | Differenz Risiko heute und SZ0 ₂₀₁₈ Pflanzungen/Wildschutz Adaptation Klimawandel Differenz Risiko heute und zukünftiges Risiko gem. Kap. 10 Permanente Lawinenverbauungen |
| SZ 3b: Verbiss untragbar, waldbauliche Behandlung inkl. nötige/theoretisch mögliche technischen Wildschadenverhütungsmassnahmen | Siehe SZ1b. | Dank Wildschutzmassnahmen Entwicklung mengenmässig analog SZ 2a, 10 Jahre verzögert, da Grosszaun kaum wilddicht zu halten ist. Die Wildschutzmassnahmen beinhalten: <ul style="list-style-type: none"> • Schutz der Naturverjüngung und der Pflanzungen (analog zu SZ 0) mit einem Grosszaun über 50 Jahre • Chemischer Schutz der Pflanzungen (analog zu SZ 0) | Rückgang der Risiken durch Sturzprozesse dank Verhinderung grosser Lücken und leicht verzögertem Einwuchs | Analog SZ 0. | Differenz Risiko heute und SZ0 ₂₀₁₈ Grossflächiger Wildschutzzaun Differenz Risiko heute und zukünftiges Risiko gem. Kap. 10 |

7 Eingriffe im Altbestand

7.1 Minimale waldbauliche Behandlung (SZ 0, 1a, 2a, 3a)

Für die Kostenabschätzungen der minimalen waldbaulichen Behandlung wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Der Bannwald ist horizontal relativ gut strukturiert, d.h. es sind viele Lücken in für die Verjüngung geeigneter Grösse vorhanden. Bezüglich Baumalter sind die Bestände allerdings schlecht strukturiert, es fehlen insbesondere Pflanzen im Jungwuchs- und Dickungsalter. Vorläufig drängen sich keine Massnahmen zur Verjüngungseinleitung auf, sondern es sollte abgewartet werden, bis die Verjüngung in den bestehenden Lücken gesichert ist bevor die Bestände weiter geöffnet werden, um eine weitere Erhöhung der Naturgefahren-Risiken zu verhindern.
- Bereits heute sind lokal zahlreiche kleine bis mittlere Lücken aufgrund von Borkenkäferschäden zu finden. In den nächsten ca. 30 Jahren sind v.a. auf Grund des Bestandesalters bedeutende Ausfälle im Altbestand durch Borkenkäferschäden zu erwarten (vgl. Tab. 1 und Beilage 4). Das dabei entstehende Totholz wird vollumfänglich im Wald belassen.
- Auf Grund dieser Zwangsnutzungen wird zum einen die Schutzwirksamkeit der Bestände deutlich reduziert. Das liegende Totholz weist nur während ca. 15 Jahren eine relevante Wirkung bezüglich Sturzprozessen auf. Zum anderen werden genügend weitere Lücken geschaffen, in welchen sich Verjüngung etablieren kann. Diese Lücken sind mit grosser Wahrscheinlichkeit ungünstig verteilt (wenige, aber grosse Lücken). Dies kann langfristig dazu führen, dass der bisher an diesem Hang nicht relevante Naturgefahrenprozess «Lawinen» zum Thema wird und je nach Verjüngungssituation allenfalls entsprechende Verbauungen erstellt werden müssen.

Das bedeutet, dass für die Szenarien 0, 1a, 2a und 3a nicht mit nennenswerten Kosten für die waldbauliche Behandlung zu rechnen ist, dagegen aber ein gewisses Risiko für neue Lawinenverbauungen entsteht, besonders falls die Verjüngung in den Lücken nicht aufwächst.

7.2 Intensive waldbauliche Behandlung (1b, 2b, 3b)

Um die Schutzwirksamkeit trotz heute in den bestehenden Lücken fehlender Verjüngung erhalten zu können, gilt es, in den kommenden 20-30 Jahren mittel- bis grossflächige Borkenkäferschäden zu verhindern. Parallel dazu werden einzelne Gefahrenträger entfernt und lokal wird die Verjüngung sehr kleinflächig begünstigt (Freistellen bestehender Verjüngungsansätze).

Konsequente Buchdruckerbekämpfung

Eine effektive Bekämpfung des Buchdruckers ist im Gebiet Bannwald grundsätzlich möglich, aber zeitaufwändig und beinhaltet folgende Arbeiten:

- Während der Flugzeit des Buchdruckers von ca. Mitte Mai bis ca. Ende August (je nach Witterung) werden ca. alle zwei Wochen Kontrollgänge durchgeführt und das Gebiet nach neu befallenen Borkenkäferbäumen abgesucht. Es wird von einem jährlichen Arbeitsaufwand von 5 Tagen à 8.5h ausgegangen.
- Neu befallene Bäume werden je nach Situation konsequent gefällt und entrindet oder aus dem Bestand entfernt. Dazu ist zumeist eine Holzbringung per Helikopter notwendig, da die befallenen Bäume selten direkt an der Strasse oder entlang einer verhältnismässigen Erschliessung per Seilkran zu erwarten sind.
- Gerechnet wird auf Grund von den Erfahrungen der letzten 10 Jahre mit 50m³/Jahr Zwangsnutzungen im gesamten Gebiet Bannwald, wobei die Hälfte entrindet und liegengelassen und die Hälfte aus dem Bestand entfernt wird.

- Es wird davon ausgegangen, dass eine solche intensive Borkenkäferbekämpfung während der nächsten 50 Jahre durchgeführt wird.

Entfernung/Sicherung Gefahrenträger und lokale Unterstützung der Verjüngung

Im Bannwald stehen teilweise sehr alte Bäume, welche z.T. schlecht verankert sind. In den letzten Jahren wurde vereinzelt beobachtet, dass solche Bäume umfielen, Schäden am verbleibenden Bestand verursachten und teilweise weit durch den Wald herabgerutscht sind. Um dieser Gefährdung durch umfallende Bäume vorzubeugen wird vorgesehen, einzelne Gefahrenträger zu entfernen. Weiter wird es als sinnvoll erachtet, vereinzelt bestehende Verjüngungsansätze freizustellen.

Es wird vorgesehen, entsprechende Eingriffe über die nächsten 50 Jahre im Umfang von 50m³/Jahr durchzuführen. Dabei wird analog zu den Zwangsnutzungen davon ausgegangen, dass je die Hälfte des Holzanfalles aus dem Bestand entfernt resp. geschält und liegengelassen wird.

Gemäss Angaben von Revierförster P. Janutin wird von Netto-Holzerntekosten für Zwangsnutzung sowie das Entfernen von Gefahrenträgern von CHF 105.-/m³ ausgegangen (d.h. abzüglich Holzerlös). Für Schälen/liegengelassen wird von 65.-/m³ ausgegangen (Tab. 2).

7.3 Resultate

Für die Szenarien 0, 1a, 2a und 3a ist nicht mit nennenswerten Kosten für die waldbauliche Behandlung zur rechnen.

Für die Szenarien 1b, 2b und 3b muss für eine konsequente Bekämpfung und weitgehende Verhinderung von grossflächigen Buchdruckerschäden mit jährlichen Kosten von gut 8'000.- resp. Gesamtkosten von ca. 414'000.- bis 2067 gerechnet werden (vgl. Tab. 2). Für die Entfernung von Gefahrenträgern und die lokale Unterstützung von Verjüngungsansätzen ist mit Gesamtkosten von ca. CHF 212'000.- zu rechnen (vgl. Tab. 3).

Tab. 2: Buchdruckerbekämpfung: Annahmen und zu erwartende Kosten.

| Buchdruckerbekämpfung | | |
|---|----------------------|----------------|
| 5 Kontrollgänge à 8.5h, 95.-/ha | CHF/Jahr | 4'038 |
| Holzanfall Zwangsnutzungen liegenlassen | m ³ /Jahr | 25 |
| Kostenansatz Zwangsnutzungen liegenlassen | CHF/m ³ | 65 |
| Holzanfall Zwangsnutzungen aufrüsten/abtransportieren | m ³ /Jahr | 25 |
| Kostenansatz Zwangsnutzungen aufrüsten/abtransportieren (abzüglich Holzerlös) | CHF/m ³ | 105 |
| Jährliche Netto-Kosten Zwangsnutzungen | CHF/Jahr | 4'250 |
| Total Jährliche Kosten Buchdruckerbekämpfung Bannwald | CHF/Jahr | 8'288 |
| Gesamtkosten über 50 Jahre | CHF | 414'375 |

Tab. 3: Entfernung/Sicherung Gefahrenträger und lokale Unterstützung Verjüngung: Annahmen und Kostenschätzung.

| Kosten Entfernung/Sicherung Gefahrenträger und lokale Unterstützung der Verjüngung | | |
|---|----------------------|----------------|
| Holzanfall liegenlassen (pro Jahr) | m ³ /Jahr | 25 |
| Kostenansatz liegenlassen | CHF/m ³ | 65 |
| Holzanfall aufrüsten/abtransportieren (pro Jahr) | m ³ /Jahr | 25 |
| Kostenansatz aufrüsten/abtransportieren (abzüglich Holzerlös) | CHF/m ³ | 105 |
| Jährliche Netto-Kosten Entfernung/Sicherung Gefahrenträger und lokale Unterstützung der Verjüngung | CHF/Jahr | 4'250 |
| Gesamtkosten über 50 Jahre | CHF | 212'500 |

8 Pflanzungen/Wildschadenverhütungsmassnahmen

8.1 Methode und Annahmen

Definition

Abgeschätzt werden die zu erwartenden Kosten, falls die auf Grund des Schalenwildeinflusses ausfallende Verjüngung durch Pflanzungen resp. mit Wildschadenverhütungsmassnahmen sichergestellt werden soll.

In den Szenarien 2a und 3a fällt die Verjüngung wegen dem kritischen Verbissdruck trotz chemischem Verbisschutz teilweise resp. komplett aus. Die Kosten für die Pflanzungen und den chemischen Verbisschutz werden deshalb als wildbedingte Fehlinvestitionen angesehen.

Abschätzung der nötigen Verjüngung

Für die Abschätzung der nötigen Verjüngung wird davon ausgegangen, dass

- Junge Bäume ca. 40 Jahre benötigen, um bezüglich Steinschlag bei kleinen Steinen eine relevante Schutzwirksamkeit aufzuweisen (BHD > 8cm), bei grossen Steinen dauert es wesentlich länger.
- In strukturierten Beständen in der hochmontanen Höhenstufe mit Lückengrössen von ca. ½ Baumlänge ca. 100 Bäume pro Hektar im Stangenholzalder ein realistischer Zielwert sind. Das bedeutet, dass im Szenario 1a₂₀₅₈ auf der gesamten Fläche ca. 7000 Bäume mit BHD 8-12 cm vorhanden sein sollten, was ca. 10 Bäumen/a entspricht.
- Die Stammzahlabnahme von gepflanzten Jungbäumen bis ins Stangenholz 75% beträgt (gemäss (Bachofen 2009) in Plenterwäldern deutlich höher), somit wird die Anzahl benötigter Jungbäume und damit die Kosten für Wildschadenverhütungsmassnahmen eher unterschätzt).
- Für die Kostenschätzungen wird stark vereinfachend davon ausgegangen, dass die Verjüngung nicht kontinuierlich und regelmässig, sondern geklumpt und in Schüben stattfindet. D.h. es wird nicht mit einer jährlichen, regelmässigen Verjüngung gerechnet, sondern mit Verjüngungszyklen im Abstand von 25 Jahren.

Baumartenmischung in der Verjüngung:

Auf Grund der in (Frehner et al. 2016) modellierten klimabedingten Veränderung der Höhenstufen muss im Bannwald von Verschiebungen in der Baumartenzusammensetzung ausgegangen werden. Je nach Modell (zwei Szenarien) wird prognostiziert, dass der untere Teil des Untersuchungsgebietes in die untermontane Stufe und der obere Bereich in die obermontane Stufe zu liegen kommt (vgl. Beilage 2), oder der grosse Teil der Fläche hochmontan bleibt, aber vom Weisstannen-Reliktareal in das Weisstannen-Nebenareal wechselt und im untersten Teil colline Verhältnisse herrschen werden. Auf Grund dieser Prognose und in Anlehnung an NaiS (Frehner et al. 2005) wird davon ausgegangen, dass die Fichte auch in Zukunft auf einem grossen Teil der Fläche gedeihen kann. Je nach Klimazukunft wird sie zusammen mit der Weisstanne bestandesbildend sein und in den untersten Lagen durch einen Eichenmischwald ersetzt werden oder neben Weisstanne und Buche eine Nebenbaumart werden. Zudem wird unter Berücksichtigung des Klimawandels mit grosser Wahrscheinlichkeit vermehrt mit Borkenkäferschäden gerechnet werden müssen. Zur Diversifizierung der Baumartenzusammensetzung wird empfohlen, v.a. die Lärche und die Vogelbeere verstärkt einzubringen, von der Vogelbeere sind im Moment nur wenige Samenbäume vorhanden, für die Lärche hat es nur wenige verjüngungsgünstige Kleinstandorte mit Mineralerde, zudem sind die Samenbäume spärlich. An trockenen Stellen kann die Waldföhre gepflanzt werden, sie fehlt aus den gleichen Gründen wie die Lärche. Auf frischeren Standorten wird erwartet, dass sich Bedingungen für die Weisstanne und den Bergahorn verbessern, es wird deshalb empfohlen, diese zu pflanzen. Gepflanzte Bergahorne gedeihen auf Grund der Erfahrungen im heutigen Klima gut. Mit der Pflanzung von Weisstanne gibt es im Gebiet noch keine Erfahrung. Falls die Weisstannenpflanzungen mit dem heutigen Klima noch Probleme haben, sollen mehr Bergahorne und weniger Weisstannen gepflanzt werden. Das Pflanzen von Buche wird im Moment noch nicht empfohlen, sie wird nur bei einer von zwei Klimaszenarien erwartet, zudem erträgt sie das heutige Klima kaum. Hingegen hat man in den untersten Lagen schon Linden gepflanzt, die überleben. Für die Baumartenanteile in der Verjüngung wird deshalb für die Pflanzungen in den nächsten Jahren von folgender Baumartenzusammensetzung in der Verjüngung ausgegangen (% der Stammzahl):

- Fi 75%
- Lä 15% auf gesamter Fläche
- W'Fö 5% auf 20% der Fläche
- Vb 5% auf gesamter Fläche
- W'Ta und B'Ah zusammen 5% auf 80% der Fläche

Bei den Pflanzungen in 20 und mehr Jahren bleibt die Anzahl der Pflanzen gleich, die Baumarten werden jedoch an die tatsächliche Entwicklung des Klimas angepasst.

Pflanzungen:

Pro zu pflanzenden Baum wird gemäss (AWN 2016) mit CHF 13.-/Stk gerechnet (Ansatz Topfpflanzen verwendet, inkl. Arbeit und Materialkosten, in Tinizong wird häufig mit Wildlingen gearbeitet, Kosten etwa gleich).

Chemischer Verbisschutz:

Für den Verbisschutz mit chemischen Mitteln wird bei Pflanzungen von einer Erfolgsrate von 80% ausgegangen, d.h. es wird mit einem Zuschlag von 20% auf die oben hergeleitete notwendige Verjüngungsstammzahl gerechnet. Für Naturverjüngung wird von einer Erfolgsrate von 60% ausgegangen, da es sehr viel schwieriger ist, die Pflanzen über Jahre wieder aufzufinden. D.h. es wird für den Schutz von Naturverjüngung im SZ 2b von 40% zusätzlich zur Sollstammzahl zu schützenden Pflanzen ausgegangen.

Weiter wird davon ausgegangen, dass es 25 Jahre dauert, bis die Pflanzen aus dem Äser sind (d.h. die Wuchshöhe überschritten haben, bis zu welcher die Endknospe durch das Schalenwild erreicht wird). Um der Stammzahlabnahme während dieser Periode Rechnung zu tragen wird der chemische Verbisschutz nur für die Hälfte der zu schützenden Pflanzen eingerechnet.

Pro zu schützender Pflanze wird gemäss (AWN 2016) ein Kostenansatz von CHF -.50/Stk./Jahr eingesetzt.

Kleinzäune:

In den vergangenen Jahren haben sich im Gebiet Bannwald Kleinzäune mit einer Fläche von ca. 1a resp. einer Zaunlänge von ca. 50m (in Hanglage) am ehesten bewährt. Auf Grund der topografischen Verhältnisse, der hohen Steinschlagaktivität und der Schneeeverhältnisse muss von einer massiven Bauweise ausgegangen werden. Die Kosten hierfür belaufen sich erfahrungsgemäss auf CHF 100.- bis 150.-/m'. Für die Kostenschätzungen wird vom unteren Bereich, d.h. 100.-/m' resp. 5'000.- pro Kleinzäun ausgegangen. Aufgrund der Erfahrungen im Gebiet wird mit 10% der Investitionskosten an jährlichen Unterhaltskosten inkl. Kontrollgänge und gemäss AWN 2016a einer Lebensdauer von 20 Jahren gerechnet. Wie oben aufgeführt wird mit 2 Verjüngungszyklen im Abstand von 25 Jahren gerechnet.

Es wird gerechnet, dass pro Kleinzäun 10 Pflanzen das Stangenholzaltes (d.h. BHD 8-12cm) erreichen sollten. D.h. es werden 40 Pflanzen pro Zaun eingebracht (d.h. alle 2.5m eine Pflanze).

Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass mit Kleinzäunen und intensiver Kontrolle/Unterhalt die Verjüngung genügend effektiv geschützt werden kann, so dass die Verjüngung unverzögert aufkommen kann. Dabei ist nicht berücksichtigt, dass das Gelände nicht überall einen Zaunbau ermöglicht. Somit wird die Wirkung der Zäune überschätzt.

Polynet:

Aufgrund der hohen Präsenz von Rotwild im Gebiet wird davon ausgegangen, dass diejenigen Baumarten, die von Verbiss betroffen sind, später auch durch Schälen beeinträchtigt werden. D.h. dass die chemisch resp. durch einen Zaun geschützten Pflanzen mit Polynet geschützt werden müssen, sobald sie aus dem Äser sind und nicht mehr chemisch geschützt werden müssen/können oder der Zaun zerfällt (d.h. nach 20 Jahren). Dabei wird von einer Stammzahlabnahme von 75% zwischen Jungwuchs und Stangenholz ausgegangen, d.h. es wird die Sollstammzahl fürs Stangenholz mit Polynet geschützt. Es wird mit einer Notwendigkeit des Schälenschutzes von 20 Jahren und einer Lebensdauer von 10 Jahren, d.h. von einer Wiederholung der Massnahmen nach 10 Jahren ausgegangen.

Grossflächiger Zaun:

Da bei grossflächigem Verjüngungsausfall der Schutz mit Kleinzäunen aufgrund der schwierigen topografischen Verhältnisse (Stein-/Eisschlag, Steilheit, Schneeeinwirkungen) nicht flächig möglich ist, wird für das Szenario 3b von einem grossflächigen Wildschutzzäun ausgegangen.

Für die Berechnungen in der vorliegenden Studie wird vom Umfang gemäss Abb. 9, von 200.-/m' für die Erstellung und Unterhaltskosten von 10% ausgegangen, bei einer Lebensdauer von 20 Jahren (d.h. innerhalb von 50 Jahren ist ein 2-maliger Ersatz notwendig).

Gemäss Erfahrungen mit grossflächigen, massiven Wildschutzzäunen bei hohem Schalenwilddruck kann ein Zaun dieser Grösse nicht über einen genügenden Zeitraum wilddicht gehalten werden (z.B. Grosszaun in Steg, LI). Somit muss trotz Zaun mit Einbussen bei der Verjüngung gerechnet werden. Für das Szenario 3b wird somit davon ausgegangen, dass die gepflanzten Nebenbaumarten trotz Zaun zusätzlich chemisch geschützt werden müssen und dass wie beim Szenario 2a mit einer Verzögerung der Verjüngung von 10 Jahren gerechnet werden muss. Im Gegensatz zum Szenario 2a wird davon ausgegangen, dass sich die chemisch geschützten Nebenbaumarten entwickeln können und deshalb keine Kleinzäune/Polynet notwendig sind. Diese Einschätzung ist aus unserer Sicht optimistisch.

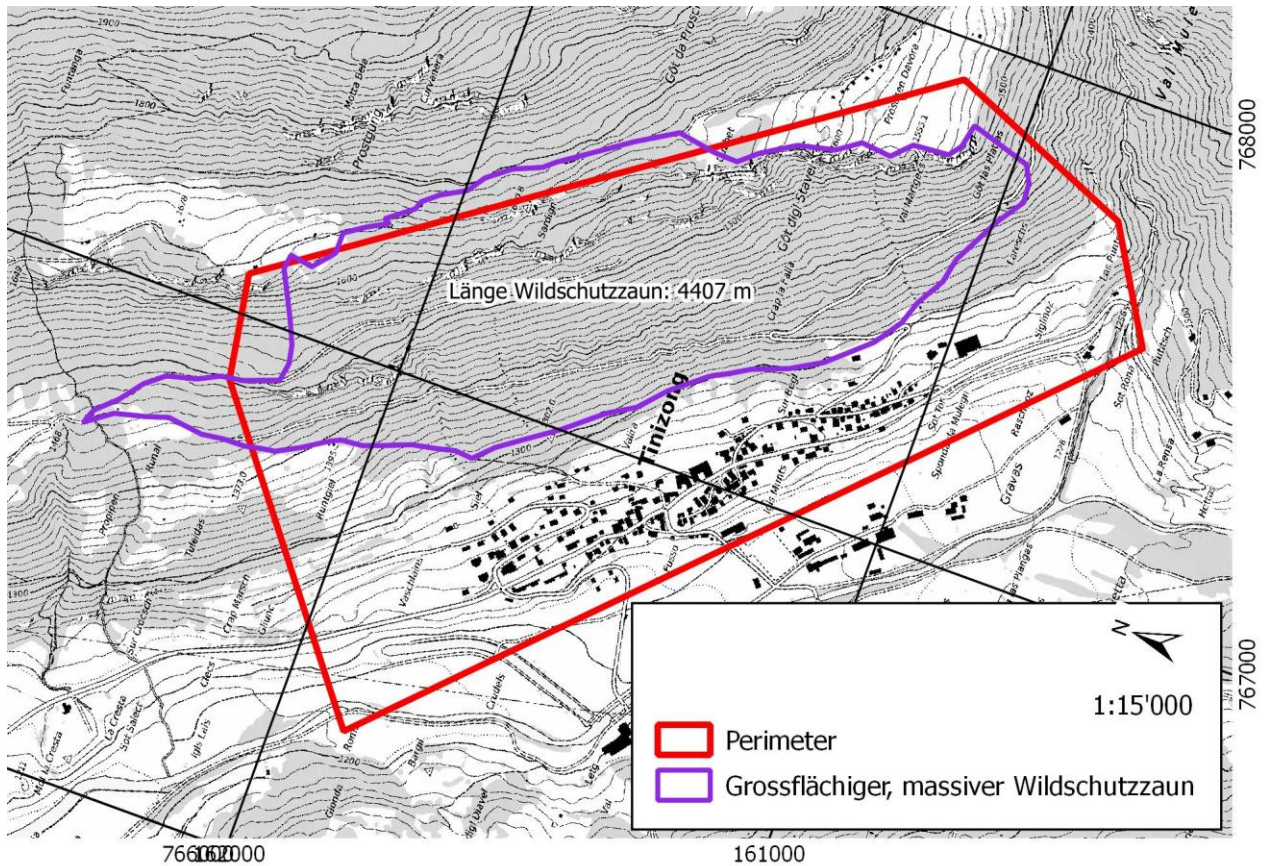


Abb. 9: Grossflächiger, massiver Wildschutzzaun

8.2 Resultate

Die zu erwartenden Kosten pro Szenario sind in der Tab. 4 enthalten. Ausser für das Szenario 2b sind für alle Szenarien die Basiskosten von ca. 375'500.- in den nächsten 50 Jahren einzurechnen. Diese setzen sich zusammen aus den Kosten für Pflanzungen (218'400.-) und chemischem Verbisschutz der Nebenbaumarten (52'000.-) für Massnahmen zur Adaptation an den Klimawandel. Beim Szenario 2b sind weniger Pflanzungen vorgesehen, da sie durch Zäune geschützt sind und der Ausfall deshalb kleiner geschätzt wird (Fr. 182'000.-), dafür wird die Fichtennaturverjüngung chemisch geschützt (Fr. 367'500.-).

In den Szenarien 2b und 3b ist mit zusätzlichen Kosten von ca. CHF 6.15 Mio resp. 6.7 Mio zu rechnen zur Sicherstellung der Verjüngung mit Wildschadenverhütungsmassnahmen. Dabei ist zu bemerken, dass die Investitionskosten für Wildschadenverhütungsmassnahmen nur gerade ca. ein Drittel der Gesamtkosten ausmachen, die restlichen zwei Drittel entfallen auf die Unterhaltskosten.

Tab. 4: Pflanzungen und Wildschadenverhütungsmassnahmen: Annahmen und Kostenschätzungen

| Pflanzungen (pro Verjüngungszyklus) | | SZ0 | SZ1a | SZ1b | SZ2a | SZ2b | SZ3a | SZ3b |
|--|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Gesamtfläche | ha | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Soll-Stammzahl im Stangenholz (auf Gesamtfläche) | Stk | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7000 | 7'000 |
| Soll-Stammzahl im Jungwuchs | Stk | 28000 | 28000 | 28000 | 28000 | 28000 | 28000 | 28'000 |
| Anzahl Fi | Stk | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Anzahl Lā (auf gesamter Fläche), inkl. Zuschlag für Ausfall bei chem. Schutz | Stk | 5040 | 5040 | 5040 | 5040 | 4200 | 5040 | 5'040 |
| Anzahl W'Fö (auf 20% der Fläche), inkl. Zuschlag für Ausfall bei chem. Schutz | Stk | 336 | 336 | 336 | 336 | 280 | 336 | 336 |
| Anzahl Vb pro (auf gesamter Fläche), inkl. Zuschlag für Ausfall bei chem. Schutz | Stk | 1680 | 1680 | 1680 | 1680 | 1400 | 1680 | 1680 |
| Anzahl W'Ta/B'Ah (auf 80% der Fläche), inkl. Zuschlag für Ausfall bei chem. Schutz | Stk | 1344 | 1344 | 1344 | 1344 | 1120 | 1344 | 1'344 |
| Kosten pro Stück inkl. Material und Arbeit | CHF/Stk | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Gesamtkosten über 50 Jahre (2 Verjüngungszyklen) | CHF | 218'400 | 218'400 | 218'400 | 218'400 | 182'000 | 218'400 | 218'400 |

| Chemischer Verbisschutz (pro Verjüngungszyklus) | | | | | | | | |
|---|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Anzahl zu schützende Nebenbaumarten (bei 2b Fichtennaturverjüngung) | Stk | 4200 | 4200 | 4200 | 4200 | 14700 | 4200 | 4200 |
| Zeitspanne, während der geschützt werden muss | Jahre | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Kosten/Stk/Jahr | CHF/Stk/Jahr | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 |
| Gesamtkosten über 50 Jahre (2 Verjüngungszyklen, 25 Jahre bis aus Äser) | CHF | 105'000 | 105'000 | 105'000 | 105'000 | 367'500 | 105'000 | 105'000 |

| Kleinzäune | | | | | | | | |
|---|--------------------------|--|--|--|--|-----------|--|--|
| Anzahl zu schützende Nebenbaumarten | Stk | | | | | 7000 | | |
| Anzahl Kleinzäune à 10x10m (40 Jungpflanzen, 10 Bäume im Stangenholz) | Stk | | | | | 175 | | |
| Kosten/Stk (50m' à 100.-) | CHF/Stk | | | | | 5000 | | |
| Jährliche Unterhaltskosten | % der Investitionskosten | | | | | 10.00% | | |
| Gesamte Investitionskosten über 50 Jahre (Lebensdauer 20 J., 2 Verj.zyklen) | CHF | | | | | 1'750'000 | | |
| Gesamte Unterhaltskosten über 50 Jahre (Lebensdauer 20 J., 2 Verjüngungszyklen) | CHF | | | | | 3'325'000 | | |

| Polynet | | | | | | | | |
|--|--------------|--------|--------|--------|---|---------|---|---|
| Anzahl zu schützende Nebenbaumarten (Anzahl Pflanzungen ohne den Zuschlag von 20% für Ausfall, davon 25% (wegen Stammzahlabnahme), 20 Jahren nach Erstellung Kleinzäun, Wirkungsdauer 10 Jahre, d.h. Wiederholung nach 10 Jahren) | Stk | 1750 | 1750 | 1750 | 0 | 1750 | 0 | 0 |
| Anzahl zu schützende Fichten (Anzahl chem. geschützte Naturverjüngung Fichte ohne den Zuschlag von 40% für Ausfall, davon 25% (wegen Stammzahlabnahme), 20 Jahren nach Erstellung Kleinzäun, Wirkungsdauer 10 Jahre, d.h. Wiederholung nach 10 Jahren) | | | | | | 5250 | | |
| Kosten/Stk | CHF/Stk/Jahr | 10 | 10 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| Gesamtkosten über 50 Jahre (2 Verjüngungszyklen) | CHF | 52'500 | 52'500 | 52'500 | 0 | 210'000 | 0 | 0 |

| Grossflächiger Zaun | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---|--|--|--|--|--|-----------|
| Anzahl Laufmeter | m' | 0 | | | | | | 4'400 |
| Kosten/Laufmeter | CHF/m' | | | | | | | 200.0 |
| Jährliche Unterhaltskosten | % der Investitionskosten | | | | | | | 10.0% |
| Gesamte Investitionskosten über 50 Jahre (Lebensdauer 20 Jahre, d.h. 2x ersetzen) | CHF | | | | | | | 2'640'000 |
| Gesamte Unterhaltskosten über 50 Jahre (Lebensdauer 20 Jahre, d.h. 2x ersetzen) | CHF | | | | | | | 4'136'000 |

9 Lawinerverbauungen

9.1 Methode und Annahmen

Gemäss Beurteilung im Feld und Luftbild-/Geländeanalysen wird mit folgenden Aufwendungen für Lawinerverbauungen gerechnet:

- SZ 3a: Es wird damit gerechnet, dass in drei Flächen bereits heute existierende Lücken wildbedingt nicht einwachsen und sich vergrössern. Dadurch werden Lawinerverbauungen notwendig, um die Schutzwirksamkeit zu erhalten und Schäden am Schutzwald zu verhindern. Die entsprechend berücksichtigten Verbauungsflächen sind in der Abb. 10 enthalten. Es wird nicht von einer Vollverbauung ausgegangen, sondern es wird davon ausgegangen, dass mit liegendem Totholz, hohen Stöcken und einzelnen verbleibenden Altbäumen auf der Hälfte der Fläche eine genügende Schutzwirksamkeit erreicht werden kann. Da in absehbarer Zeit aufgrund des Wildverbisses nicht damit gerechnet werden kann, dass die Wirkung von Verbauungen wieder durch eine Bestockung übernommen werden kann, werden permanente Lawinerverbauungen vorgesehen.

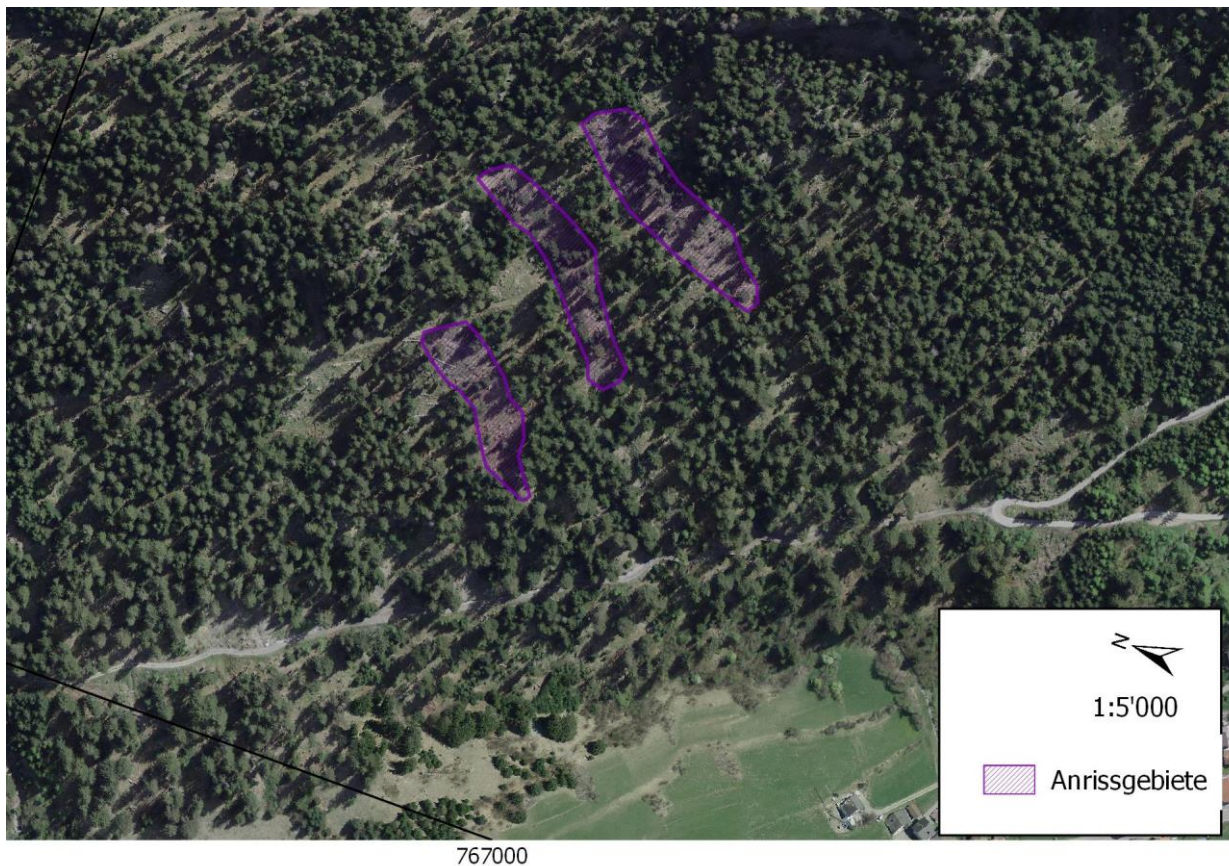


Abb. 10: Potentielle Verbauungsflächen.

9.2 Resultate

Für den partiellen Verbau der oben ausgeschiedenen Flächen muss im Szenario 3a ab ca. 2058 mit Kosten von ca. CHF 817'000.- gerechnet werden (vgl. Tab. 5).



Tab. 5: Annahmen für die Kostenschätzungen Lawinenverbauung unter Szenario 3a für Einbau von permanenten Lawinenverbauungen

| Einbau permanenter Lawinenverbauungen ab 2058 (SZ 3a). | | |
|---|--------------------------|----------------|
| Total notwendige Anzahl Laufmeter | m' | 300 |
| Pauschalansatz | CHF/m' | 2'500 |
| Jährliche Unterhaltskosten | % der Investitionskosten | 1.00% |
| Lebensdauer (Bründl et al. 2015) | Jahre | 80 |
| Gesamtkosten über 50 Jahre | CHF | 817'500 |

10 Erhöhte Sturzrisiken

10.1 Methode und Annahmen

Die Berechnung der Sturzrisiken erfolgte durch C. Moos, HAFL.

Für die Berechnung der Sturzrisiken unter den verschiedenen Szenarien wurde ein sehr einfaches Waldmodell entwickelt, in welchem, ausgehend vom heutigen Bestand, räumliche explizite Annahmen für die Entwicklung des Altbestandes sowie des Folgebestandes getroffen wurden. Anschliessend wurden unter Berücksichtigung der verschiedenen Waldbestände Sturzsimulationen durchgeführt, aufgrund welcher schliesslich Personen- und Sachrisiken berechnet wurden.

Das Vorgehen für die Sturzsimulationen und Risikoberechnungen ist in der Beilage 3 beschrieben. Die für die Waldentwicklung verwendeten Annahmen sind in der Beilage 4 im Detail erläutert.

Wie in Kap. 6.2 erläutert wurden die Sturzsimulationen und Risikoberechnungen zusätzlich zu den Szenarien 0 bis 3 für ein Szenario «Ohne Wald» und ein Extremszenario (d.h. Vorrat gegenüber heute um 2/3 reduziert) durchgeführt.

Stark vereinfachend wird davon ausgegangen, dass die neuen Waldzustände nicht kontinuierlich, sondern zu einem bestimmten Zeitpunkt (nämlich gemäss Waldmodell 2058) eintreten. Das heisst es werden ein «Risikozustand heute» als Referenzzustand und Risikozustände für die verschiedenen Szenarien berechnet, welche gemäss Waldmodell ab 2058 bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes 2067 gelten. Daraus werden die Risikoveränderungen für die verschiedenen Szenarien hergeleitet. Bis 2058 wird von den heutigen Risiken ausgegangen.

10.2 Resultate

In der Abb. 11 sind die simulierten Erreichenswahrscheinlichkeiten sowie die Steinschlagrisiken (Personen- und Infrastrukturrisiken) für die Szenarien heute mit und ohne Wald räumlich explizit dargestellt.

In der Abb. 12 sind die jährlichen Risiken aufgrund von Sturzprozessen für die Szenarien 0 bis 3 sowie die Szenarien «Extrem» und «ohne Wald» enthalten.



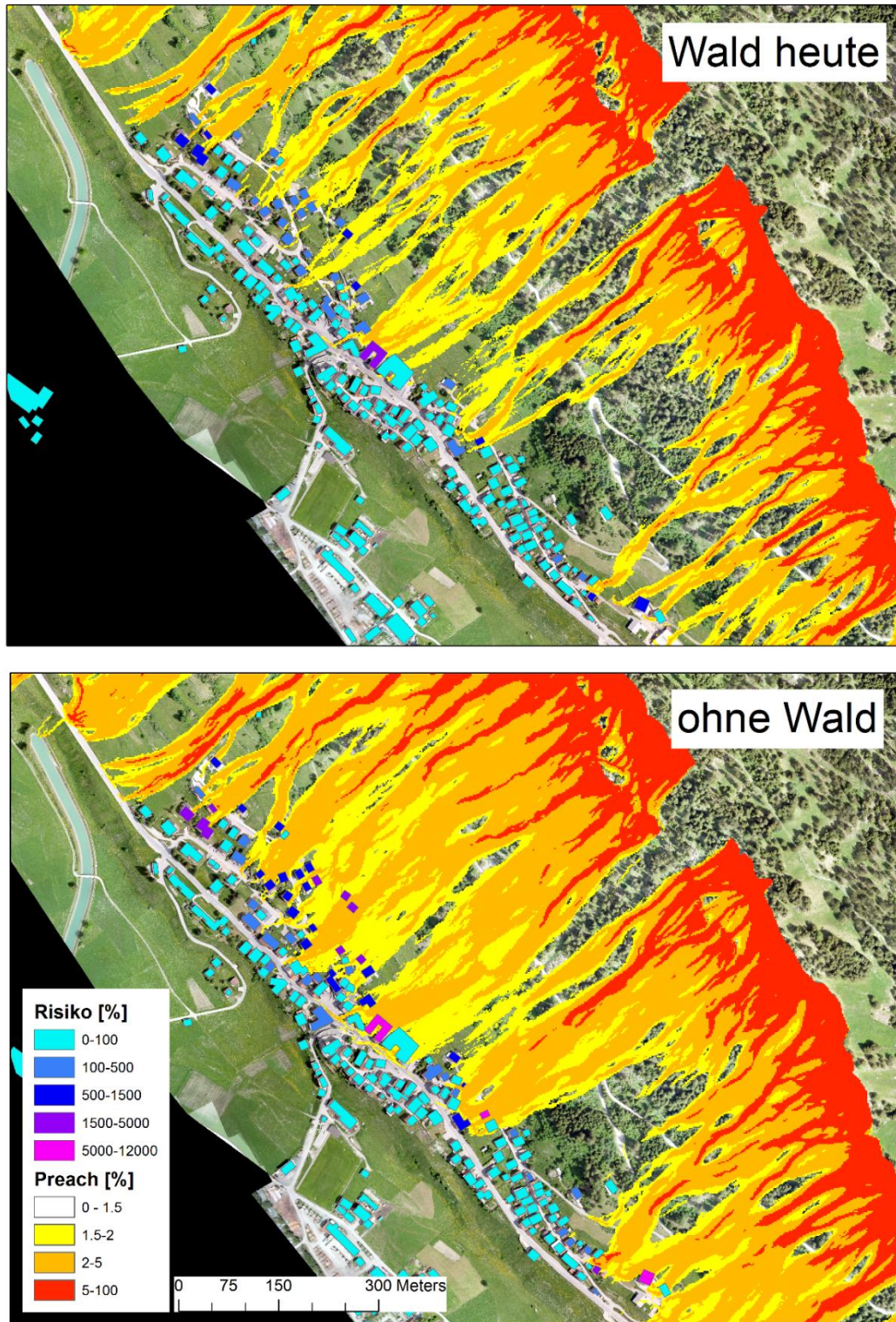


Abb. 11: Steinschlagrisiko für Gebäude (Infrastruktur- und Personenschäden) mit dem heutigen Waldbestand und ohne Wald sowie simulierte Erreichenswahrscheinlichkeiten (Preach) mit dem Simulationsmodell RockyFor3D.

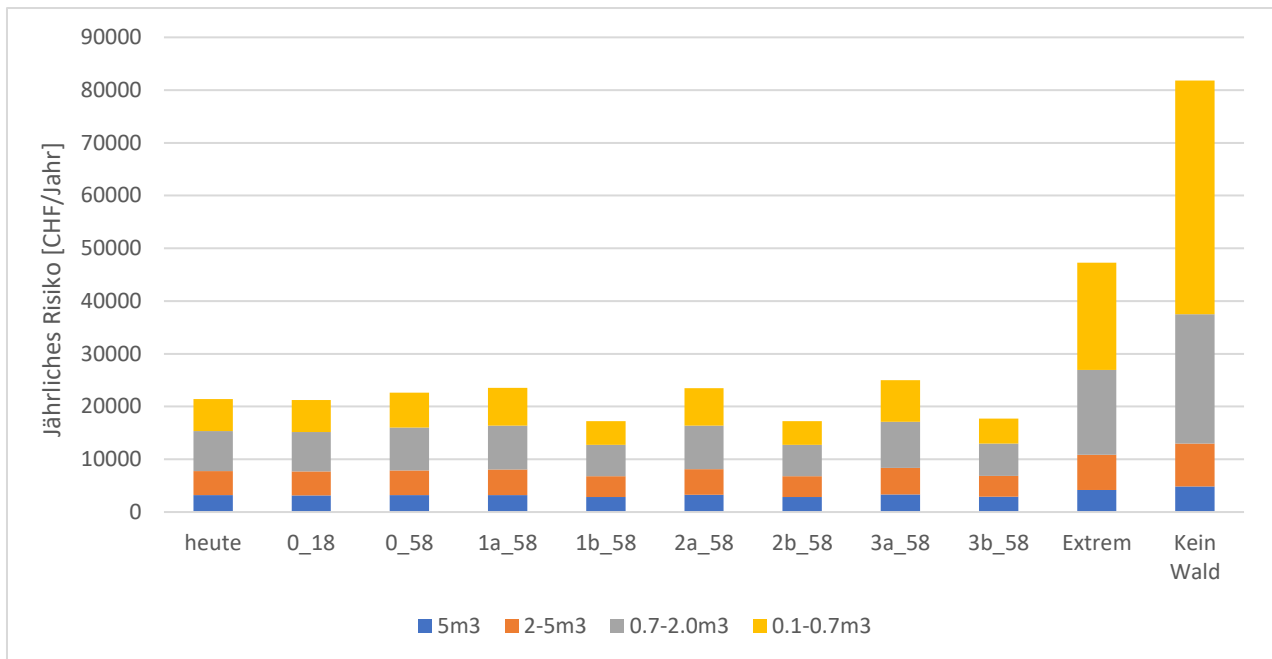


Abb. 12: Jährliche Risiken für heute, 2018 und ab 2018 (je nach Szenario, Index bezeichnet Jahr) aufgrund von Sturzprozessen für die Szenarien 0 bis 3 sowie ein Extremszenario und das Szenario Ohne Wald. Farblich dargestellt sind die Risikoanteile unterschiedlicher Blockgrössen.

Aus der Abb. 12 wird folgendes ersichtlich:

- Ohne Wald müsste mit jährlichen Risiken von gut CHF 80'000.-/Jahr gerechnet werden. Das heisst ohne Wald wäre z.B. alle 5 Jahre mit Schäden von CHF 400'000.- an Gebäuden oder alle 60 Jahre mit einem Todesfall zu rechnen.
- Wird von einem stark reduzierten Bestand (Szenario Extrem) ausgegangen, bestehen jährliche Risiken von ca. CHF 47'000.-/Jahr. Das bedeutet, dass auch ein stark reduzierter Bestand die Ausgangsrisiken «ohne Wald» um fast die Hälfte reduzieren kann.
- Unter dem aktuellen Waldzustand muss von Risiken von gut CHF 21'000.-/Jahr ausgegangen werden, d.h. die heute vorhandenen Waldbestände reduzieren die Sturzrisiken auf ca. 25% des Ausgangsrisikos «ohne Wald».
- Mit einer intensiven waldbaulichen Behandlung, das heisst mit einer konsequenten Borkenkäferbekämpfung (Szenarien 1b, 2b, 3b) und je nach Szenario unterschiedlichen Wildschutzmassnahmen, kann davon ausgegangen werden, dass das Risiko bis 2058 auf ca. CHF 17'000.-/Jahr reduziert werden kann.
- Mit einer minimalen waldbaulichen Behandlung (d.h. Pflanzungen zur Anpassung an den Klimawandel, Szenarien 1a, 2a und 3a) muss trotz je nach Szenario unterschiedlichen Wildschutzmassnahmen davon ausgegangen werden, dass sich aufgrund eines Rückgangs der Schutzwirksamkeit des Altbestandes bei untragbarem Wildeinfluss die Risiken auf ca. CHF 23'000.-/Jahr resp. 24'000.-/Jahr erhöhen.
- Der Wald reduziert hauptsächlich die Risiken, welche aufgrund kleiner bis mittlerer Steine (<5m³) entstehen (gelbe/grau Säulen in Abb. 12, ca. Faktor 7 zwischen heute/ohne Wald für die kleinsten Blöcke). Auf die Risiken aufgrund grosser Steine ist der Einfluss des Waldes deutlich geringer (blaue Flächen in Abb. 12, ca. Faktor 1.5 zwischen heute/ohne Wald).



Geht man – stark vereinfachend – davon aus, dass die neuen Risikozustände nicht schleichend, sondern zu einem bestimmten Zeitpunkt (nämlich gemäss Waldmodell 2058) eintreten, so resultieren während der letzten 10 Jahre des Betrachtungszeitraumes (2058 bis 2067) veränderte jährliche Risiken. Diese sind für die verschiedenen Szenarien in der Tab. 6 aufgeführt.

Tab. 6: Veränderung der jährlichen Risiken resp. der zu erwartenden Kosten/Einsparungen über 10 Jahre (2058 bis 2067) aufgrund der Risikoveränderungen im Vergleich zum heutigen Risikozustand.

| | Veränderung jährliches Risiko (Differenz zu Szenario heute) [CHF/Jahr] | Veränderung Risiko ab 2058 (bis 2067) [CHF] |
|------------|--|--|
| SZ 0, 2018 | -199 | -1'986 |
| SZ 0, 2058 | 1'171 | 11'708 |
| SZ 1a | 2'106 | 21'056 |
| SZ1b | -4'193 | -41'932 |
| SZ 2a | 2'028 | 20'277 |
| SZ 2b | -4'193 | -41'932 |
| SZ 3a | 3'551 | 35'506 |
| SZ 3b | -3'717 | -37'175 |
| Extrem | 25'843 | 258'426 |
| heute | 0 | 0 |
| Kein Wald | 60'385 | 603'847 |

11 Zusammenfassung der Resultate und Diskussion

11.1 Zusammenfassung der Resultate

In der Tab. 7 sind die zu erwartenden Kosten für waldbauliche und technische Massnahmen sowie sich verändernde Risiken für die sieben Szenarien aufgeführt (ohne Verzinsung). Gemäss unserer Beurteilung befinden wir uns im Bannwald Tinizong aktuell bezüglich Wildeinfluss im Szenario 3 (d.h. der Verbissdruck ist untragbar, die Fichte kann ohne passive Wildschadenverhütungsmassnahmen nicht aufwachsen → rot umrandet in der Tab. 7). Bezüglich Massnahmen befinden wir uns mit geringen Abweichungen im Szenario 3b, d.h. es werden zwar Wildschadenverhütungsmassnahmen und Borkenkäferbekämpfung durchgeführt, aber nicht in dem Umfang, wie wir sie im Szenario 3b angenommen haben.

Tab. 7: Kostenzusammenstellung Bannwald Tinizong, in CHF/50 Jahre. Grün: Kosten, die wir für Waldbau sowieso haben. Orange: zu erwartende wildbedingte Kosten in den nächsten 50 Jahren. Violett: wildbedingte Fehlinvestitionen. Gelb: Einsparungen im Vergleich zum SZ 0 resp. 1.

| | SZ 0 | SZ 1a | SZ 1b | SZ 2a | SZ 2b | SZ 3a | SZ 3b |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| Entfernung Gefahreenträger / Lokale Eingriffe | | | 212'500 | | 212'500 | | 212'500 |
| Buchdruckerbekämpfung | | | 414'375 | | 414'375 | | 414'375 |
| Pflanzungen | 218'400 | 218'400 | 218'400 | 218'400 | 182'000 | 218'400 | 218'400 |
| Chemischer Verbisschutz | 105'000 | 105'000 | 105'000 | 105'000 | 367'500 | 105'000 | 105'000 |
| Einsparungen im Vgl. zu SZ 0 und 1 (kein chem. Verbisschutz) | | | | | -105'000 | | |
| Erstellungskosten Kleinzäune | | | | | 1'750'000 | | |
| Unterhalt Kleinzäune | | | | | 3'325'000 | | |
| Polynet | 52'500 | 52'500 | 52'500 | | 140'000 | | |
| Erstellungskosten Grosszaun | | | | | | | 2'640'000 |
| Unterhalt Grosszaun | | | | | | | 4'136'000 |
| Lawinenverbau ab 2058 | | | | | | 817'500 | |
| Veränderung Risiko ab 2058 | 11'708 | 21'056 | -41'932 | 20'277 | -41'932 | 35'506 | -37'175 |
| Total | 387'608 | 396'956 | 960'843 | 343'677 | 6'244'443 | 1'176'406 | 7'689'100 |
| Total wildbedingte Kosten | | | | 323'400 | 5'477'500 | 1'140'900 | 7'099'400 |

Aus der Tab. 7 wird ersichtlich, dass

- Sich die Kosten für die normale Waldbewirtschaftung über die nächsten 50 Jahre auf minimal knapp CHF 390'000.- resp. maximal gut CHF 960'000.- belaufen. Bei einer Fläche des Untersuchungsperimeters von knapp 70ha bedeutet das ca. CHF 8000.-/ha resp. CHF 160.-/ha/Jahr bis maximal 16'000.-/ha resp. 330.-/ha/Jahr.
- Die Umsetzung von Wildschadenverhütungsmassnahmen zur Sicherstellung von genügend Verjüngung für Einzelschütze bei kritischem Verbissdruck resp. für einen Grosszaun bei untragbarem Verbissdruck im Bereich von CHF 5.4 Mio resp. 7.1 Mio zu kosten kommt.



- Der heute vorhandene Schutzwald Risiken im Umfang von ca. CHF 60'000.-/Jahr verhindert, im Vergleich zur Reduktion der Sturzrisiken und Kosten für Lawinerverbauungen innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 50 Jahren aber weder intensive waldbauliche noch Wildschadenverhütungs-massnahmen ökonomisch begründbar sind: innerhalb von 50 Jahren können die sehr hohen Massnahmenkosten mit der dadurch erreichten Risikoreduktion (resp. dem Erhalt des Sicherheitsniveaus) BEI WEITEM nicht begründet werden; auch unter Szenario 1 (d.h. tragbarer Wildeinfluss) übersteigen die Kosten sowohl für minimale wie intensive waldbauliche Massnahmen die dadurch erreichte Risikoverminderung deutlich.

11.2 Diskussion

Angesichts des grossen Gefahren- und Schadenpotentials, der mehrheitlich mittleren bis hohen Baumalter, den vielen vorhandenen Öffnungen und der wildbedingt sehr schwierigen Verjüngungssituation überrascht es sehr, dass a) innerhalb der nächsten 50 Jahre unter als wahrscheinlich zu beurteilenden Entwicklungen kein grosser Einfluss des Waldzustandes auf die Sturzrisiken feststellbar sind und b) sich selbst die «normale» Schutzwaldbewirtschaftung bezüglich Risikoreduktion bei weitem nicht zu lohnen scheint.

Es stellen sich deshalb folgende Fragen:

a) *Bildet das verwendete Waldmodell die Situation adäquat ab?*

Die Abschätzung der Vorratsentwicklung unter den verschiedenen Szenarien, wie wir sie gemäss Beilage 4 vornehmen, ist sehr sensitiv auf diverse Annahmen. So ist z.B. die Entwicklung der Vorräte resp. Lücken oder auch der Entwicklung der Verjüngung in immer grösser werdenden Lücken mit sehr grossen Unsicherheiten behaftet und diese Unsicherheiten werden grösser, je länger der Betrachtungszeitraum ist. Wir sind der Meinung, dass die Annahmen für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren genügend gut sind als Grundlage für die vorliegende Studie. Wir erachten es aber als nicht zulässig, die Waldentwicklung über noch längere Zeiträume mit einem so einfachen Modell, wie wir es anwenden, abzuschätzen. Eine Verlängerung des Betrachtungszeitraumes kommt damit aus unserer Sicht nicht in Frage.

b) *Sind die Risikoberechnungen plausibel?*

Die Annahmen, welche für die Risikoberechnungen verwendet wurden, sowie die Resultate aus denselben wurden parallel zur vorliegenden Studie für die Überarbeitung der Gefahrenkarte Sturz verwendet und in diesem Zusammenhang wurden diese an einer Zwischenbesprechung diskutiert. An dieser Besprechung kamen wir (A. Largiadèr, C. Moos, N. Zürcher) zum Schluss, dass sowohl die verwendeten Inputparameter wie auch die berechneten Risiken im Vergleich mit den Beobachtungen im Feld resp. der beobachteten Ereignisse plausibel sind.

c) *Woran liegt es, dass sich die Szenarien bezüglich Risiken in 50 Jahren gemäss Berechnungen nicht stärker unterscheiden?*

Die Risikoberechnungen bezüglich Sturz hängen stark vom angenommenen Vorrat resp. der angenommenen Stammzahl/BHD ab. Betrachtet man die Vorratsentwicklung, welche aus dem verwendeten Ausgangsbestand und dem Waldmodell resultiert, wird ersichtlich, dass gemäss Modellierungen der Zuwachs am verbleibenden Bestand die angenommene Mortalität innerhalb des Betrachtungszeitraumes praktisch zu kompensieren vermag. Angesichts der im ganzen Gebiet vorhandenen Gruppen von Stangenhölzern scheint diese Entwicklung plausibel zu sein.

d) *Handelt es sich beim Bannwald Tinizong entgegen der Schutzwaldausscheidung (Schutzwald A) resp. der Einschätzung durch Revierförster und RFI nicht um einen «wichtigen» Schutzwald?*

Diese Frage wird anhand von Risikoberechnungen für den Zustand «ohne Wald» beantwortet: Wird davon ausgegangen, dass oberhalb von Tinizong kein Wald stockt, muss von jährlichen Sturzrisiken von CHF gut 80'000.- ausgegangen werden. D.h., der aktuell vorhandene Schutzwald

reduziert die jährlichen Risiken um CHF 60'000.- und kann somit sicher nicht als unwichtig bezeichnet werden.

e) Wie sieht die Entwicklung ausserhalb des Betrachtungszeitraumes aus?

Geht man davon aus, dass (wildbedingt) kein Einwuchs in die unteren Durchmesserklassen stattfinden kann, ist die im Punkt c) erwähnte Kompensation der Mortalität durch den Zuwachs am verbleibenden Bestand irgendwann nicht mehr möglich und der Vorrat würde wahrscheinlich drastisch reduziert. Das verwendete Waldmodell ist leider zu unsicher, um abzuschätzen zu welchem Zeitpunkt dieser Zustand ungefähr eintritt. Trotzdem wurde, um die langfristige Veränderung des Risikos für diesen Fall (oder auch für den Fall von grossflächigen Sturmschäden) abzuschätzen, das Szenario «Extrem» eingeführt (vgl. Abb. 12), in welchem davon ausgegangen wird, dass im Gebiet noch ein Drittel des heute vorhandenen Vorrates stockt. Daraus wird ersichtlich, dass beim Eintritt des Szenarios «Extrem» von mehr als einer Verdoppelung der heute vorhandenen Sturzrisiken ausgegangen werden muss.

Zudem wurde versucht, in einer gutachterlichen Einschätzung qualitativ abzuschätzen, wie die Entwicklung der Schutzwirksamkeit ausserhalb des Betrachtungszeitraumes aussehen könnte (Abb. 8). Daraus wird ersichtlich, dass relativ bald nach Ablauf des Betrachtungszeitraumes mit einem Rückgang der Schutzwirksamkeit gerechnet werden muss, falls die Verjüngung nicht mehr oder weniger ab sofort sichergestellt werden kann. Dabei ist aber zu beachten, dass es sich dabei um eine gutachterliche Einschätzung handelt.

f) Welchen Einfluss auf die Beurteilung hat der Betrachtungszeitraum?

Als Betrachtungszeitraum wurde analog zu den bereits bestehenden Fallbeispielen im Kanton Graubünden 50 Jahre gewählt. Dies stellt einen Kompromiss dar zwischen einer sehr langen Betrachtungsweise, wie sie für eine adäquate Beurteilung des Ökosystems Wald nötig ist und einem ökonomisch noch beurteilbaren Zeitraum (Gasser et al. 2011). Im Rahmen dieser Studie wurde klar, dass v.a. im Steinschlagschutzwald und mit einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren a) die Kosten für waldbauliche Massnahmen vollumfänglich berechnet werden, deren Nutzen aber ausserhalb des Betrachtungszeitraumes liegen und somit mehrheitlich nicht erfasst werden und b) die Kosten für ein Nicht-Ergreifen von Massnahmen ebenfalls ausserhalb des Betrachtungszeitraumes liegen und somit auch nicht erfasst werden. Diese Problematik stellt sich ganz allgemein im Zusammenhang mit Schutzwaldpflege, ist aber im Steinschlagschutzwald stärker ausgeprägt als im Lawinen- oder Rutschungs-Schutzwald, da es (in Abhängigkeit der Blockgrösse) deutlich länger dauert bis eine Bestockung eine gewisse Schutzwirksamkeit aufweist. Das bedeutet, dass waldbauliche Massnahmen mit der Wahl eines kurzen (ökonomisch gesehen aber bereits sehr langen) Betrachtungszeitraums von 50 Jahren nicht adäquat beurteilt werden. Das wiederum würde bedeuten, dass wir den Betrachtungszeitraum für eine adäquate Beurteilung deutlich verlängern müssten, was wir, wie oben hergeleitet, aufgrund der Unsicherheiten in der für diese Studie verwendeten Waldmodellierung und aufgrund weiterer Unsicherheiten (Preisentwicklung, Veränderungen Besiedelung, Verkehrsaufkommen etc.) als nicht zulässig erachten. Und es bedeutet gleichzeitig, dass die Studie zu falschen Interpretationen führen kann und somit die Studie entsprechend vorsichtig und sorgfältig kommuniziert werden sollte.

g) Können wir mit unseren Annahmen zuverlässige Aussagen machen bezüglich Kosten-Wirksamkeit von waldbaulichen Massnahmen (d.h. Borkenkäfer-Bekämpfungsmassnahmen und Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel)?

Wie in der Tab. 1 dargestellt, wird für die «b»-Szenarien dank konsequenter Borkenkäferbekämpfung von einer Reduktion der Stammzahlabnahme im Vergleich zu den «a»-Szenarien ausgegangen. In der Beilage 4 wird der Effekt der Borkenkäferbekämpfung für die Umsetzung im Waldmodell quantifiziert und mit 10% in den BHD-Klassen >48cm für die «b»-Szenarien statt 30-40% in den BHD-Klassen > 30cm für die «a»-Szenarien festgelegt. Diese



Festlegung erfolgte rein gutachterlich und auf Grund der Erfahrungen und Beobachtungen der Autorinnen und basiert nicht auf systematischen Untersuchungen. Es ist den Autorinnen bewusst, dass es auch gegenteilige Erfahrungen mit Borkenkäferbekämpfungsmassnahmen gibt, resp. dass der Erfolg solcher Massnahmen nicht garantiert ist.

Ebenso erfolgte eine Einschätzung der Wirkung der Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel rein gutachterlich, indem eine gewisse Wirkung bei der Erstellung der Abb. 8 angenommen wurde. Auch diese Einschätzung ist eine rein gutachterliche, nicht durch Untersuchungen bestätigte Annahme und Wirkungsbeurteilung.

Schlussfolgerungen bezüglich der Umsetzung von Borkenkäfermassnahmen und Massnahmen bezüglich Anpassung an den Klimawandel, wie sie auch im Rahmen des Waldbauworkshops diskutiert wurden, sind somit entsprechend vorsichtig zu ziehen.

h) Können waldbauliche Massnahmen im Schutzwald durch die Risikoreduktion innerhalb von 50 Jahren begründet werden?

Nais basiert auf 7 Grundprinzipien, eines davon heisst, «Zur richtigen Zeit: Pflegemassnahmen sind dann auszuführen, wenn eine optimale Wirkung mit minimalem Aufwand erreicht werden kann». Die Basis für die Herleitung von waldbaulichen Massnahmen im Schutzwald von Nais sind die Anforderungsprofile. Falls das minimale Anforderungsprofil im konkreten Bestand mit der natürlichen Entwicklung bis in 50 Jahren unterschritten wird, wird geprüft, ob es wirksame und verhältnismässige Massnahmen gibt, um die Entwicklung in Richtung des Idealprofils zu lenken. Die Anforderungsprofile sind darauf ausgerichtet, dass die Resistenz und die Resilienz der Bestände möglichst hoch sind. Die Anforderungen zu den Merkmalen, die den Altbestand betreffen (Mischung, Gefüge, Stabilitätsträger) sind mehrheitlich auf die Resistenz ausgerichtet, die Anforderungen, zu den Merkmalen bei der Verjüngung (Keimbett, Anwuchs, Aufwuchs), aber auch die Mischung sind entscheidend für die Resilienz der Bestände. Eine gute Resilienz bedeutet, dass sich die Bestände bei flächigen Ereignissen wie Sturmereignissen (z. B. Szenario extrem in Abb. 12) möglichst rasch erholen können. Das bedeutet, dass die waldbaulichen Massnahmen gemäss NaiS ausdrücklich Ereignisse wie sie in Szenario «Extrem» angenommen wurden berücksichtigen. Sie sind nicht darauf ausgerichtet, dass die Massnahmen in Beständen ohne unvorhergesehene Ereignisse innerhalb von 50 Jahren «rentieren», sondern sie basieren stark auf dem Vorsorgeprinzip.

12 Schlussfolgerungen

Inhaltliches Fazit:

Unter Einbezug obiger Überlegungen kann aus der vorliegenden Studie folgendes inhaltliches Fazit gezogen werden:

- Der Bannwald Tinizong erbringt im heutigen Zustand eine grosse Schutzwirkung (Reduktion der jährlichen Risiken im Vergleich zu einem extremen Szenario um ca. CHF 27'000.-). Mit einer intensiven Behandlung und bei tragbarem Wildeinfluss (oder massiven Wildschadenverhütungsmassnahmen) könnte diese Wirkung bis 2058 noch leicht verbessert oder zumindest konstant gehalten werden. Die Waldbestände sind aber heute wahrscheinlich relativ nahe bei der langfristig und nachhaltig optimal möglichen Schutzwirksamkeit. Diese gute Schutzwirksamkeit gilt es grundsätzlich zu erhalten um nicht eine Reduktion des Sicherheitsniveaus in Kauf nehmen zu müssen.
- Innerhalb der nächsten 50 Jahre muss dank der Kompensation der Mortalität durch den Zuwachs am verbleibenden Bestand trotz katastrophalem Verjüngungszustand nur mit einem

leichten wildbedingten Rückgang der Schutzwirksamkeit gegen Steinschlag gerechnet werden. Dies ist ein Zeichen für die «Stabilität» (positiv formuliert) des Waldes als Schutzsystem, und es erklärt auch, warum trotz grosser Verjüngungsprobleme an verschiedenen Orten im Kanton bisher und auch mittelfristig keine massiven Probleme auftreten. Zu einem ähnlichen Schluss kamen wir auch im Fallbeispiel Runfoppa (Disentis). Diese «Trägheit» (negativ formuliert) des Schutzsystems Wald hat aber andererseits zur Folge, dass nicht erst dann, wenn eine Grenze erreicht ist und die Schutzwirkung deutlich abnimmt, reagiert und investiert werden kann und damit die Probleme innert weniger Jahre gelöst werden können. Diese Grenze wurde z.B. im Uaul Puzastg bereits überschritten, und sie liegt für den Bannwald Tinizong gemäss gutachterlicher Einschätzung irgendwo im Bereich nach Ablauf des Betrachtungszeitraumes (Abb. 8).

- Langfristig muss bei gleichbleibendem hohem Wildeinfluss mit einer wildbedingten Verdoppelung der Sturzrisiken im Vergleich zu heute gerechnet werden. Dies zeigt auch eine der grossen Herausforderungen der Schutzwaldbewirtschaftung generell: die grosse zeitliche Differenz zwischen Eintreten des Schadens (heutiger Verbiss) und den daraus entstehenden Konsequenzen (Risikoanstieg in 50-100 Jahren) erfordern Früherkennung und frühzeitiges Handeln. Gemäss Waldentwicklungsplan WEP2018+ verpflichtet sich der Kanton Graubünden dem Prinzip der Nachhaltigkeit. Somit müssen diese langfristigen Entwicklungen bei Entscheidungen miteingezogen werden und es kann keine Option sein, die Schäden auf kommende Generation abzuschieben, um den aktuellen Nutzen zu optimieren. Wie das Beispiel Bannwald Tinizong zeigt, ist die Problematik der grossen zeitlichen Diskrepanz zwischen Eintreten des Schadens und Eintreten der Konsequenzen im Steinschlagschutzwald mit grossen Steinblöcken besonders gross, da es besonders lange dauert bis genügend grosse Stammdurchmesser erreicht sind.
- Eine wichtige Frage ist diejenige nach dem Zeitpunkt, zu welchem sich spätestens Verjüngung einstellen muss, damit nicht irgendwann mit einem deutlichen Rückgang der Schutzwirksamkeit gerechnet werden muss. Aufgrund der langen Dauer, bis ein Folgebestand im Steinschlagschutzwald wieder schutzwirksam ist (mind. 40 Jahre, bei grossen Blockgrössen länger) muss in Steinschlagschutzwäldern mit mittleren bis hohen Baumaltern und entsprechendem waldbaulichem Handlungsbedarf im Prinzip davon ausgegangen werden, dass sich in jeder genügend grossen Öffnung möglichst sofort Verjüngung einstellen sollte, um mittel- und langfristig grössere nicht schutzwirksame Flächen zu verhindern und auch um eine aktive Verjüngung mittels Eingriffen zur Verjüngungseinleitung und damit einen nachhaltigen Waldaufbau resp. eine möglichst dauernd hohe Schutzwirksamkeit zu ermöglichen. Gemäss unserer gutachterlichen Beurteilung ist im Bannwald Tinizong zumindest bestandesweise waldbaulicher Handlungsbedarf und eine hohe Verjüngungsdringlichkeit der vorhandenen Altbestände gegeben. Angesichts der bereits grossen vorhandenen Lücken ist es somit äusserst dringlich, dass diese bestockt werden können.
- Nicht unerheblich sind bei gleichbleibend hohem Verbissdruck die zu erwartenden Kosten für Lawinenverbauungen zur Verhinderung von weiteren Schäden am Schutzwald.
- Gemäss (BAFU 2010) werden in Gebieten mit besonderer wildökologischer Bedeutung auch passive Wildschadenverhütungsmassnahmen (d.h. chemischer Verbisschutz, Zäune, etc.) durch den Bund subventioniert. Um ein solches Gebiet handelt es sich beim regional wichtigen Wintereinstand Bannwald Tinizong. Die vorliegende Studie zeigt auf, dass mit der heutigen Wildbelastung (analog Szenario 3) die Kosten für solche Massnahmen äusserst hoch sind, resp. dass Wildschadenverhütungsmassnahmen im in den letzten Jahren resp. Jahrzehnten umgesetzten Umfang nicht ausreichen, um die gemäss NaIS im Schutzwald geforderte Verjüngung zu sichern. Bestenfalls gelingen damit punktuelle Verjüngungskegel. Ein Einsatz von Wildschadenverhütungsmassnahmen im hergeleiteten Umfang ist in der Praxis sehr



wahrscheinlich nicht realistisch und vor allem auch nicht effizient: aufgrund der Schutzwirkung resp. der Risikoverminderung sind sie aus ökonomischer Sicht – zumindest innerhalb des bereits diskutierten Betrachtungszeitraumes! – eindeutig nicht zu begründen. Nun kann argumentiert werden, dass die zur Verfügung stehenden forstlichen Gelder statt in andere waldbauliche Massnahmen (z.B. Einleitung der Verjüngung, welche unter den herrschenden Verbissbedingungen) in Wildschadenverhütungsmassnahmen investiert werden. Dies ist aus Sicht der Forstbetriebe sinnvoll, aus Sicht eines Steuerzahlers aber höchst problematisch, da dieser Einsatz von Steuergeldern wie oben hergeleitet weit entfernt von effizient ist (d.h. Kosten >>> Nutzen). Hier liegt es aus unserer Sicht in der Verantwortung der Waldeigentümer sowie der kantonalen Verwaltungen, diese letztendlich politisch zu führende Diskussion zumindest anzuregen und sich ihr zu stellen.

- Kann – aus welchen Gründen auch immer – der Verbiss nicht auf ein tragbares Mass reduziert werden, stellt sich die Frage, ob die Variante 3a gewählt werden soll, d.h. der Schutzwald wird sich selbst überlassen und bei Eintritt des Extremszenarios (ausserhalb des Betrachtungszeitraumes, deshalb in der Studie nicht im Detail berücksichtigt) werden technische Schutzmassnahmen ergriffen. Ökonomisch wäre das knapp begründbar, d.h. der Bau eines Steinschlagschutzdammes würde unter der Annahme des Extremszenarios und eines praktisch 100%-igen Schutzes vor Sturzprozessen ein knapp genügendes Kosten-Nutzenverhältnis aufweisen. Dies würde der kommenden Generation Kosten von ca. CHF 3 Mio verursachen. Aus Sicht eines heutigen Steuerzahlers mag dies akzeptabel erscheinen, widerspricht aber sehr grundsätzlich dem Prinzip der nachhaltigen Waldbewirtschaftung, welchem sich der Kt. GR wie bereits oben erwähnt verpflichtet und wonach auch die kommenden Generationen von den Schutzleistungen des Bannwaldes profitieren können sollen.
- Aus dieser Überlegung ist abzuleiten, dass unter der aktuellen Verbissbelastung das Schutzsystem Bannwald Tinizong **NICHT NACHHALTIG BETRIEBEN WERDEN KANN**. Aus Sicht einer nachhaltigen Schutzwaldbewirtschaftung und aus Sicht eines Steuerzahlers, welcher seine Gelder effizient eingesetzt wissen möchte, ist somit die einzige Lösung, den Verbissdruck deutlich zu senken, um eine dauerhafte Erhaltung der Schutzwirksamkeit zu gewährleisten.
- Vergleicht man das Fallbeispiel Bannwald Tinizong mit anderen Beispielen aus dem Kanton Graubünden ist festzustellen, dass man im Bannwald Tinizong zum heutigen Zeitpunkt noch die Möglichkeit hätte, das Ruder herumzureissen und mit sehr einschneidenden Massnahmen die dauerhafte Bereitstellung der Schutzleistungen sicherzustellen (im Gegensatz zu z.B. dem Gebiet Uaul Puzzastg (Gde. Surrein), wo bereits ein deutlicher wildbedingter Rückgang der Schutzwirksamkeit festzustellen ist). Insofern ist es zu prüfen, ob die Variante Grosszaun allenfalls umzusetzen wäre. Dies keinesfalls, weil es die beste Variante wäre; wie bereits in anderen Fallbeispielen diskutiert ist die «Variante Grosszaun» aus verschiedenen Gründen problematisch und nicht anzustreben, hauptsächlich da sie auch mit grossen Investitionen kaum wilddicht zu halten ist und daher in der Praxis sehr schwierig und aufwändig umzusetzen ist. Die Umsetzung eines Grosszaunes würde aber aus unserer Sicht aufgrund der Absurdität und der ökonomischen Unsinnigkeit politisch ein sehr starkes und deutliches Signal senden, dass die Betreibung des Schutzsystems Wald unter den aktuellen Verbissbelastungen an verschiedenen Orten nicht effizient möglich ist, und dass eben nicht weitere Jahrzehnte darauf gewartet werden darf, bis der Verbissdruck wieder abnimmt, da dadurch hohe Kosten für kommende Generation entstehen würden. D.h. für diesen Einzelfall wäre es allenfalls sinnvoll, ökonomisch nicht sinnvolle Massnahmen zu ergreifen, um politische Zeichen zu setzen. Zudem sind die Autorinnen überzeugt, dass mit einer konsequenten Umsetzung eines Grosszaunes (d.h. inkl. austreiben) eine positive Wirkung für die Verjüngung zumindest der Fichte erreicht werden könnte.

- Nicht quantifiziert wurden die Risiken durch Rutschungen/Murgänge, welche sich innerhalb des Betrachtungszeitraum in einem ähnlichen Rahmen wie heute bewegen dürften, beim Eintritt des Szenarios «Extrem» allerdings deutlich ansteigen dürften. Auch die Kosten für Lawinenverbauungen (oder alternativ ein Anstieg des Risikos durch Lawinen) würden beim Eintritt des Szenarios «Extrem» erheblich höher.
- Auf eine Herleitung von Kosten für eine Senkung des Verbissdruckes auf ein Mass, bei welchem zumindest verbissunempfindliche Baumarten aufkommen (d.h. Szenario 2) wird in dieser Studie in Absprache mit dem Auftraggeber verzichtet. Die Autorinnen sind allerdings überzeugt, dass a) durch - u.U. intensive - jagdliche Massnahmen eine deutliche Verbesserung der Verbiss- resp. Verjüngungssituation erreicht werden kann und b) jagdliche Massnahmen nicht nur effektiv, sondern auch effizient sind (Gasser et al 2011). Auch der Wolf kann unter Umständen einen positiven Einfluss auf die Verjüngungssituation haben, wobei es fraglich ist, ob in naher Zukunft und in der dicht besiedelten Schweiz die dafür notwendige Wolfsdichte realistisch ist (Kupferschmid and Bollmann 2016).
- Am Fallbeispiel Tinizong kann und sollte die Frage nach der Vorrangfunktion resp. nach Prioritäten diskutiert werden, wie sie (Brang 2017) aufwirft. Wie es gemäss (Brang 2017) in einem erheblichen Teil der Schweizer Wälder der Fall ist, hat die Lebensraumfunktion für Wildhuftiere im Bannwald Tinizong eine Vorrangfunktion erhalten. Es ist schliesslich eine politische Entscheidung, ob diese Funktion tatsächlich höher gewichtet werden soll als die Schutzleistung für kommende Generationen.

Methodisches Fazit:

- Für eine adäquate Beurteilung der Wildschadenproblematik im Bannwald Tinizong reicht ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nicht aus, und eine Ausdehnung ist nicht erfolgsversprechend. Statt einer Erweiterung des Betrachtungszeitraumes
 - a) sollte – wie hier gemacht – darauf verzichtet werden, die Kosten zu verzinsen, da damit zukünftige Kosten/Nutzen ungerechtfertigterweise weniger stark gewichtet werden als heute anfallende;
 - b) sollten Kosten resp. Nutzen, welche ausserhalb des gewählten Betrachtungszeitraumes zu erwarten sind, mindestens grössenordnungsmässig abgeschätzt und in die Diskussion miteinbezogen werden.
- Die Beispiele im Teilprogramm 6 der Jungwald- und Wildschadenbeurteilungen des Kt. Graubünden sind gut geeignet, um das finanzielle Argument in die Wald-Wild-Diskussion einzubringen, wenn es um Schutzwälder geht, in denen a) innerhalb des Betrachtungszeitraumes ohne Massnahmen erhebliche Risikoanstiege zu erwarten sind und b) mit waldbaulichen Massnahmen innerhalb des Betrachtungszeitraumes ein Nutzen resp. eine Verhinderung oder Abschwächung des Risikoanstieges erreicht werden kann. Dies ist im Steinschlagschutzwald mit grossen Blockgrössen kaum gegeben, im Lawinen- und Rutschungsschutzwald ist dies eher zu erwarten.
- In Schutzwäldern, in denen die oben aufgeführten Punkte nicht gegeben sind, wird man der Problematik mit dem in diesen Fallstudien gewählten Vorgehen auf Grund der ungenügenden Länge des Betrachtungszeitraumes nicht gerecht, da die Kosten für die Erhaltung der Schutzwirksamkeit innerhalb des Betrachtungszeitraumes, der Nutzen resp. die Kosten für die Unterlassung von Massnahmen aber ausserhalb des Betrachtungszeitraumes liegen. Dies kann nicht zu einer adäquaten Beurteilung führen. Das Problem verschärft sich noch, wenn die Naturgefahr Steinschlag sehr wichtig ist und grosse Steine vorkommen ($> 1\text{m}^3$; wie im



Fallbeispiel Tinizong). Bei sehr kleinen Steinen dauert es etwa gleich lang wie bei Lawinen/Rutschung/Murgang, bis die Verjüngung schutzwirksam wird, bei grossen Steinen hingegen dauert es deutlich länger, da grössere Baumdurchmesser nötig sind. Ein Lösungsansatz wäre, statt eines Betrachtungszeitraumes mit verschiedenen Szenarien (unabhängig vom Eintretenszeitraum) zu arbeiten. Ein zweiter Lösungsansatz wäre die Verwendung eines besseren Waldmodelles, um die zeitliche Entwicklung besser abzuschätzen. Wahrscheinlich wäre eine Kombination der beiden Ansätze zielführend.

- Grundsätzlich ist es richtig, die Massnahmenkosten in einen Kontext zur Waldwirkung zu stellen. Dazu scheint der in dieser Studie angewendete Ansatz mit der Herleitung der Sturzrisiken für die Szenarien «Ohne Wald» und «Stark reduzierte Waldwirkung» grundsätzlich gut geeignet, scheitert aber, wenn Kosten und Nutzen nicht vollumfänglich innerhalb des Betrachtungszeitraumes anfallen oder die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Szenarios «Stark reduzierte Waldwirkung» ungenügend hergeleitet werden kann. Im Sinne von NaIS, das damit rechnet, dass jederzeit eine starke Störung eintreten kann sollte bei weiteren Beispielen die Variante «stark reduzierte Waldwirkung» immer auch berechnet werden.

Rabies/Sargans, August 2019

Nora Zürcher-Gasser

M. Frehner

Nora Zürcher-Gasser

Monika Frehner

Literatur

- Agliardi, F., Crosta, G., Frattini, P., 2009. Integrating rockfall risk assessment and countermeasure design by 3D modelling techniques. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9.
- ASTRA, 2012. Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokzept. Methodik für eine risikobasierte Beurteilung, Prävention und Bewältigung von gravitativen Naturgefahren auf Nationalstrassen.
- AWN, 2016. Projektvorschriften für Sammelprojekte Waldbau ab 2017. Handbuch grüner Bereich.
- Bachofen, H., 2009. Verjüngung im Gebirgswald. *Wald und Holz*.
- BAFU, 2010. *Wald und Wild - Grundlagen für die Praxis. Umwelt-Wissen*.
- Bergen, V., Löwenstein, W., Olschewski, R., 2012. *Forstökonomie - Volkswirtschaftliche Grundlagen. München, Vahlen*.
- Boulanger, V., Rakotoarison, H., 2015. Assessing economic impacts of deer browsing on forestry Fir-Spruce stands in the Vosges (France) as a case study.
- Brang, P., 2017. Einfluss von Wildhuftieren auf den Wald seit Langem zu hoch - was tun? (Essay). *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* 168. doi:10.3188/szf.2017.0195
- Bründl, M., 2009. Risikokzept für Naturgefahren – Leitfaden („RIKO“). Bern.
- Bründl, M., Ettl, L., Burkard, A., Oggier, N., Dolf, F., Gutwein, P., 2015. *EconoMe - Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Formelsammlung*.
- Frehner, M., Huber, B., Zraggen, L., Zischg, A., van Wijnkoop, P., Braun, S., Scherler, M., Carraro, G., Burnand, J., 2016. *Adaptierte standortkundliche Grundlagen. Projekt im Rahmen des Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel». Zwischenergebnisse*.
- Frehner, M., Schwitter, R., Wasser, B., 2005. *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaIS)*.
- Gasser, N., Frehner, M., Zinggeler, J., Olschewski, R., 2011. Economic consequences of browsing problems on Rigi-nordlehne . *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* 162. doi:10.3188/szf.2011.0364
- Hänggi, M., 2018. Null Öl. Null Gas. Null Kohle.
- Kupferschmid, A.D., Bollmann, K., 2016. Direkte, indirekte und kombinierte Effekte von Wölfen auf die Waldverjüngung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* 167. doi:10.3188/szf.2016.0003
- Moos, C., Fehlmann, M., Trappmann, D., Stoffel, M., Dorren, L., 2017. Integrating the mitigating effect of forests into quantitative rockfall risk analysis – Two case studies in Switzerland. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 32. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.09.036
- Neumayer, E., 2007. A missed opportunity: The Stern Review on climate change fails to tackle the issue of non-substitutable loss of natural capital. *Glob. Environ. Chang.* 17. doi:10.1016/j.gloenvcha.2007.04.001
- Oesten, G., 1991. Gedanken zur Wahl der Zinsrate in der Waldbewertung. *Forst und Holz* 19.
- Olschewski, R., Bebi, P., Teich, M., Hayek, U.W., Grêt-Regamey, A., 2011. Lawinenschutz durch Wälder - Methodik und Resultate einer Zahlungsbereitschaftsanalyse. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* 162. doi:10.3188/szf.2011.0389
- Price, C., n.d. *Time, Discounting and Value*.
- Salzburger Landesrechnungshof, 2015. *Bericht des Rechnungshofes. Salzburg*.
- Schwitter, R., 2014. *Dokumentation der 30. Arbeitstagung der Schweizerischen*



Gebirgswaldpflegegruppe GWG.

Suchant, R., Burghardt, F., Calabro, S., 2011. Beurteilung von Wildverbiss in Naturverjüngungen. FVA-einblick.

Teich, M., Bebi, P., 2009. Evaluating the benefit of avalanche protection forest with GIS-based risk analyses—A case study in Switzerland. *For. Ecol. Manage.* 257.

WCED, 1987. Our common future (A/42/427).

Beilage 1: Begründung der Annahmen zur Waldentwicklung und den waldbaulichen Massnahmen unter den verschiedenen Szenarien

Nachfolgend werden die Annahmen, welche in Tab. 1 zusammengefasst sind, beschrieben und begründet.

Details zu den Annahmen, welche den Kostenberechnungen zu Grund liegen, sind in den Kapiteln 7 bis 10 enthalten. Details zur Umsetzung im Waldmodell als Eingangsparameter für die Sturzmodellierungen sind in der Beilage 4 enthalten.

Szenario 0: Verbiss seit 1991 tragbar, minimale waldbauliche Behandlung

Altbestand:

Aufgrund des Bestandesalters und der Beobachtungen in den Beständen (zahlreiche kleinere bis mittlere Lücken aufgrund von Borkenkäferschäden der letzten Jahre vorhanden) muss in den kommenden Jahren mit bedeutenden Borkenkäferschäden in den Durchmesserklassen > 30 cm und dadurch einem deutlichen Rückgang in den oberen BHD-Klassen gerechnet werden. Es wird keine Borkenkäferbekämpfung betrieben, d.h. das Totholz verbleibt im Bestand. Um zu grosse Lücken mit für die Verjüngung ungünstigen Verhältnissen sowie eine weitere Reduktion der Schutzwirksamkeit des Altbestandes zu vermeiden, werden die bestehenden Öffnungen nicht durch reguläre Eingriffe vergrössert und es werden keine weitere Öffnungen geschaffen.

In den bereits heute lückigen Einheiten (1, 3 und 7, vgl. Abb. 19 in Beilage 4) wird von einem Zwangsnutzungsanteil von 40% am Gesamtvorrat, in den übrigen Einheiten von 30% ausgegangen. Dies entspricht einer Menge von ca. 8'000m³ auf der Fläche von knapp 70ha über 40 Jahre resp. 200m³ Zwangsnutzungen pro Jahr (ca. 3 m³/ha/J) im gesamten Untersuchungsgebiet.

Liegendes und stehendes Totholz übernimmt einen Teil der Schutzwirkung des Altbestandes, allerdings nur über ca. 10-15 Jahre (Erfahrung).

Naturverjüngung:

In den Waldstandorten, welche im Untersuchungsgebiet vorkommen, können Konkurrenz durch die Bodenvegetation (vor allem beim Ehrenpreis-Fichtenwald, 55) und Austrocknung (vor allem beim Schneesimsen-Fichtenwald, 55*) ein bedeutendes Verjüngungshemmnis darstellen. Mit den kleinflächigen Öffnungen, wie sie seit 1976 grossmehrheitlich geschaffen wurden, wurde diesen Faktoren sehr gut Rechnung getragen und für die hier vorkommenden Waldstandorte optimale Verjüngungsbedingungen geschaffen. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Verjüngung im Bannwald aus waldbaulicher Sicht seit ca. 30 Jahren grundsätzlich funktioniert. Unter den herrschenden Wuchsbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Bäume innerhalb von 40 Jahren einen BHD von 8-12cm erreichen. Somit wären, unter einer für die Verjüngung tragbaren Verbissbelastung, die bis in die 1990-er-Jahre geschaffenen Lücken heute mit gegen kleine bis mittlere Steine weitgehend schutzwirksamer Verjüngung bestockt. Die seit mind. 2018 vorhandenen Lücken sind bis 2058 ebenfalls mit Stangenholz (BHD 8-12cm) bestockt.

Pflanzungen:

Aufgrund der Abschätzungen der geeigneten Baumarten mit Berücksichtigung des Klimawandels (Frehner et al. 2016) (vgl. Beilage 2) wird empfohlen, die Nebenbaumarten Lärche und Vogelbeere, auf frischeren Standorten (Ehrenpreis-Fichtenwald, 55) zusätzliche die Weisstanne und den Bergahorn und auf trockenen Standorten (Schneesimsen-Fichtenwald, 55*) die Waldföhre mangels Samenbäumen stellenweise künstlich einzubringen. Da diese Pflanzungen stark verbissanfällig sind und bereits bei eher geringen Wilddichten unter Druck geraten, sollten diese chemisch geschützt



werden. Die Kosten für den chemischen Schutz dieser Pflanzungen werden in diesem Fallbeispiel nicht als wildbedingt betrachtet.

Naturgefahren:

Sturz: Es wird erwartet, dass im Vergleich zu heute das Risiko bezüglich Sturzprozessen dank dem Einwuchs der schon lange bestehenden Lücken geringfügig besser wäre als es heute ist.

Lawinen: Die Gefährdung bezüglich Lawinen bleibt mehr oder weniger gleich wie unter dem heutigen Waldzustand, d.h. es sind keine relevanten Schadensereignisse zu erwarten.

Szenario 1a: Verbiss seit 2018 tragbar, minimale waldbauliche Behandlung

Altbestand:

Analog zu SZ 0.

Naturverjüngung:

Analog zu SZ 0, aber im Vergleich zu SZ 0 um 30 Jahre verzögert, da erst ab 2018 statt ab 1991.

Pflanzungen:

Analog zu SZ 0.

Naturgefahren:

Sturz: Die Risiken aufgrund von Sturzprozessen nehmen leicht zu, da die Schutzwirksamkeit des Altbestandes zurückgeht und die Verjüngung diesen Rückgang (noch) nicht kompensieren kann.

Lawinen: Analog zu SZ 0.

Szenario 1b: Verbiss seit 2018 tragbar, intensive waldbauliche Behandlung

Altbestand:

Durch konsequente Borkenkäferbekämpfung kann die Lebensdauer des Altbestandes verlängert resp. der Vorratsrückgang reduziert und Eingriffe können gezielt ausgeführt werden. Dies bedeutet im Vergleich zu SZ 1a, dass über die nächsten 40 Jahre mit ca. 50m³/J Zwangsnutzungen und weiteren ca. 50m³/J Holzanfall aus Eingriffen zu rechnen ist (Entfernung von Gefahrenträger, lokale Freistellung/Einleitung der Verjüngung).

Naturverjüngung:

Analog zu SZ 1a.

Pflanzungen:

Analog zu SZ 0.

Naturgefahren:

Sturz: Die Risiken aufgrund von Sturzprozessen nehmen leicht ab, da die Ausfälle aufgrund von Zwangsnutzungen durch den Zuwachs im verbleibenden Bestand und die Verjüngung kompensiert werden können.

Lawinen: Analog zu SZ 0.

Szenario 2a: Verbiss seit 2018 kritisch, minimale waldbauliche Behandlung

Altbestand:

Analog zu SZ 0.

Naturverjüngung:

Im Vergleich zu SZ 1a erfolgt die Verjüngung um ca. 10 Jahre verzögert. Somit wird erwartet, dass die heute vorhandene Ansammlung innerhalb von 50 Jahren beginnt, bezüglich Sturzprozessen eine Schutzwirksamkeit aufzuweisen.

Pflanzungen:

Analog zu SZ 0. Die gepflanzten Nebenbaumarten fallen trotz des chemischen Verbisschutzes aus, d.h. es muss von einer wildbedingten Fehlinvestition gesprochen werden.

Naturgefahren:

Sturz: Die Risiken aufgrund von Sturzprozessen nehmen leicht zu, da die Schutzwirksamkeit des Altbestandes zurückgeht und die Verjüngung diesen Rückgang (noch) nicht kompensieren kann.

Lawinen: Diese Schutzwirksamkeit verzögert sich aufgrund grösserer Lücken vorübergehend. Es ist aber absehbar, dass die Lücken wieder bestockt werden und der Rückgang der Schutzwirksamkeit wird somit als nicht risikorelevant betrachtet.

Szenario 2b: Verbiss kritisch, intensive waldbauliche Behandlung inkl. nötigen/theoretisch möglichen technischen Schutzmassnahmen vor Wildschäden

Altbestand:

Analog zu SZ 1b.

Naturverjüngung und Pflanzungen:

Die Fichten-Naturverjüngung wird chemisch vor Verbiss geschützt. Da im Bannwald die Umsetzung von Wildschadenverhütungsmassnahmen nur auf ca. zwei Dritteln der Fläche realistisch ist (steiles Gelände, Steinschlag, etc.), ist diese Massnahme nur auf einem Teil der Fläche erfolgsversprechend. Trotzdem wird vereinfachend angenommen, dass mit diesen Massnahmen die Verjüngungsdynamik von SZ 1 erreicht werden kann.

Da chemischer Verbisschutz für den Schutz der gepflanzten Nebenbaumarten nicht ausreicht, werden die gepflanzten Jungpflanzen mit Kleinzäunen vor Wildverbiss geschützt. Dadurch entfallen im Vergleich zum SZ 0 die Kosten für den chemischen Verbisschutz der gepflanzten Nebenbaumarten. Die Fichten-Naturverjüngung wird chemisch vor Verbiss geschützt. Da im Bannwald die Umsetzung von Wildschadenverhütungsmassnahmen nur auf ca. zwei Dritteln der Fläche realistisch ist (steiles Gelände, Steinschlag, etc.), ist diese Massnahme nur auf einem Teil der Fläche erfolgsversprechend. Trotzdem wird vereinfachend angenommen, dass mit diesen Massnahmen die Verjüngungsdynamik von SZ 1 erreicht werden kann.

Naturgefahren:

Sturz und Lawinen: Analog zu 1b

Szenario 3a: Verbiss untragbar, minimale waldbauliche Behandlung

Altbestand:

Analog zu SZ 0.

Naturverjüngung und Pflanzungen:

Die gepflanzten und chemischen geschützten Nebenbaumarten fallen auf Grund des starken Wildeinflusses komplett aus. Die Fichtenverjüngung wird ebenfalls weitgehend verhindert. Dies führt dazu, dass die heute bestehenden Lücken als solche bestehen bleiben und im übrigen Altbestand kein Einwuchs stattfindet.

Naturgefahren:



Sturz: Es muss mit einer Zunahme der Risiken durch Sturzprozesse aufgrund des Vorratsrückganges im Altbestand und dem schlechten Einwuchs der Lücken gerechnet werden.

Lawinen: Einige bereits heute bestehende Lücken vergrössern sich, so dass mit Waldlawinen, welche zu weiteren Schäden am Schutzwald führen können, zu rechnen ist. Entsprechend müssen die Lücken verbaut werden.

Szenario 3b: Verbiss untragbar, intensive? waldbauliche Behandlung inkl. nötigen/theoretisch möglichen technischen Schutzmassnahmen vor Wildschäden

Altbestand:

Analog zu SZ 1b.

Naturverjüngung und Pflanzungen:

Analog zu SZ 3a wird die Verjüngung sämtlicher Baumarten verhindert resp. sehr stark verzögert. Die Sicherung einer genügenden Anzahl von Jungbäumen mit Einzelschützen ist technisch nicht flächendeckend umsetzbar (Steinschlag, Steilheit, Arbeitssicherheit, etc.). Deshalb wird von einer Variante „Grosszaun“ ausgegangen, welcher entlang von Geländekanten oder der Strasse verläuft und mehr oder weniger das gesamte Untersuchungsgebiet umfasst. In steilem, felsigen Gelände ist es nicht realistisch, einen so grossen Zaun langfristig wilddicht zu halten, d.h. es muss mit einer Verzögerung der Verjüngung und/oder dem Ausfall von Nebenbaumarten gerechnet werden. Für das Szenario 3b wird somit davon ausgegangen, dass die gepflanzten Nebenbaumarten trotz Zaun zusätzlich chemisch geschützt werden müssen und dass wie beim Szenario 2a mit einer Verzögerung der Verjüngung von 10 Jahren gerechnet werden muss. Im Gegensatz zum Szenario 2a wird davon ausgegangen, dass sich die chemisch geschützten Nebenbaumarten entwickeln können und deshalb keine Kleinzäune/Polynet notwendig sind. Diese Einschätzung ist aus unserer Sicht optimistisch.

Naturgefahren:

Sturz und Lawinen: Analog zu 1b

Beilage 2: Anpassung an den Klimawandel

Heute vorhanden sind im Untersuchungsgebiet hauptsächlich die Standorte 55 Ehrenpreis-Fichtenwald (eher frischere Standorte) und 55* Schneesimsen-Fichtenwald (eher trockenere Standorte). Die nachfolgende Tabelle enthält gemäss Klimamodellierung in (Frehner und Huber 2018) mögliche Kombinationen von Standorten. Anhand dieser möglichen Kombinationen und der möglichen zukünftigen Baumartenzusammensetzungen wurde abgeleitet, dass für die Anpassung an den Klimawandel im gesamten Untersuchungsgebiet Lärche und Vogelbeere eingebracht werden sollten, auf den trockenen Standorten zusätzlich die Waldföhre und auf frischeren Standorten die Weisstanne.

Tab. 8: Mögliche zukünftige Kombinationen von Standorten gemäss NaiS im Untersuchungsgebiet für die beiden Klimazukünfte RegCM3 und CLM gemäss Frehner und Huber 2018

| heute | RegCM3 | CLM |
|-------|-----------------|--------------------|
| 55 | Obermontan: 19 | Hochmontan: 51 |
| 55* | Obermontan: 1h | Hochmontan: 55* |
| 55 | Untermontan: 8d | Hochmontan: 51 |
| 55* | Untermontan: 1 | Hochmontan: 55* |
| 55 | Untermontan: 8d | Collin: 55 collin |
| 55* | Untermontan: 1 | Collin: 55* collin |



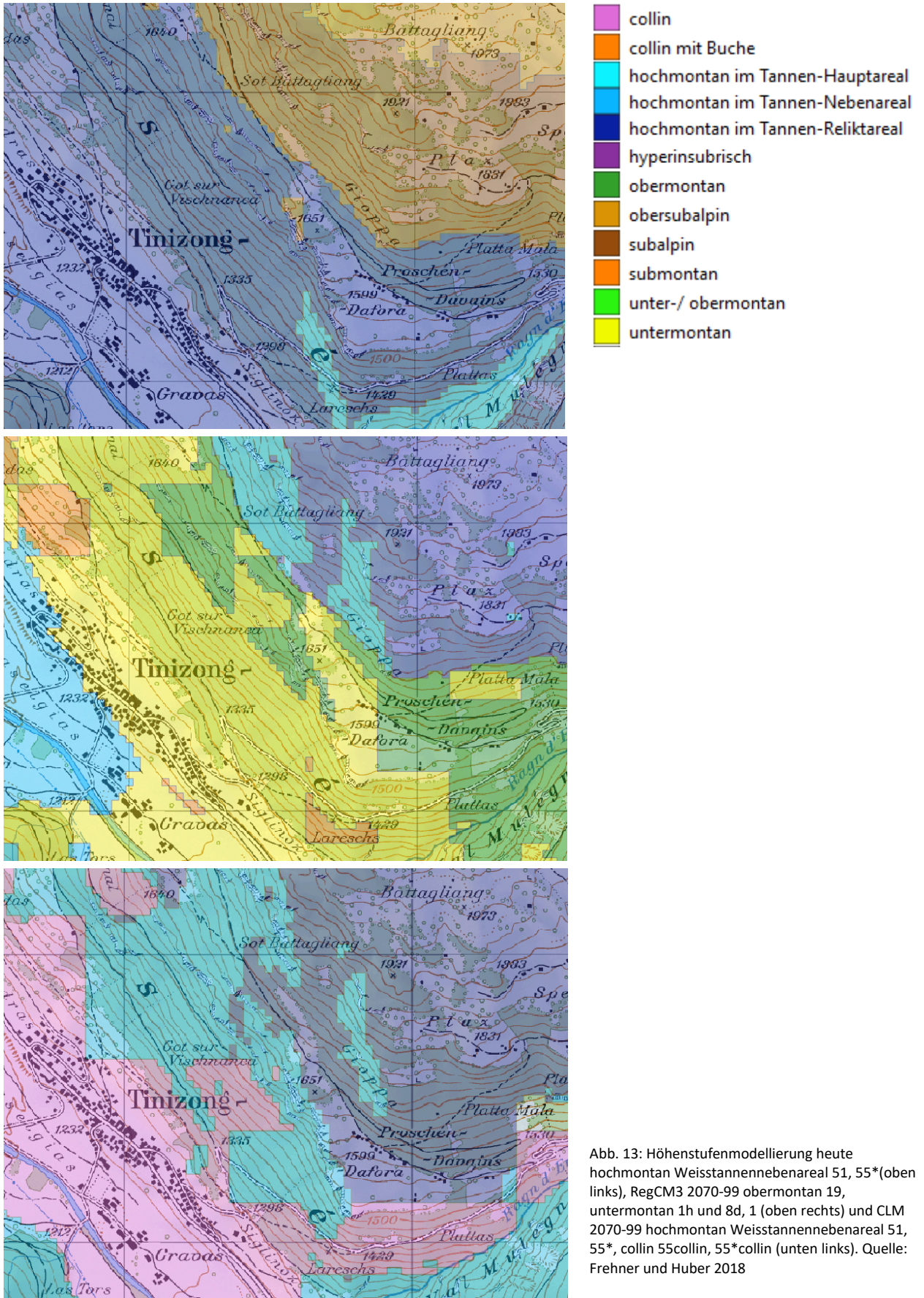


Abb. 13: Höhenstufenmodellierung heute hochmontan Weisstannen-Nebenareal 51, 55* (oben links), RegCM3 2070-99 obermontan 19, untermontan 1h und 8d, 1 (oben rechts) und CLM 2070-99 hochmontan Weisstannen-Nebenareal 51, 55*, collin 55collin, 55*collin (unten links). Quelle: Frehner und Huber 2018

Beilage 3: Methode zur Abschätzung der Sturzrisiken

Die Schutzwirkung der verschiedenen Waldzustände wurde basierend auf ihrer Reduktion des Steinschlagrisikos quantifiziert (d.h. als vermiedene Kosten). Die Risikoreduktion entspricht dabei der Differenz zwischen dem Risiko ohne und dem Risiko mit Wald. Das Steinschlagrisiko ist definiert als die jährlich zu erwartenden Schäden aller möglicher Schadensereignisse (Agliardi et al. 2009; Bründl 2009). In der Realität variieren die durch Steinschlag verursachten Schäden stark von Jahr zu Jahr. Der jährlich zu erwartende Schaden ist jedoch ein nützlicher Indikator für eine längerfristige Betrachtung. Das Risiko wurde gemäss der von (Moos et al. 2017) vorgeschlagenen Methode für Gebäude und Strassen in Tinizong berechnet. Für ein spezifisches Objekt / eine Person i (nachfolgend als «Objekt i » bezeichnet) und eine Blockgrösse j wird das Risiko $R_{i,j}$ definiert als Produkt der *Ausbruchshäufigkeit* der Blockgrösse j ($P_{aus,j}$), der Wahrscheinlichkeit, dass der Block j das Objekt i erreicht (*Erreichenswahrscheinlichkeit* $P_{err,i,j}$), dem Wert W_i des Objekts, der *Präsenzwahrscheinlichkeit für Personen im Objekt* $P_{präs,i}$ und seiner *Vulnerabilität* $V(I)_{i,j}$ (auch als Schadenempfindlichkeit oder Letalität bei Personen bezeichnet). Die Vulnerabilität ist abhängig von der *Intensität* des Aufpralls (quantifiziert als kinetische Energie). Das Risiko wird schliesslich über alle möglichen Blockaufprälle $n_{i,j}$ der Blockgrösse j gemittelt:

$$R_{i,j} = P_{aus,j} \times P_{err,i,j} \times W_i \times P_{präs,i} \times \frac{1}{n_{i,j}} \sum n_{i,j} V(I)_{i,j} \quad \text{Eq. 1}$$

Das gesamte Risiko R ist die Summe der Risiken über alle Objekte i (gesamtes Schadenpotential (sp)) und über alle erwarteten Blockgrössen j (bg):

$$R = \sum_{i=1}^{sp} \sum_{j=1}^{bg} R_{i,j} \quad \text{Eq. 2}$$

Der Wald kann einerseits die Erreichenswahrscheinlichkeit ($P_{err,i,j}$) und andererseits die Energie und damit die Intensität (I) eines Blockes reduzieren. Diese beiden Effekte wurden mit Steinschlagsimulationen quantifiziert (vgl. Kap. 0).

1: Ausbruchsszenarien (Ausbruchshäufigkeit)

Es wurden vier Ausbruchsszenarien mit Wiederkehrperioden (WP) von 10, 30, 100 und 300 Jahren festgelegt (Szenarienwahrscheinlichkeit P_{sz} ; Tab. 9). Die jeweiligen Blockgrössen wurden basierend auf StorMe-Ereignissen, kartierten Blöcken im Feld («stumme Zeugen»; Abb. 14), Angaben des zuständigen Försters und der gemäss Gefahrenbeurteilung (ASTRA 2012) definierten Szenarien festgelegt. Für jedes Szenario wurde eine variierende Anzahl Blöcke angenommen («Ereignistyp» ET_j ; Tab. 9), welche in der Risikoberechnung probabilistisch mittels einer Monte-Carlo-Simulation berücksichtigt wurde. Die Risikoberechnung wurde jeweils 50 Mal wiederholt und bei jeder Wiederholung wurde die Anzahl ausbrechender Blöcke zufällig gezogen. Anschliessend wurde für jedes Szenario das mittlere Risiko der 50 Simulationen berechnet. Durch die Variation der Anzahl ausbrechender Blöcke soll die Unsicherheit bezüglich der Ausbruchswahrscheinlichkeit zumindest teilweise abgebildet werden. Die Ausbruchshäufigkeit $P_{aus,j}$ einer Blockgrösse j berechnet sich entsprechend als Produkt der Szenarienwahrscheinlichkeit $P_{sz,j}$ und des Ereignistyps ET_j :

$$P_{aus,j} = P_{sz,j} \times ET_j$$

Die Anzahl Blöcke (ET_j) wurde gutachterlich bestimmt und die resultierende Häufigkeitsverteilung («power law») (Tab. 9, Abb. 15) mit Daten aus der Literatur für vergleichbare Steinschlag-Ausbruchsgebiete validiert.





Abb. 14: Stummer Zeuge im Bannwald oberhalb Tinizong (links) und erfasste Ereignisse im Ereigniskataster StorMe des Kantons Graubünden (1 Ereignis 2013, 4 Ereignisse 2015) (Quelle: Amt für Wald und Naturgefahren GR).

Tab. 9: In der Risikoanalyse berücksichtigte Ausbruchsszenarien. Die Anzahl Blöcke pro Ereignis wurde in der Risikoanalyse variiert.

| Wiederkehrperiode WP [J.] | Szenarienwahrscheinlichkeit P_{sz} [a^{-1}] | Blockvolumen-Klasse [m ³] | Anzahl Blöcke pro Ereignis (Ereignistyp ET) |
|---------------------------|---|---------------------------------------|---|
| 10 | 0.067 | 0.1-0.7 | 2-10 |
| 30 | 0.023 | 0.7-2.0 | 1-5 |
| 100 | 0.007 | 2.0-5.0 | 1-3 |
| 300 | 0.003 | 5.0 | 1-3 |

Ausbruchshäufigkeit

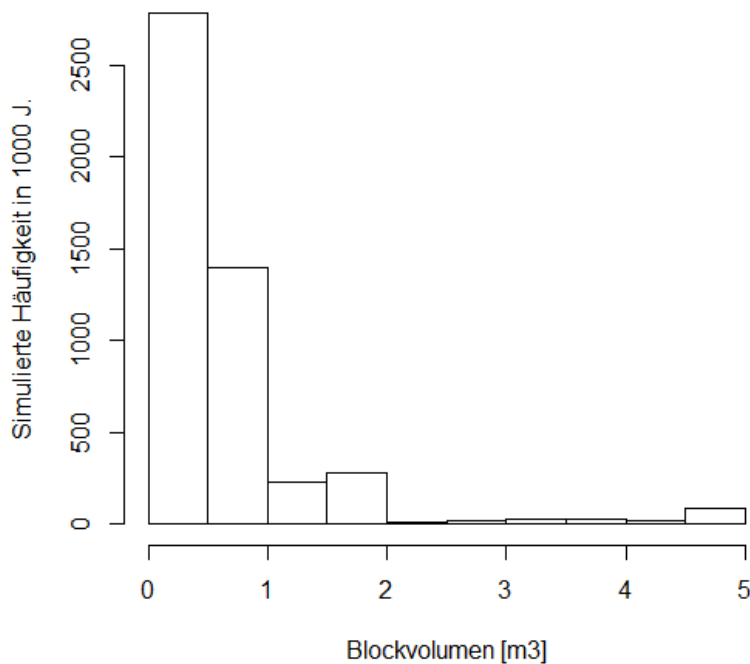


Abb. 15: Simulierte Ausbruchshäufigkeit in 1000 Jahren für die berücksichtigten Blockvolumen (4 Szenarien: 0.1-0.7 m³, 0.7-2 m³, 2 m³, 5 m³).

2: Steinschlagsimulationen

Steinschlag-Trajektorien wurden mit dem dreidimensionalen Modell RockyFor3D (Dorren, 2015) durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein sogenanntes probabilistisch prozess-basiertes Modell, welches Blöcke fliegend, hüpfend und rollend in Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit, des Bodentyps und stehender oder liegender Bäume simuliert. Der Bodentyp und die Oberflächenrauigkeit wurden im Gelände für homogene Gebiete kartiert (Abb. 16). Dabei wird zwischen sieben verschiedenen Bodentypen unterschieden (Tab. 10). Die Oberflächenrauigkeit wird als mittlere Hindernishöhe, die ein Block in 70%, 20% und 10% der Aufprälle antrifft, quantifiziert. Bäume werden räumlich explizit berücksichtigt und die Ablenkung sowie der Energieverlust eines Blockes nach einem Baumaufprall wird basierend auf dem BHD und einem empirischen, artenspezifischen «Baumfaktor» berechnet. Für den aktuellen Waldbestand sowie die Waldszenarien wurden «Treefiles» mit zufälligen Baumpositionen innerhalb des bewaldeten Gebietes generiert (Beilage 4).

Das Ausbruchsgebiet wurde basierend auf der Hangneigung ($\geq 50^\circ$) festgelegt und im Feld verifiziert. Die Blockgrösse wurde für jede Startzelle in der jeweiligen Blockgrößen-Klasse der Ausbruchsszenarien zufällig gezogen. Es wurden 100 Simulationen pro Startzelle durchgeführt (total 1'353'400 Simulationen pro Blockgrösse). Die Blöcke wurden mit einer rechteckigen Form simuliert. Gebäude wurden als «Steinschlagnetze» mit einer Energieaufnahmekapazität von 600 kJ und einer Höhe von 8 m berücksichtigt.



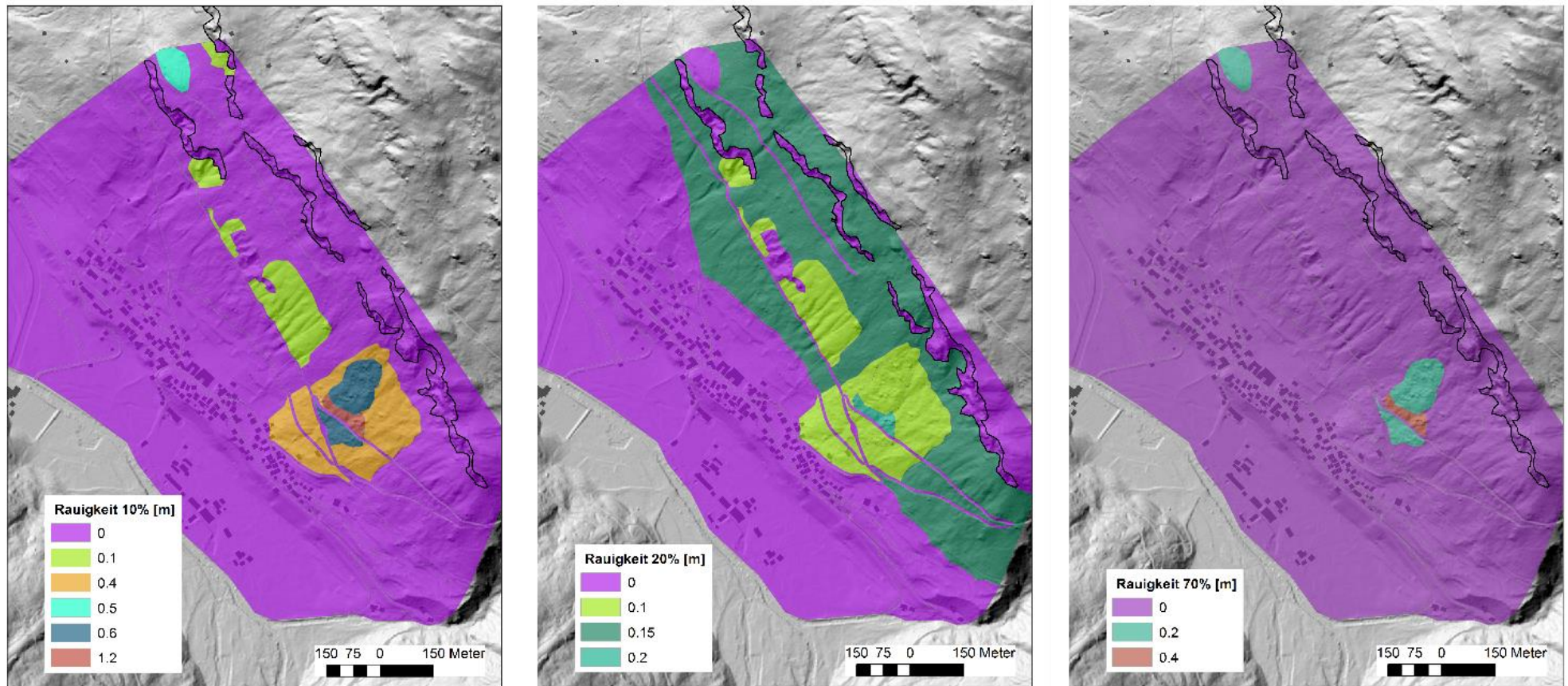


Abb. 16: Bodenrauigkeit für 10%, 20% und 70% der Fläche im Untersuchungsgebiet. Das Ablösegebiet ist schwarz umrandet.

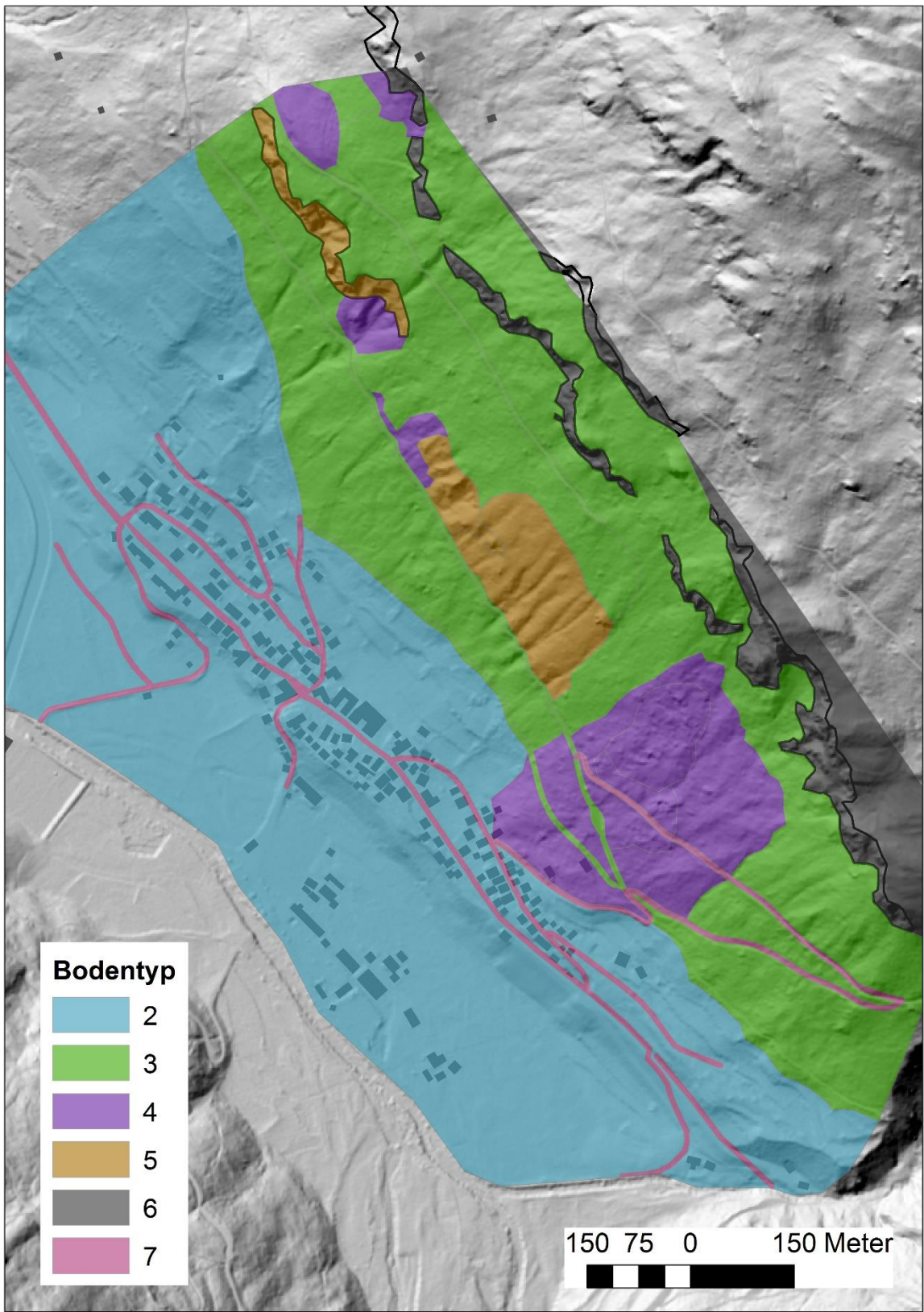


Abb. 17: In RockyFor3D verwendete Bodentypen im Untersuchungsgebiet (vgl. Tab. 10).

Tab. 10: Die von RockyFor3D verwendeten Bodentypen (nach Dorren, 2015).

| Bodentyp | Beschreibung Untergrund |
|----------|--|
| 0 | Fluss, Sumpf oder Material, in welches Block komplett eindringen kann |
| 1 | Feines Bodenmaterial (Tiefe > ~1m) |
| 2 | Feines Bodenmaterial (Tiefe < 1m) oder Sand-/ Kiesgemisch im Tal |
| 3 | Geröll ($\emptyset < \sim 10$ cm); oder mittlerer kompakter Boden mit kleinen Gesteinsteilen; oder Forststrasse |
| 4 | Talus ($\emptyset > \sim 10$ cm): kompakter Boden mit grossen Gesteinsteilen |
| 5 | Anstehendes Gestein mit dünnem, verwittertem Material oder Bodendecke |
| 6 | Anstehendes Gestein |
| 7 | Asphaltstrasse |

3: Risikoberechnung

In der Risikoberechnung wurden die Schadensbilder «Direkttreffer» und «Infrastruktursschäden» für Gebäude und Strassen sowie «Auffahrunfall» und «Sperrung nach Ereignis» für Strassen berücksichtigt. Die Erreichenswahrscheinlichkeit der jeweiligen Blockgrössen-Klassen wurde für jedes Objekt (Gebäude / Strassen) basierend auf den Steinschlagsimulationen bestimmt. Sie ist definiert als Verhältnis zwischen der Anzahl Trajektorien der Blockgrösse j , die Objekt i potentiell erreichen ($n_{i,j}$), und der gesamten Anzahl simulierter Blöcke der Blockgrösse j (n_{tot}):

$$P_{err,i,j} = \frac{n_{i,j}}{n_{tot}} \quad \text{Eq. 3}$$

Bei den Schadensbildern «Auffahrunfall» und «Sperrung nach Ereignis» ist nicht per se entscheidend, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Strasse erreicht wird, sondern mit welcher Wahrscheinlichkeit die Strasse bei einem Ereignis durch einen oder mehrere Blöcke verschüttet wird. Diese «Verschüttungswahrscheinlichkeit» ($P_{ver,i,j}$) ist definiert als Wahrscheinlichkeit, dass ein oder mehrere Blöcke eines Ereignisses auf dem Objekt i abgelagert wird bzw. werden. Sie berechnet sich aus dem «Gegenereignis», dass sich kein Stein auf dem Objekt i abgelagert:

$$P_{ver,i,j} = 1 - \prod_{k=1}^{ET_j} (P_{keineAbl,i,j})^{ET} \quad \text{Eq. 4}$$

Dabei ist:

$$P_{keineAbl,i,j} = 1 - \frac{n_{ab,i,j}}{n_{tot}}$$

Mit $n_{ab,i,j}$ = Anzahl simulierter Blöcke der Blockgrösse j , die auf Objekt i abgelagert werden.

Die Energie jedes simulierten Blockes, der ein Objekt (Gebäude / Strasse) erreichte beziehungsweise darauf abgelagert wurde, wurde registriert und gemäss dem schweizerischen Risikokonzept (Bründl 2009) als geringe (0-30 kJ), mittlere (30-300 kJ) und grosse (> 300 kJ) Intensität klassiert. Anschliessend wurde der mittlere Schaden über alle simulierten Blöcke für die jeweiligen Schadensbilder bestimmt. Der monetäre Wert W_i eines Objekts i wurde als Summe aller Objektwerte und monetarisierten Personenwerte berechnet. Es wurden Standardwerte für verschiedene Objektkategorien sowie ein Wert von 5'000'000 CHF pro Person verwendet (Bründl et al. 2015). Die Objektkategorie und die Belegung wurde basierend auf Daten des Bundesamts für Statistik bestimmt und in einer Feldbegehung validiert. Vulnerabilitätswerte für Objekte und Personen für die verschiedenen Intensitätsklassen wurden ebenfalls gemäss EconoMe-Standardwerten (Bründl et al. 2015) bestimmt. Das Schadenpotential Strassen sowie die gewählten Parameter sind in Abb. 18 resp. Tab. 11 enthalten Die Wahrscheinlichkeit, dass es im Fall einer

Strassenverschüttung zu einem Auffahrunfall kommt (P_{auffahr}) wurde als 0.15 angenommen (ASTRA 2012). Die Dauer einer Sperrung wurde ebenfalls gemäss ASTRA (2012) in Abhängigkeit der Intensität bestimmt. Die Kosten einer Sperrung wurden anhand von Umfahrkosten mittels Google Maps hergeleitet.

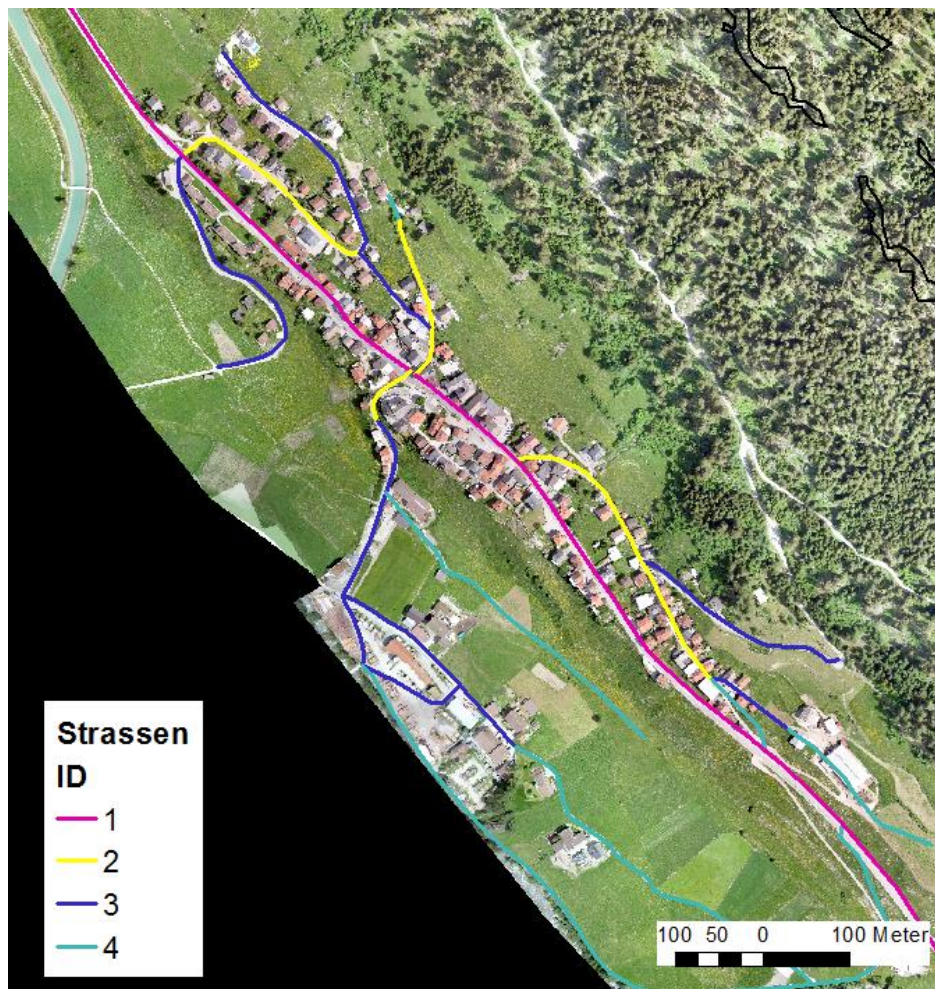


Abb. 18: Einteilung der Strassen in Tinizong in verschiedene Kategorien. Die entsprechenden Verkehrsparameter sind in Tab. 11 zu finden.

Tab. 11: Verkehrsparameter für die verschiedenen Strassenkategorien, die zur Berechnung der Präsenzwahrscheinlichkeit verwendet wurden. Der DTV der Nationalstrasse basiert auf Daten aus der Verkerszählung des ASTRA und der DTV der kleineren Strassen wurde aufgrund von Orthophotos, Google maps, Street View und einer Feldbegehung geschätzt.

| ID | Strassenkategorie | Belegung [pers.] | Tempo [kmh ⁻¹] | DTV [d ⁻¹] | Sperrungskosten [CHF] |
|----|-----------------------|------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | Kantonsstrasse | 1.76 | 50 | 4500 | 403'583 |
| 2 | Quartierstrasse | 1.76 | 30 | 40 | 0 |
| 3 | Quartierstrasse | 1.76 | 30 | 20 | 0 |
| 4 | Waldstrasse / Feldweg | 1.76 | 50 | 0 | 0 |

Beilage 4: Waldmodell

Für die Berücksichtigung der Waldwirkung resp. der unterschiedlichen Waldzustände unter den verschiedenen Szenarien wurde folgendermassen vorgegangen:

Herleitung Ausgangsbestand

- Aufgrund von Drohnenbildern wurde ein Vegetationshöhenmodell hergeleitet (eBee), woraus eine «Waldmaske» abgeleitet wurde (d.h. Lückenflächen wurden nicht als Wald ausgeschieden). Wo das Vegetationshöhenmodell eBee offensichtlich Fehler aufwies wurde es mit dem Vegetationshöhenmodell aus swissalti3d ergänzt. Weiter wurden mit einem Vergleich alter und aktueller Luftbilder Lückenflächen ausgeschieden, welche seit mindestens 1991 resp. 2018 bestehen. Diese Lücken wurden ebenfalls – wo nicht bereits durch das Vegetationshöhenmodell erfasst – in die Waldmaske integriert. Aus dem Vegetationshöhenmodell wurden mit der Software FINT Baumspitzen detektiert. Daraus wurde aufgrund der Baumhöhe ein Durchmesser zugewiesen. Daraus resultierte ein Treefile, welches die räumliche Struktur des aktuellen Bestandes abbildet.
- Anhand des aktuellen Luftbildes und der Bestandeskartierung wurden das Untersuchungsgebiet in 7 bezüglich Waldaufbau mehr oder weniger homogene Flächen eingeteilt.
- Diese Fernerkundungsdaten wurden mit den Daten einer Vollkluppierung auf 1.1ha, 28 Stichprobenaufnahmen auf jeweils 20x20m und der Bestandeskarte abgeglichen. Aufgrund dieses Abgleiches wurde a) die Durchmesserverteilung der FINT-Daten in den Flächen 1, 3 und 7 angepasst und b) für die 7 Flächen Zielvorräte festgelegt und der Vorrat innerhalb der Waldmaske gemäss der Durchmesserverteilung aus FINT auf die Zielvorräte erhöht.

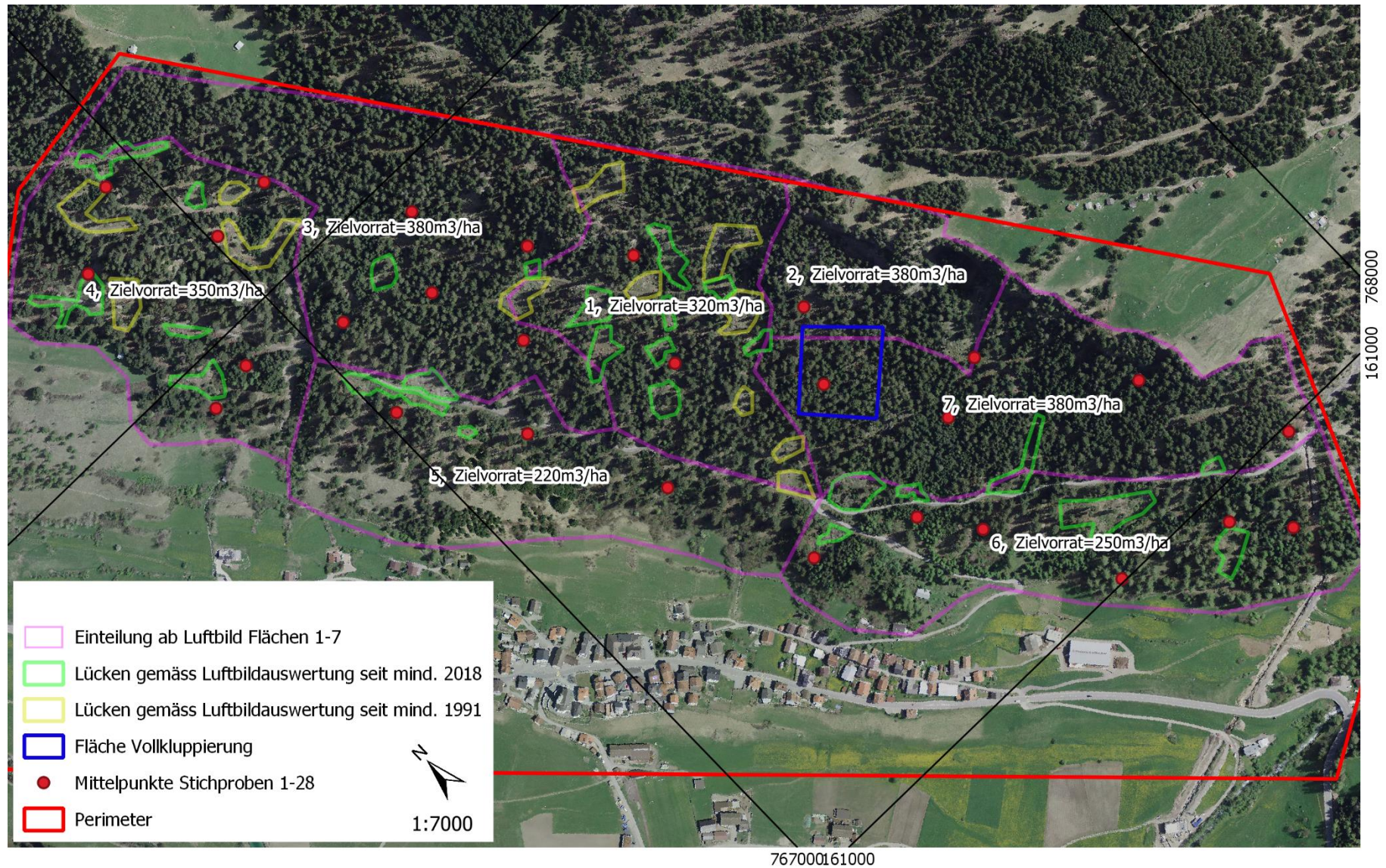
Mit diesem Vorgehen kann die räumliche Struktur der Bestände erhalten werden und gleichzeitig dem Problem begegnet werden, dass durch die Fernerkundungsdaten die Stammzahl und Vorräte unterschätzt werden.

Die Abb. 19 enthält die Flächeneinteilung ab Luftbild, Lückenausscheidung ab Luftbild, Lage der vollkluppierten Fläche und Lage der Stichproben 1-28.

Modell für die Anpassung des Ausgangsbestandes unter den verschiedenen Szenarien

Für die Herleitung der Waldzustände unter den verschiedenen Szenarien wurden bezüglich Einwuchs der Lückenflächen, Vorratsrückgang im Altbestand aufgrund von Zwangsnutzungen, «normale» Mortalität im Altbestand, Zuwachs im Altbestand und Einwuchs im Altbestand (d.h. ausserhalb der Lückenflächen) getroffen. Die Annahmen sind in der Tab. 12 für alle Szenarien aufgeführt.

Abb. 19: Untersuchungsgebiet mit Flächeneinteilung ab Luftbild, Lückenausscheidung ab Luftbild, Lage der vollkluppierten Fläche und Lage der Stichproben 1-28



Tab. 12: Annahmen Waldmodell

| | Einwuchs Lücken seit 1991 | Einwuchs Lücken seit 2018 | Vorratsrückgang im Altbestand wegen ZN | Zuwachs Altbestand | «Normale» Mortalität Altbestand | «Normaler» Einwuchs Altbestand |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|--|---|--|
| SZ 0 2018 | 200 Stk/ha mit BHD 8-12cm | | | | | |
| SZ 0 2058 | 300 Stk/ha mit BHD 8-30cm | 300 Stk/ha mit BHD 8-12cm | Einheiten 1,2,4: 40% Vorratsentnahme in BHD-Klasse ab 30cm, darin zufällige Entnahme Übrige Einheiten: 30% Vorratsentnahme in BHD-Klasse ab 30cm, darin zufällige Entnahme | Durchmesserwachstum = 2mm/J pro Baum in allen Durchmesserklassen | 20% pro Klassenwechsel in Durchmesserklassen < 32cm | gemäss BHD-Verteilung nach korr. Ausgangsdaten in den Klassen 8-12 und 12-16 |
| SZ 1a 2058 | 300 Stk/ha mit BHD 8-12cm | 300 Stk/ha mit BHD 8-12cm | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 |
| SZ 1b 2058 | 300 Stk/ha mit BHD 8-12cm | 300 Stk/ha mit BHD 8-12cm | Alle Einheiten: 10% Vorratsentnahme in BHD-Klasse ab 48cm, darin zufällige Entnahme | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 |
| SZ 2a 2058 | 100Stk/ha mit BHD 8-30cm | 150Stk/ha mit BHD 8-12cm | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 |
| SZ 2b 2058 | 300 Stk/ha mit BHD 8-12cm | 300 Stk/ha mit BHD 8-12cm | Alle Einheiten: 10% Vorratsentnahme in BHD-Klasse ab 48cm, darin zufällige Entnahme | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 |
| SZ 3a 2058 | Kein Einwuchs | Kein Einwuchs | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 |
| SZ 3b 2058 | 100Stk/ha mit BHD 8-30cm | 150Stk/ha mit BHD 8-12cm | Alle Einheiten: 10% Vorratsentnahme in BHD-Klasse ab 48cm, darin zufällige Entnahme | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 |
| Extrem Zeitpunkt offen | Kein Einwuchs | Kein Einwuchs | Alle Einheiten: 66% Vorratsentnahme in BHD-Klassen ab 30cm | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 | Wie SZ 0 2058 |