

Forschungsprojekt Gebirgswaldverjüngung: Grundlagen zur verbesserten Beurteilung und gezielteren Beeinflussung der Verjüngung im Gebirgswald (WHFF-Projekt 2018.04)



Schlussbericht, Januar 2022

AutorInnen:

Dr. Peter Brang[†]

Dr. Petia Nikolova



**Eidg. Forschungsanstalt für
Wald, Schnee und Landschaft**

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Brang P, Nikolova, P. 2022. Forschungsprojekt Gebirgswaldverjüngung: Grundlagen zur verbesserten Beurteilung und gezielteren Beeinflussung der Verjüngung im Gebirgswald. Schlussbericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 19 S. + Anhang

Finanzierung

Das Projekt wurde vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung (Projektnummer 2018.04) sowie den Waldämtern der Kantone Bern, Graubünden, Luzern, St. Gallen, Uri, Waadt und Wallis grosszügig unterstützt.

Dank

Wir danken den Mitgliedern der Begleitgruppe für wertvolle Kommentare zu den Modulen 1 und 3, insbesondere Karin Allenspach-Schliessbach, August Ammann, Beat Annen, Urs Felder, Monika Frehner, Pascal Gmür, Marco Vanoni und Samuel Zürcher. Peter Ammann, Peter Bebi, Christoph Düggelein und Andrea Kupferschmid schlugen weitere substanzielle Verbesserungen vor. Ein grosser Dank geht an die PraktikantInnen, die die Versuchsflächen eingerichtet und Inventuren durchgeführt haben: Andrea Lässig, Alice Zaugg, Laura Fraticelli, Heidi Mathys, Hannah Hochsattel, Patrick McClatchy, Reto Pfund, Philipp Rüegg. Zudem unterstützten die Zivildienstleistenden Jonas Schuler und Thomas Schranz diese Arbeiten. Beraten und eingeführt wurden die Feldteams von Jens Nitzsche und Hubert Schmid.

Die Arbeiten an diesem Projekt wären durch massgebliche Unterstützung aus den beteiligten kantonalen Waldämtern der Kantone Bern, Graubünden, Luzern, St.Gallen, Uri, Waadt und Wallis nicht möglich gewesen. Sie ermöglichten die Evaluation der Versuchsflächen, sorgten für die Finanzierung der Eingriffe und Zäune und die Koordination mit den beteiligten Forstbetrieben und Waldeigentümern.

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Januar 2022, revidiert durch P. Nikolova im Januar 2023

Inhalt

Zusammenfassung.....	4
1 Indikatoren und Referenzwerte zur Gebirgswaldverjüngung	5
2 Verjüngungserfolge und -misserfolge in grossen Bestandeslücken.....	7
3 Waldbauliche Experimente (Pilotphase)	8
4 Langzeitkonzept zur Forschung zur Gebirgswaldverjüngung.....	14
5 Weitere Forschungsarbeiten	15
6 Massnahmen für den Wissenstransfer	15
7 Zusammenfassende Würdigung der Projektergebnisse	15
8 Projektablauf	15
9 Publikationen.....	16

Zusammenfassung

Die Förderung der Verjüngung ist ein wesentliches Ziel der meisten waldbaulichen Eingriffe in Gebirgswäldern. Die wissenschaftlichen Kenntnisse dazu sind aber mangelhaft. Das Projekt «Gebirgswaldverjüngung» zielte darauf ab, als Beginn von längerfristigen Forschungsanstrengungen einen ersten Schritt zu tun, um den Kenntnisstand massgeblich zu verbessern. Im Modul 1 wurden aus einer Synthese vorhandener Forschungsergebnisse in Zusammenarbeit mit einer Praxis-Begleitgruppe Verjüngungsindikatoren und Sollwerte zur Naturverjüngung im Gebirgswald abgeleitet, mit einem Fokus auf der Stammzahl. Die Sollwerte sind nach Bedeutung der Waldleistung, Waldbausystem und Höhenstufe differenziert und gewichten die Stammzahlen gemäss der Grösse der Verjüngungspflanzen. Die Sollwerte sollen demnächst mit vorhandenen Daten aus kantonalen Waldämtern getestet werden. In Modul 2 wurde der Verjüngungserfolg in grossen Bestandeslücken vertieft analysiert und es wurden daraus waldbauliche Folgerungen gezogen. Der zentrale Teil des Projekts war Modul 3, in dem waldbauliche Langzeit-Experimente in Tannen-Fichtenwäldern gestartet wurden, in denen die Entwicklung der Verjüngung und der Kleinstandorte und die Wirkung der Eingriffe und des Einflusses wilder Huftiere über rund 30 Jahre untersucht werden soll. Dazu wurden ein Versuchsdesign und eine Inventurmethode entwickelt, es wurden in Zusammenarbeit mit kantonalen Waldämtern 10 meist 1,5 ha grosse Versuchsflächen ausgewählt und langfristig vertraglich gesichert und darin Pilotinventuren des Bestandes und der Verjüngung durchgeführt. Zudem wurde eine Folgefinanzierung dieser Forschung durch das BAFU erreicht.

1 Indikatoren und Referenzwerte zur Gebirgswaldverjüngung

Ziele

Ziel dieses Projektteils (Modul 1) war gem. Antrag, «die aufgrund des heutigen Kenntnisstandes best möglichen Indikatoren und Referenzwerte zur Gebirgswaldverjüngung zur Verfügung zu stellen».

Teilziele dieses Moduls waren:

- 1) Darzustellen, welche Bestandesdichten Ende des Verjüngungsstadiums (ca. ab 10 cm BHD) bzw. welche Dichte an Nachwuchsstangen im (Gebirgs-)Plenterwald minimal und optimal erreicht werden müssen, um im Schutzwald und im Nichtschutzwald die erwarteten Waldleistungen zu sichern.
- 2) Den Kenntnisstand zu Indikatoren und Referenzwerten von Naturverjüngung im Gebirgswald darzustellen.
- 3) Bisher verwendete Ansprache- und Inventurmethode zu vergleichen, mit denen der Erfolg von Verjüngungen beurteilt werden kann.
- 4) Aus 1) bis 3) eine vorläufige Empfehlung zu Referenzwerten und Ansprache- und Inventurmethode entwickeln.
- 5) Hypothesen für Modul 3 aufzustellen.

Diese Teilziele und das Gesamtziel wurden erreicht, mit Abstrichen bei Teilziel 1), was unten begründet ist. Eine Publikation zu Indikatoren zur Beurteilung der Verjüngung ist in Ausarbeitung (Nikolova, Allgeier und Brang; Anhang I). Auf Publikation der vorgeschlagenen Sollwerte wird verzichtet, weil die Zahlen nur vorläufig und nicht durch empirische Studien verifiziert sind.

Methoden

Methodisch gingen wie folgt vor: Wir sichteten Literatur zur Fragestellung und trugen Daten zu möglichen Indikatoren und Referenzwerten aus Publikationen und durch Kontaktaufnahme mit Forschenden v.a. im Ausland zusammen. Zudem analysierten wir Stammzahlen aus dem LFI. Die Ergebnisse stellten wir in einem Konzeptpapier zusammen (Brang & Nikolova 2021, Anhang II). Einen Entwurf davon diskutierten wir am 6. und 7.5.2020 mit der Begleitgruppe (Box 1) und verbesserten das Konzeptpapier sukzessiv (nochmaliger Versand am 3.12. und 13.12.2020). Eine finale Version (Brang & Nikolova 2021) mit einem konkretisierenden Zusatz (Brang 2021, Anhang III) wurde im KOK-Ausschuss am 20.1.2021 und an der KOK am 15.4.2021 diskutiert.

Box 1: Mitglieder der Begleitgruppe

August Ammann (SG), Pascal Gmür (PG), Beat Annen (UR), Samuel Zürcher (ibW Bildungszentrum Wald, Holz & Bau), Marco Vanoni (GR), Monika Frehner (Ingenieurbüro Frehner), Karin Allenspach (BE), Catherine de Rivaz-Gilliéron (VD), Urs Felder (LU).

Entgegen der ursprünglichen Planung (Teilziel 1) verzichteten wir auf eine vertiefte Analyse der Bestandesdichte Anfang Stangenholz, weil wir keine Möglichkeit sahen, einen quantitativen Link zur Verjüngungsstammzahl zu schaffen. Die Stammzahlabnahme von Sämlingen bis ins Stangenholz ist zwar empirisch belegt, u.a. durch LFI-Daten. Diese stellen aber Mittelwerte effektiv gefundener Stammzahlen dar und können weder als optimale noch als minimale Stammzahlen angesehen werden. Demzufolge konnten wir keine minimale bzw. optimale Dichte von Nachwuchsstämmen vorschlagen, die die Angaben in Duc & Brang (2003) bestätigt oder verbessert hätten. Anhaltspunkt

bleibt daher die Stammzahl von Nachwuchsstangen im Plenterwald (Duc & Brang 2003), die um die 1000/ha liegt.

Ergebnisse

Das genannte Konzeptpapier (Brang & Nikolova 2021) dient der Erreichung der Teilziele 2 bis 4. In ihm (Zitat) «werden Indikatoren und provisorische Sollwerte für die Beurteilung der Waldverjüngung im Grössenbereich zwischen 10 cm Höhe und 11,9 cm BHD vorgeschlagen. Fünf Verjüngungsindikatoren werden beschrieben: Die Dichte (Stammzahl) von Verjüngungspflanzen, die mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen, der Verjüngungs-Deckungsgrad, der Flächenanteil mit/ohne Verjüngung sowie die Verjüngungsfläche. Der Anwendungsbereich der Indikatoren in verschiedenen Entscheidungssituationen wird beschrieben, wobei der Fokus auf der Bestandesebene liegt. Das Konzeptpapier fokussiert auf den Fall, dass quantitative Informationen zur Verjüngung benötigt werden, und damit auf die Stammzahl, die mit Stichprobeninventuren erfasst werden kann. Für die Stammzahl werden aufgrund von Literaturangaben und Auswertungen mit LFI-Verjüngungsdaten provisorische untere und obere Sollwerte vorgeschlagen, die nach Waldleistung (Schutzwald / Nicht-Schutzwald), Höhenstufe und Waldstruktur differenziert sind und zwischen 1500/ha und 4000/ha liegen. Die Sollwerte berücksichtigen zudem die unterschiedliche Grösse von Verjüngungspflanzen, indem Anwuchspflanzen (10-39 cm) halb, Aufwuchspflanzen (40-129 cm) einfach und Nachwuchsplanzen (130 cm Höhe bis 11,9 cm BHD) dreifach gewichtet werden. Es wird empfohlen, die provisorischen Sollwerte in Praxistests zu verifizieren.» Teilziel 5 erfüllten wir sinngemäss, indem die Ergebnisse der Literaturstudie in Modul 3) einfließen.

Tabelle 1 zeigt die vorgeschlagenen Sollwerte (Brang & Nikolova 2021). In Brang (2021) sind konkrete Hinweise zu deren Anwendung zu finden. Es wird nicht vorgeschlagen, bisherige qualitative Methoden der Beurteilung der Verjüngung dadurch zu ersetzen, dass die Stammzahl erfasst und mit den hier vorgeschlagenen Sollwerten verglichen wird. Die Stammzahlsollwerte sind aber eine Möglichkeit, die Verjüngung und deren Entwicklung quantitativ zu bewerten. **Die Sollwerte sind als vorläufig zu betrachten.** In einigen Jahren erwartete Ergebnisse aus Versuchsflächen im Gebirgswald (Kap. 3) werden helfen, diese Sollwerte zu verifizieren.

Tabelle 1. Stammzahl-Sollwerte [SW, N/ha] für die Verjüngung für Anwendung auf Bestandesebene. Gewichtung: Anwuchspflanzen halb, Aufwuchspflanzen einfach, Nachwuchsplanzen dreifach. Für Schutzwälder gelten die oberen Sollwerte, für Nicht-Schutzwälder je nach Ansprüchen an die Waldleistungen die unteren oder die oberen. Die Sollwerte geben die Stammzahl der waldbaulich erforderlichen und nicht die der im Mittel zu erwartenden Verjüngung an. Der obere Sollwert im Plenter- und Dauerwald in den Höhenstufen kollin – hochmontan wurde von 2667 auf 2700/ha aufgerundet.

Waldstruktur	Höhenstufe			
	kollin – hochmontan		subalpin und obersubalpin	
	Unterer SW	Oberer SW	Unterer SW	Oberer SW
Plenter- und Dauerwald	2000	2700	1500	2000
Gleichförmige Verjüngungsbestände, Überführungsbestände und Störungsflächen	3000	4000	2250	3000

Es sei hier explizit festgehalten, dass es nicht möglich scheint, mit einem einzigen «Verjüngungsindikator» die «Verjüngungssituation ausserhalb Schutzwald» abzubilden (Bernasconi et al. 2014). Bei der Konkretisierung des Verjüngungsindikators ist vielmehr von einem Indikatorset

auszugehen, das Menge, Qualität (Baumartenzusammensetzung, Gesundheit bzw. Abwesenheit von Schäden) und räumliche Verteilung der Verjüngung beschreibt.

2 Verjüngungserfolge und -misserfolge in grossen Bestandeslücken

Ziel

Ziel dieses Projektteils (Modul 2) war gem. Antrag, «Erfolge und Misserfolge bei der Verjüngung in grossen Bestandeslücken besser zu verstehen». Dieses Ziel wurde vollständig erreicht.

Methoden

In zehn grossen Bestandeslücken, die schon im vom WHFF geförderten Projekt «Eingriffsstärke» (Brang et al. 2017) untersucht worden waren, wurde die Verjüngung noch einmal vertieft untersucht. Dies geschah im Rahmen der Bachelorarbeit von Kalt (2019), deren wichtigste Ergebnisse veröffentlicht wurden (Kalt et al. 2021; Anhang IV). Historische Luftbilder dienten zur Erfassung der Bestandesgeschichte und der Kronendeckung vor dem Schlagen der Lücken.

Ergebnisse

Das Ziel dieses Projektteils wurde vollumfänglich erreicht. Grossteils bestätigten sich die Ergebnisse von Brang et al. (2017). Wir zitieren aus Kalt et al. (2021): *«Die Dichte der Verjüngung zwischen 10 cm Höhe und 12 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) lag im Mittel bei 5450 St./ha, wovon 71% Fichten waren. Der hohe Mittelwert kam durch Probeflächen mit sehr dichter Verjüngung zustande. Die Fichtenverjüngung stellte sich zum Grossteil nach dem Holzschlag ein; Vorverjüngung war im Nachwuchs (130 cm Höhe bis 12 cm BHD) zu 30% vorhanden. Die Vorverjüngung war dichter in Probeflächen, in denen der Vorbestand schon aufgelichtet gewesen war. Die höchsten Dichten der Nachverjüngung traten bei mittlerer bis hoher Kronendeckung vor dem Holzschlag auf. Verdämmende Konkurrenzvegetation reduzierte die Dichte der Vor- und der Nachverjüngung. Die Präsenz von Moderholz und Baumstümpfen war mit einer höheren Verjüngungsdichte verbunden, Wildhuftierverbiss dagegen mit einer geringeren. Bei wenig Konkurrenzvegetation tritt unmittelbar nach dem Schlagen einer grossen Lücke eine Phase mit hoher Verjüngungsgunst auf, in der die Verjüngung oft gelingt. Auf Standorten hingegen, die zur Bildung einer dichten Konkurrenzvegetation neigen, stellt sich die Verjüngung nur zögerlich ein, und sie ist auf Moderholz und Baumstümpfe angewiesen.»*

Bei der Bewirtschaftung soll Unterschied gemacht werden zwischen verjüngungsfreudigen und -trägen Standorttypen (Frehner et al. 2005). Beispiel «ungünstiger» Standorttypen in unserer Studie sind 47, 54A, 53*/54 und 50/51. Auf «ungünstigen» Standorttypen mit potenzieller Entwicklung von viel Konkurrenzvegetation (Hochstauden, Reitgras, Himbeere, Farne) ist vor dem Schlag auf Folgendes zu achten:

1. Eine hohe Kronendeckung (vor dem Schlag) verlangsamt das Aufkommen von Konkurrenzvegetation nach dem Holzschlag, weshalb dann vorübergehend Bedingungen herrschen, die die Ansamung und die Etablierung von Nachverjüngung begünstigen (window of opportunity). Hier empfehlen wir, bei der Planung der Eingriffe auf die Anwesenheit von

vitalen Samenbäume im Bestand sowie auf Samenjahre der gewünschten Baumarten zu achten.

2. Fördernde Kleinstandorte wie Totholz und/oder Mikroerhebungen (z.B. Wurzelteller) sollen frühzeitig im Bestand gebracht werden, erst dann sind günstige Substrate für die Nachverjüngung geschaffen (und die Lücken dürfen geschlagen) werden. Hier empfehlen wir, erstmal Totholz zu schlagen und mit dem Verjüngungsschlag (Bestandeslücken) abzuwarten.
3. Die Anwesenheit der Vorverjüngung nach dem Schlag begünstigt den Anwuchs, möglicherweise durch das Entstehen von günstigen Kleinstandorte für die Nachverjüngung. Wir empfehlen hier, erst die Vorverjüngung einzuleiten.

Fazit für die Praxis: An Standorten (Standorttypen) mit starker Konkurrenzvegetation schlagen wir vor, zuerst einen «Moderholzschatz» durchzuführen und etwa 20 Jahre später die Verjüngung einzuleiten. Die Beimischung der Tanne könnte an schwierigen Standorten die Verjüngung erleichtern, da die Tanne schattentoleranter, weniger auf Moderholz aufgewiesen und weniger abhängig von der Vegetationskonkurrenz ist.

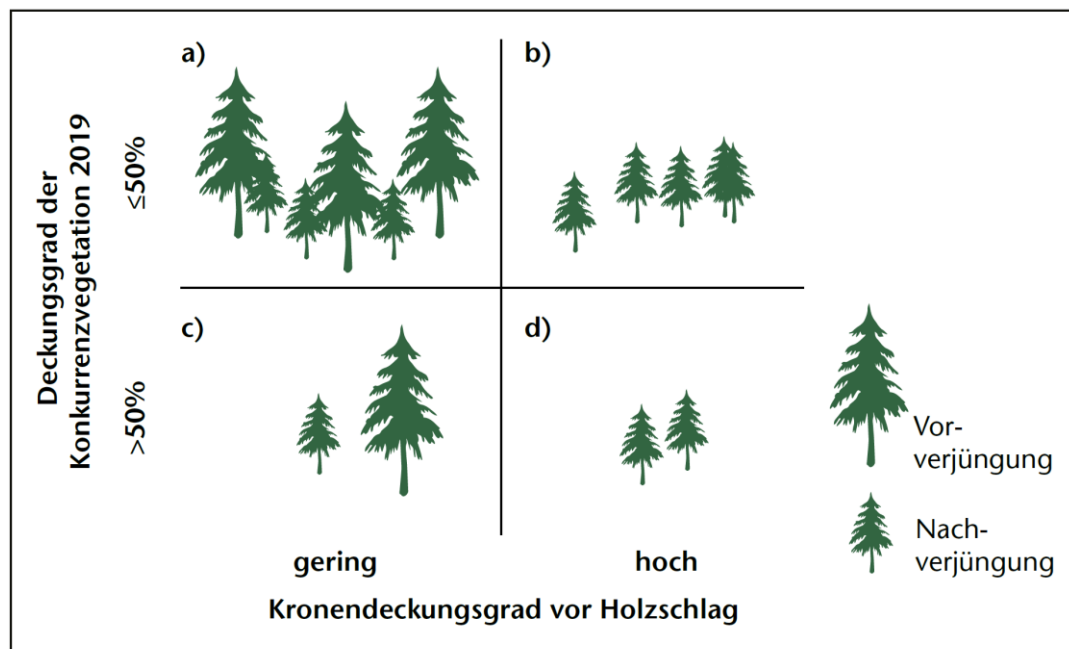


Abbildung 1. Konzeptuelles Modell für das Mass von Fichtenvor- und nachverjüngung in Abhängigkeit das Kronendeckungsgrades vor dem Holzschlag und des Deckungsgrades der Konkurrenzvegetation (Kalt et al. 2021).

3 Waldbauliche Experimente (Pilotphase)

Ziel

Ziel dieses Projektteils (Modul 3) war gem. Antrag, «Waldbauliche Langzeit-Experimente in Fichten- und Fichten-Tannenwäldern zu starten und darin Pilotinventuren durchzuführen und auszuwerten».

Teilziele waren:

- 1) das Entwickeln eines Versuchsdesigns für waldbauliche Experimente in Fichten- und Fichten-Tannenwäldern

- 2) die Auswahl geeigneter Versuchsorte und das Anlegen geeigneter Versuchsflächen
- 3) Pilotinventuren auf den Flächen und das Darstellen der Dichte und räumlichen Verteilung der Verjüngung in ausgewählten dieser Flächen sowie
- 4) der Aufbau einer stabilen Trägerschaft für ein Folgeprojekt.

Diese Ziele wurden erreicht, aber mit Verzögerung.

Methoden

Entwicklung eines Versuchsdesigns: Dazu wurden die mit den zu erhebenden Daten durchzuführenden Analysen grob skizziert und konzipiert. Das schon im Antrag dargestellte Design wurde weitgehend beibehalten. Festgehalten wurde an zehn Versuchsflächen (VF) mit je drei Teilflächen, von denen eine als unbehandelte Kontrolle dient, während in zwei Teilflächen unterschiedlich starke Gebirgsplentereingriffe durchgeführt werden (Abbildung 2). Jede Teilfläche ist etwa 0,5 ha gross. Auf Pufferstreifen zwischen den Teilflächen (Behandlungen) wurde verzichtet, da die Behandlung innerhalb von ihnen ohnehin heterogen ist, weil nicht gleichmässig durchforstet wird, sondern Bestandeslücken geschlagen werden. Für den Ausschluss des Wildeinflusses sind aus statistischen Gründen 4 Kleinzäune pro Teilfläche (12 pro VF) vorgesehen statt wie ursprünglich vorgesehen ein einziger.

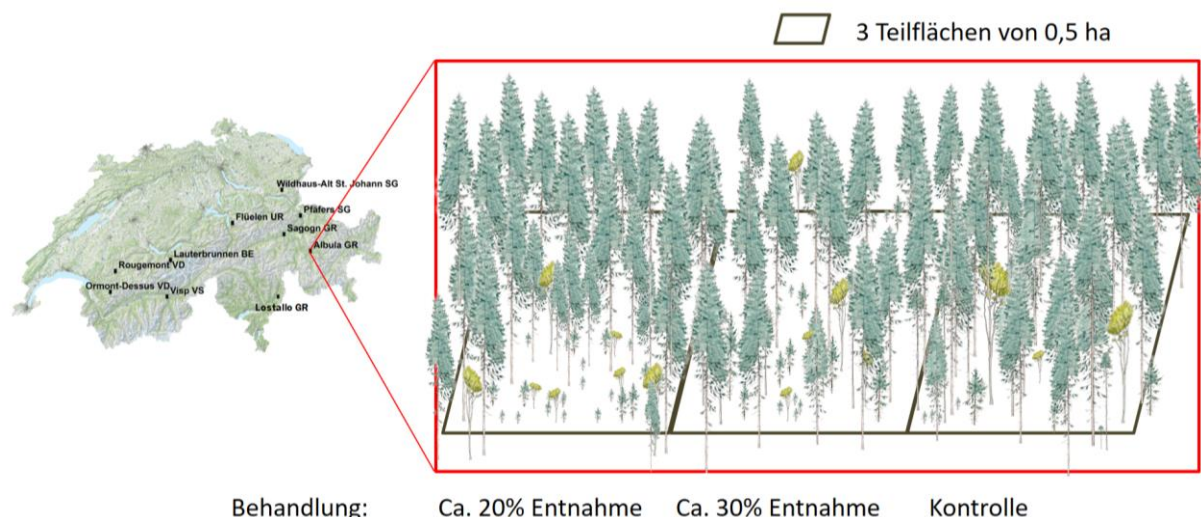


Abbildung 2. Lage der Versuchsflächen in der Schweiz und definitives Design der waldbaulichen Experimente. Es umfasst 10 Versuchsorte und an jedem Versuchsort 3 unterschiedlich behandelte Teilflächen.

Pilotinventuren und Probeflächendesign: Im Jahr 2020 wurden Pilotinventuren der Verjüngung in den VF Flüelen und Lauterbrunnen durchgeführt. Die genaue Methode wurde mehrmals angepasst, damit die Inventuren machbar und aussagekräftig werden. Es erwies sich nämlich, dass die Verjüngung (besonders die unter 10 cm Höhe) sehr dicht war (teils >20'000/ha) und die Dichten je nach Grössenklasse und Baumart stark variierten: Zum Beispiel waren teils über 50% der Verjüngungspflanzen Vogelbeeren und über 80% kleiner als 10 cm. Zudem war absehbar, dass die Aufnahmeteamer rund um das Probeflächenzentrum starke Trittschäden verursachen würden. Um dem Rechnung zu tragen, wurden folgende Entscheide getroffen:

- Die Zielanzahl von Probeflächen pro VF wurde zunächst auf Rat von anderen Wissenschaftlern (Begleitgruppe) von 48 auf 72-75 erhöht, später aus Aufwandgründen aber wieder auf 45-54

reduziert (Abbildung 3 und das Beispiel in Abbildung 7). Diese Veränderung geht nicht auf Kosten der wissenschaftlichen Aussagekraft.

- Die Probeflächen haben die Form von Kreisingen, deren Fläche von der zu erfassenden Grössenklasse der Verjüngungspflanzen abhängt (Abbildung 4).
- In Abweichung zum Antrag wird Verjüngung über 40 cm Höhe nicht flächig erfasst, sondern i.d.R. auf Probeflächen, da die Verjüngung teilweise zu zahlreich auftritt.
- Keimlinge (d.h. im Aufnahmejahr gekeimte Bäumchen) werden nicht erfasst.
- Die Erfassung der Dichte der Verjüngung nach Baumart und Grössenklasse wird von der demographischen Erfassung einzelner Verjüngungspflanzen abgekoppelt. Die Dichte wird auf ganzen Probekreisringen gezählt, die einzelnen Verjüngungspflanzen werden nur im 1. Quadranten dieser Probekreisringe vollständig erfasst.
- Pro Baumart und Grössenklasse wurde eine Zielanzahl für die demographische Erfassung von 10 Pflanzen pro Probefläche festgelegt (Vogelbeere: 5). Wird diese im 1. Quadranten nicht erreicht (s. letzter Punkt), dann wird im 2., 3. und 4. Quadranten und danach in den nächst grösseren Probekreisringen nach weiteren Pflanzen gesucht, bis die Zielanzahl erreicht bzw. der grösste Probekreisring ganz abgesucht ist. Diese Regel gilt nur für Fichte, Tanne, Vogelbeere, Buche und Bergahorn, für die eine genügende Anzahl von Verjüngungspflanzen für demographische Auswertungen in den VF vorkommen dürfte. Pflanzen aller weiteren Baumarten werden nur im 1. Quadranten des Probekreisrings individuell erfasst.

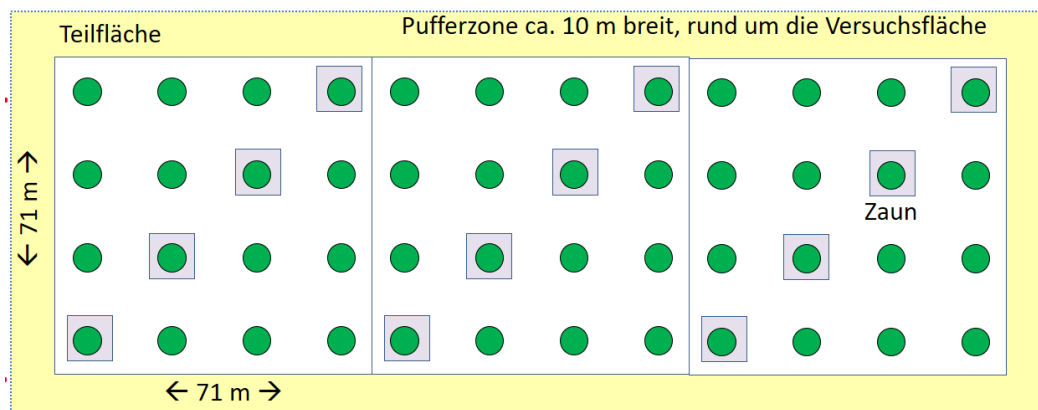


Abbildung 3. Schema der Lage der Probeflächen in den drei Teilflächen.

Datenauswertung: Die im Frühjahr vorliegenden Daten der VF Flüelen wurden in einer Bachelorarbeit ausgewertet (Fox 2021). Eine weiterführende Masterarbeit über 4 VF wurde ebenso abgeschlossen (Probst 2022). Diese Arbeiten fokussieren auf die Struktur der Verjüngung (Baumarten, Grössenklassen), auf die Häufigkeit der Kleinstandorte und auf den Einfluss des Kleinstandorts auf die Verjüngungsdichte von Verjüngungspflanzen.

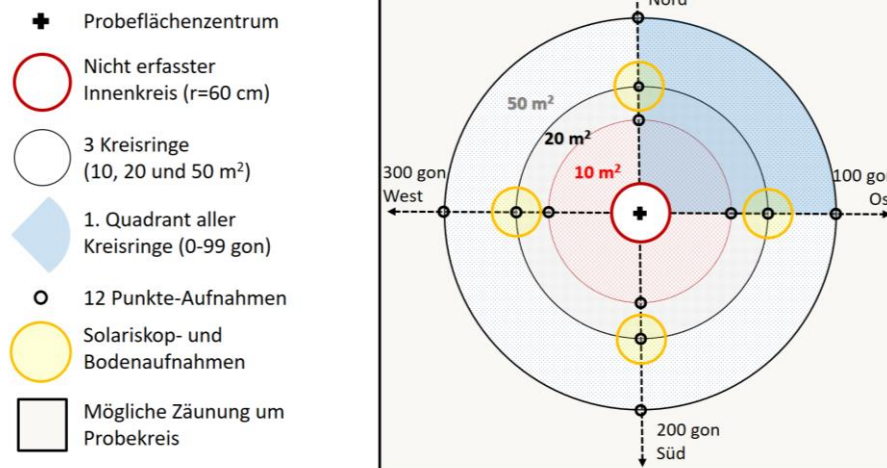


Abbildung 4. Probeflächendesign. PFZ = Probeflächenzentrum.

Inventurmerkmale: Die Details der Merkmale und des Vorgehens bei der Inventur auf den Probeflächen sind in mehreren versionierten **Inventuranleitungen** dokumentiert:

- Anleitung Versuchsflächeneinrichtung und ertragskundliche Inventur
- Anleitung Einrichtung des Probeflächenetzes
- Anleitung Verjüngungsinventur
- Anleitung Samenmastinventur
- Anleitung Totholzinventur
- Inventuranleitung für Flüelen und Lauterbrunnen (bei der Pilotinventur 2020 verwendet)

Diese Anleitungen stehen zurzeit in unterschiedlichen Stadien der Bearbeitung. **Die aktuellste Version der Inventuranleitungen wird (nach dem die Feldarbeit im November 2022 abgeschlossen wurde) im Februar 2023 fertig gestellt.**

Versicherung der Verjüngungspflanzen in der demographischen Aufnahme: Jede dieser Pflanzen (pro VF sind es bis jetzt 1800-3100) wurde mit Polarkoordinaten vom Probeflächenzentrum aus eingemessen und zudem mit einem Alulabel markiert, das an einem Hering aus rostfreien Stahl hängt. Dieser Aufwand zur Versicherung und Markierung wurde betrieben, weil aus anderen Studien bekannt ist, dass sonst ein erheblicher Anteil der Pflanzen nach wenigen Jahren unauffindbar ist. Um die Messung der Polarkoordinaten möglichst effizient durchführen zu können, wurde ein Azimutring aus Metall konstruiert (Abbildung 5).

Wahl der Versuchsflächen: Im Jahr 2020 suchten wir mit einer Umfrage bei den mitfinanzierenden kantonalen Waldämtern nach VF für die Langzeit-Experimente. Dazu diente ein ausführlicher Kriterienkatalog. Von über 40 gemeldeten Flächen besuchten wir 18 und wählten dann die 10 best geeigneten aus (Abbildung 2). Das Ziel, homogene, gut erschlossene und auf einem grossen Standortgradienten liegende VF in Tannen-Fichtenwäldern (Ausnahme: Lostallo, diese liegt in einem standörtlich sehr ähnlichen Tannen-Buchenwald) zu finden, konnte erreicht werden. Im Jahr 2021 wurde nachträglich eine Fläche in den nördlichen Randalpen durch eine in den Südalpen ersetzt, um den Standortgradienten zu erweitern. Die gewählten VF decken einen breiten Gradienten von Feuchtigkeit und Azidität ab (Abbildung 6).



Abbildung 5. Metallring, platziert über dem Probeflächenzentrum, zur raschen Messung des Azimuts jeder Verjüngungspflanze.

In Abweichung zur ursprünglichen Planung verzichteten wir auf VF in reinen Fichtenwäldern und schlossen auch Wälder mit starker Lärchen-Beimischung aus. Hätten wir solche VF akzeptiert, dann wäre die Tanne weniger gut vertreten gewesen und wir hätten zur Lärche nur Angaben aus wenigen VF gehabt und kaum verlässliche Aussagen treffen können. Der Einbezug bestehender Versuchs- und Beobachtungsflächen (Weiserflächen, Marteloskope, ertragskundliche Flächen) wurde geprüft, aber wegen schlechter Eignung verworfen (zu geringe Grösse, zu heterogene Bestände oder Standorte, keine Möglichkeit, die geplanten waldbaulichen Behandlungen durchzuführen).

Eine Tabelle mit Charakteristiken den gewählten VF zeigt die Dokumentation zur Flächenauswahl (Zaugg et al. 2020; Anhang V). Alle VF werden vertraglich für 30 Jahre gesichert. Zurzeit sind die Verträge für alle 10 VF beidseits unterzeichnet (Waldeigentümer/in, WSL).

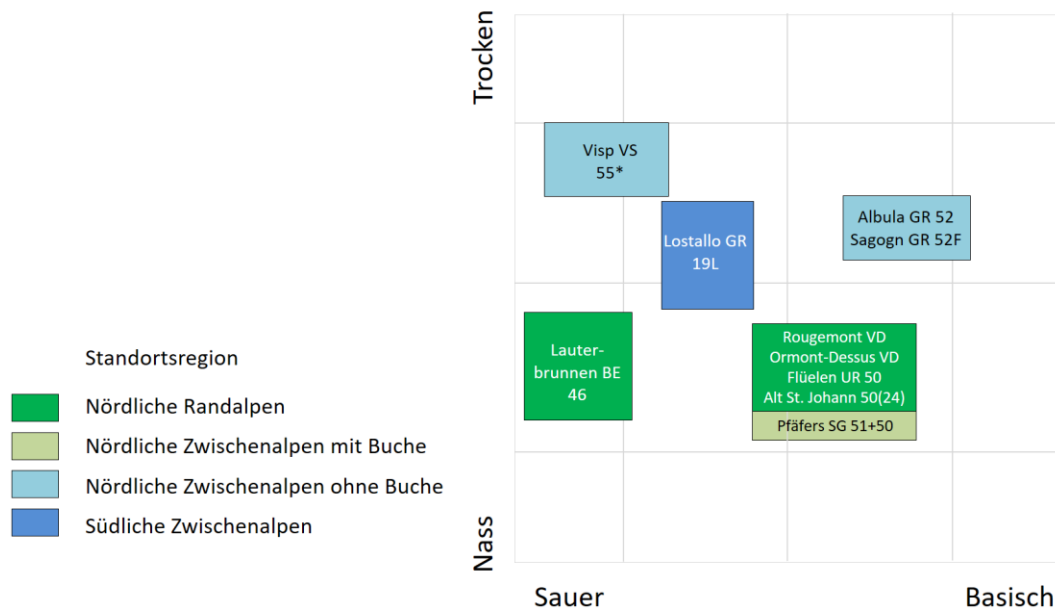


Abbildung 6. Lage der Standortstypen der Versuchsflächen im Ökogramm. Die Angaben beruhen auf der bestehenden Standortskartierung.

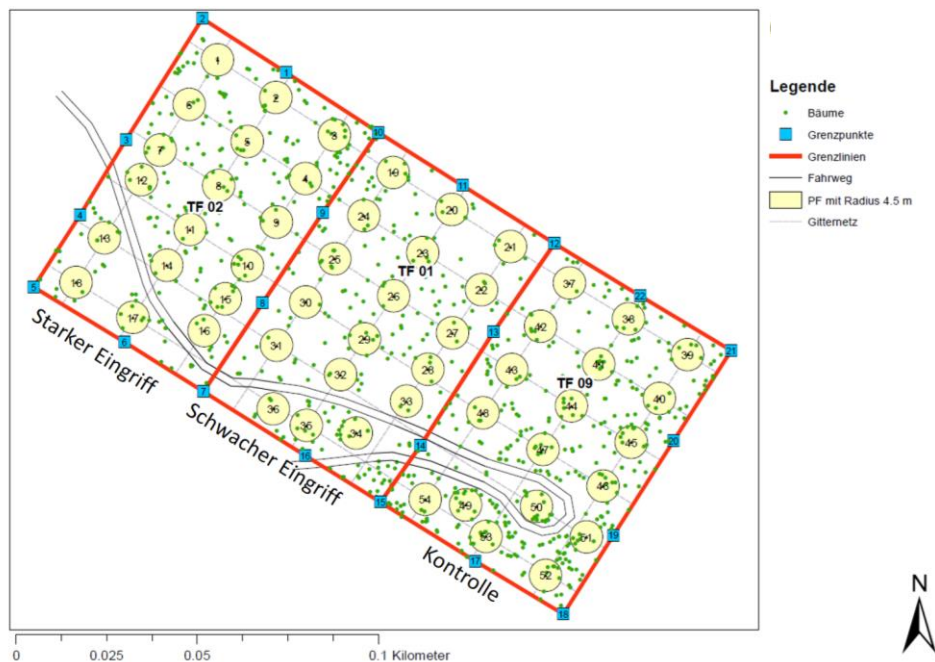


Abbildung 7. Lage der Probeflächen und Teilflächen in der Versuchsfläche Sagogn.

Die **Trägerorganisation** der Versuche ist ansatzweise etabliert. Wir wollen die bestehende Begleitgruppe (s. Impressum des Berichts) umbilden, so dass das BAFU und alle Standortkantone vertreten sind. Das BAFU (Abteilung Gefahrenprävention) konnte gewonnen werden, ein Folgeprojekt (2020-2023) zu finanzieren. Es ermöglicht die Einrichtung der restlichen 8 VF, wiederholte Inventuren der Verjüngung und Auswertungen. Im Weiteren beteiligen sich die Standortkantone der VF (BE, SG, GR, UR, VD, VS) stark; sie unterstützten uns bei der Flächenwahl und übernehmen die Finanzierung der Mehrkosten, die durch die Versuche für die Waldeigentümer

entstehen. Besonders aufwändig sind die Wildzäune, wovon pro VF ca. 10 x 40 lfm = 400 lfm zu erstellen und unterhalten sind.

Änderungen gegenüber der ursprünglichen Planung

Die Flächenwahl und die Methodenentwicklung erwiesen sich als wesentlich aufwändiger als geplant. Daher wurden bis Herbst 2020 nicht wie geplant 3 VF eingerichtet und aufgenommen, sondern nur diejenige in Flüelen (ganz) und teilweise die in Lauterbrunnen.

Es wurde auch entschieden, auf Messungen des Klimas in jeder VF zu verzichten. Messungen im Bestand hätten zu Messwerten geführt, die mit den üblichen Freiland-Messungen 2 m über Boden nicht vergleichbar sind. Langfristig wäre aber wünschenswert, einen Teil der VF mit Sensoren zu bestücken, v.a. was die Bodenfeuchtigkeit betrifft.

Fazit zum Modul «Waldbauliche Experimente»

Insgesamt wurden die meisten Arbeiten im Projekt in diesem Modul «Waldbauliche Experimente» geleistet. Trotz methodisch bedingter Verzögerungen wurden die Ziele dieses Moduls weitgehend erreicht. Die VF wurden gewählt und langfristig für das Projekt gesichert, und es wurde ein Design der Versuche und der Inventuren entwickelt, das aussagekräftige Ergebnisse zur Fragestellung verspricht. Dabei konnten Wege gefunden werden, um trotz der stark unterschiedlichen Dichte kleiner und grosser Verjüngungspflanzen und der unterschiedlichen Häufigkeit verschiedener Baumarten robuste Auswertungen für Fichte, Tanne, Bergahorn, Vogelbeere und Buche zu ermöglichen.

4 Langzeitkonzept zur Forschung zur Gebirgswaldverjüngung

Ziel dieses Projektteils (Modul 4) war gem. Antrag, «eine Roadmap zur langfristigen angewandten Forschung zur Gebirgswaldverjüngung zu erstellen und dabei Praxisbedürfnisse und Forschungskapazitäten zusammenzubringen».

Dieses Ziel wurde nicht erreicht, was die Forschung betrifft. Der Grund dafür lag nicht in erster Linie in der Corona-Pandemie, auch wenn diese den Austausch mit den Partnern erschwerte. Es fanden zwar bilaterale Diskussionen mit Dr. M. Lévesque (Waldbau-Dozent ETH Zürich) und mit mehreren KollegInnen an der WSL (Dr. T. Wohlgemuth, Dr. C. Fischer, Dr. P. Bebi und Dr. A. Kupferschmid) statt. Dabei zeigte sich, dass für die Diskussionspartner die Naturverjüngung ein Randthema ist und niemand darauf fokussiert. Auch an der HAFL wird das Thema v.a. punktuell im Rahmen von studentischen Arbeiten beforscht. Angesichts dieser Situation schien es nicht zielführend, diese Idee weiter zu verfolgen. Anzumerken ist auch, dass sich die Akteure ohnehin im Rahmen des Verbunds Waldbau Schweiz, in dem alle in waldbaulicher Forschung und Bildung in der Schweiz Tätigen vertreten sind, zwei Mal jährlich austauschen.

Die Bedürfnisse der PraxisvertreterInnen wurden im Rahmen der Erarbeitung des Konzeptpapiers zu Stammzahl-Sollwerten eingeholt (s. Modul 1), mit einem Workshop mit der Begleitgruppe und nachfolgender schriftlicher Konsultation, sowie durch Aufnahme der Anliegen des KOK-Ausschusses. Hier steht nun ein Praxistest der Stammzahl-Sollwerte mit Daten an, die die Waldämter der Kantone im Lauf der letzten Jahrzehnte gesammelt haben. Interesse an einem solchen Test haben folgende Kantone bekundet (Rückmeldung des Generalsekretärs der KOK, T. Abt vom 27.5.2021): BE, BL/BS, GE, GR, JU, LU, NE, SO, UR, VD, VS, ZH. **Dazu soll ein separates Projekt gestartet werden.**

5 Weitere Forschungsarbeiten

Als Begleitstudie betreute P. Nikolova eine Masterarbeit zur Naturverjüngung an der Technischen Universität München (Ambs 2020). Die dabei gewonnenen Erfahrungen flossen in Modul 3 ein. Eine Publikation aus dieser Masterarbeit ist weit fortgeschritten.

6 Massnahmen für den Wissenstransfer

Die Ergebnisse von Modul 1 (Referenzwerte für Verjüngung) wurden wie geplant in der Begleitgruppe des Projekts diskutiert und zudem der KOK vorgestellt. Eine Präsentation des gesamten Projekts ist im Rahmen der Sommertagung 2022 der Gebirgswaldpflegegruppe geplant.

Fachpublikationen für die Praxis: Hier wurde bis jetzt eine aus Modul 2 geschrieben (Kalt et al. 2021). Eine Publikation aus Modul 1 (Stammzahl-Sollwerte) scheint erst sinnvoll, wenn der Praxistest stattgefunden hat (s. oben).

Die Ergebnisse von Modul 1 wurden 11.1.2021 am Gebirgswaldkolloquium der Gebirgswaldpflegegruppe präsentiert, das Modul 3 wurde am 18.10.2021 an der Jahrestagung der Sektion Waldbau des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten vorgestellt.

Zudem wurde eine Projekt-Homepage erstellt und unterhalten ([Gebirgswaldverjüngung \(Phase II\) - Projekte - WSL](#)). Ein Update ist für den Frühling 2023 vorgesehen.

7 Zusammenfassende Würdigung der Projektergebnisse

Die wichtigsten Projektziele konnten erreicht werden. Im Modul 1 wurden in einem Konzeptpapier Indikatoren und Referenzwerte zur Gebirgswaldverjüngung vorgeschlagen. In einer Nachfolgestudie sollen diese Indikatoren getestet werden, wofür 12 Kantone Interesse bekundet haben. In Modul 2 wurden die Kenntnisse zum Verjüngungserfolg in grossen Bestandeslücken durch eine vertiefte Studie verbessert und publiziert. In Modul 3 wurden waldbauliche Langzeit-Experimente in Tannen-Fichtenwäldern gestartet und darin Pilotinventuren durchgeführt. Das Interesse der Waldämter und Förster an diesen Experimenten ist gross. Die Auswertung der Pilotinventuren ist im Gang. Die Finanzierung durch den WHFF und 7 Kantone erlaubte uns den Projektstart und war die Grundlage für eine Nachfolgefinanzierung durch das BAFU. Dieses Projekt ermöglicht es uns, die Naturverjüngung von Gebirgswäldern langfristig weiter zu bearbeiten und an der WSL zu verankern. In Modul 4 erwies es sich als nicht sinnvoll, die geplante Roadmap zur langfristigen angewandten Forschung zur Gebirgswaldverjüngung zu erstellen.

8 Projektablauf

Die starke Belastung des Projektleiters durch andere Drittmittelprojekte (v.a. die Tree App im Auftrag des BAFU) führte zu Projektverzögerungen, die durch die Corona-Situation ab Anfang 2020 noch akzentuiert wurden. Ansonsten verlief das Projekt wie geplant.

Die Erwägung in der Verfügung, die ETH und HAFL noch etwas besser einzubeziehen als nur durch studentische Arbeiten, erwies sich als nicht realisierbar (vgl. die Erklärungen zu Modul 4 in Kap. 4). Zu

berücksichtigen ist dabei, dass die entsprechenden Personen – aus verständlichen Gründen – nicht im nötigen Masse verfügbar sind. Zum Beispiel lieferten die Vertreter von ETH und HAFL kaum Input zum Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren (Modul 1).

9 Publikationen

Im Projekt entstandene Publikationen sind:

Ambs D. 2020. Regeneration dynamics in mixed mountain forests stands at their natural geographical distribution range in the western Rhodopes. Department for Ecosystem Research, Environmental Risk Assessment and Conservation Biology. Munich, Technical University of Munich. MSc thesis: 92 p.

Brang P. 2021. Anwendungsmöglichkeiten von Stammzahl-Sollwerten. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2 S.

Brang P, Nikolova P. 2021. Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren und -sollwerten. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 29 S.

Fox C. 2021. Bestimmende Faktoren für die Weiß-Tannen- (*Abies alba*), Fichten- (*Picea abies*) und Vogelbeeren- (*Sorbus aucuparia*) Naturverjüngung im Gebirgswald der Gemeinde Flüelen, Kanton Uri, Schweiz. Bachelorarbeit, Studiengang Forstwirtschaft. Rottenburg, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. 86 S.

Kalt T. 2019. Der Einfluss von Standortseigenschaften und Bestandesgeschichte auf die Naturverjüngung in Gebirgsnadelwäldern. Birmensdorf/Wädenswil: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL / ZHAW Wädenswil. 121 S.

Kalt T, Nikolova P, Ginzler C, Bebi P, Edelkraut K, Brang P. 2021. Kurzes Zeitfenster für die Fichtennaturverjüngung in Gebirgsnadelwäldern. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 172(3), 156-165. <https://doi.org/10.3188/szf.2021.0156>

Zaugg A, Lässig A, Nikolova P, Brang P. 2020. Projekt Gebirgswaldverjüngung: Dokumentation der Flächenauswahl. Interner Bericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 9 S. + Anhang.

Weitere im Schlussbericht zitierte Publikationen

Bernasconi A, Gubsch M, Hasspacher B, Iseli R, Stillhard J. 2014. Präzisierung Basis-Indikatoren Nachhaltigkeitskontrolle Wald. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Brang P, Nikolova P, Gordon R, Zürcher S. 2017. Auswirkungen grosser Verjüngungslücken im Gebirgswald auf Verjüngung und Holzzuwachs. Schlussbericht des Projektes Eingriffsstärke und Holzzuwachs im Gebirgswald. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 48 S. + Anhang. DOI: 10.3929/ethz-b-000184480.

Frehner M, Wasser B, Schwitter R. 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen im Schutzwald. Bern: Bundesamt Umwelt.

Anhänge:

Anhang I: Publikation Indikatoren zur Erfassung der Verjüngung (Brang, Nikolova & Allgeier Leuch, eingereicht am 30.01.2023 in SZF)

Anhang II: Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren und -sollwerten (Brang & Nikolova 2021)

Anhang III: Anwendungsmöglichkeiten von Stammzahl-Sollwerten (Brang 2021)

Anhang IV: Publikation (Kalt et al. 2021)

Anhang V: Projektdokumentation (Zaugg et al. 2020)

Anhang I

1 Indikatoren für die Beurteilung der Waldverjüngung

2 Peter Brang¹⁺, Petia Simeonova Nikolova^{1*}, Barbara Allgaier Leuch¹

3 ¹Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, CH-
4 8903 Birmensdorf

5 *Korrespondierender Autor: petia.nikolova@wsl.ch, Tel. 044 739 23 50

6

7 ⁺ 1963-2022

8 Rubrik Perspektiven

9 Abstract

10 In diesem Beitrag werden fünf Indikatoren für die Beurteilung der Waldverjüngung im
11 Grössenbereich zwischen 10 cm Höhe und 11,9 cm Brusthöhendurchmesser beschrieben und ihr
12 Anwendungsbereich umrissen: die Dichte (Stammzahl) von Verjüngungspflanzen, die mittlere Distanz
13 zwischen Verjüngungsansätzen, der Verjüngungsdeckungsgrad, der Flächenanteil mit/ohne
14 Verjüngung sowie die Verjüngungsfläche. Wo quantitative Informationen zur Verjüngung benötigt
15 werden, ist die Dichte von Verjüngungspflanzen der wichtigste Indikator, da sie reproduzierbar mit
16 Stichprobeninventuren erfasst werden kann und auch gut mit Erhebungen zum Wildeinfluss und zur
17 Verjüngungsgunst des Kleinstandorts kombinierbar. Bei spärlicher Verjüngung – also in Problemfällen
18 der Verjüngung – sind Dichten wichtig, weil sie das Ausmass des Verjüngungsproblems und bei
19 Wiederholungsaufnahmen seine zeitliche Entwicklung gut beschreiben. Ein dringender
20 Entwicklungsbedarf existiert in der Ausarbeitung von Stammzahl-Sollwerten und deren Überprüfung
21 in der Forstpraxis.

22

23 **Keywords:** forest regenerataion, thresholds, stem density, management options

24 Im Waldbau wird das Ziel verfolgt, gewünschte Waldleistungen mit möglichst wirksamen und
25 kostengünstigen Eingriffen zu erreichen. Waldbauliche Entscheide über die nächste Baumgeneration
26 sind dabei von grosser Bedeutung. Mit ihnen werden die Ressourcen (Waldfläche, Boden) auf lange
27 Sicht in bestimmte Baumarten «investiert», mit Folgen für die zukünftigen Waldleistungen. Daher
28 wurde seit 2012 die Absicht konkretisiert, die Nachhaltigkeitsindikatoren für den Schweizer Wald mit
29 der «Verjüngungssituation» als 14. Basisindikator zu ergänzen (Gollut & Rosset 2018). Im neu
30 erschienenen Bericht des Bundesrats (2022) «Anpassung des Waldes an den Klimawandel» wird die
31 Waldverjüngung als zentrales Instrument für die Sicherung der Resilienz und der Biodiversität
32 angesichts des Klimawandels gesehen. Entsprechend soll die Naturverjüngung des Schweizer Walds
33 über konsolidierte Indikatoren und Sollwerte bewertet und wo notwendig durch angepasste
34 Managementmassnahmen sichergestellt werden.

35 In vorliegendem Artikel machen wir eine Auslegeordnung möglicher Indikatoren der Waldverjüngung
36 und beschreiben die Möglichkeiten und Probleme bei deren Anwendung. Wir fokussieren dabei auf
37 die Verjüngung an sich und nicht auf den Wildeinfluss auf die Verjüngung (Kupferschmid & Gmür
38 2020).

39 **Wann ist eine Beurteilung der Verjüngung notwendig?**

40 Die Verjüngung ist in unterschiedlichen Entscheidungssituationen zu beurteilen:

- 41 1. Festlegung adäquater waldbaulicher Eingriffe zur Erreichung von Verjüngungszielen, inkl.
42 Einschätzung des Potenzials der vorhandenen Vorverjüngung und Erfolgskontrolle einige Jahre nach
43 dem Verjüngungshieb in zu verjüngenden Beständen (im gleichförmigen Hochwald) bzw. in
44 Überführungsbeständen und im Plenter-/Dauerwald.
- 45 2. Festlegung adäquater waldbaulicher Eingriffe zur Erreichung von waldbaulichen Zielen in
46 verjüngten Jungwüchsen oder auf Störungsflächen.
- 47 3. Ableitung von Handlungsprioritäten, z.B. in der Schutzwaldpflege auf Ebene Waldkomplex, Betrieb,
48 Region oder Kanton.

49 4. Entscheidungsgrundlage für die jagdliche Planung.

50 **Informationsbedarf**

51 In allen Entscheidungssituationen braucht es Informationen zur heutigen Verjüngung (Istzustand,
52 Istwert) sowie Zielvorstellungen (Sollwerte wie z.B. Minimal- oder Ideal-Anforderungen der
53 Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald, NaiS; Frehner et al. 2005/2009) zur
54 Verjüngung. Die Sollwerte müssen sich an Überlegungen orientieren, wie sich eine Verjüngung bis
55 zum Stadium der gesicherten Verjüngung (d.h. Bäumchen grösser als 130 cm und dünner als 12 cm)
56 bzw. langfristig bis Ende der Jungwaldphase entwickeln dürfte. Einzuschliessen ist dabei auch eine
57 Sicherheitsmarge für Gefährdungen der Verjüngung im Zeitraum während der Verjüngungsphase.
58 Dabei hängen die Ansprüche an die Verjüngung von der Entwicklungsstufe eines Bestandes ab; in
59 gewissen Entwicklungsstufen ist keine oder nur sehr wenig Verjüngung nötig. Ob ein festgestelltes
60 Verjüngungsdefizit (Differenz zwischen Istwert und Sollwert) einen Handlungsbedarf auslöst, hängt
61 davon ab, wie hoch die Kosten für dessen Behebung sind und wie die Konsequenzen eines
62 Nichthandelns eingeschätzt werden.

63 Die Istzustände werden geschätzt oder in Inventuren quantitativ erfasst. Die Entwicklung von
64 Zielvorstellungen zur Verjüngung erfordert folgende Informationen:

- 65 – Geforderte bzw. gewünschte Waldleistungen (z.B. Holzproduktion, Schutz gegen
66 Naturgefahren)
- 67 – Waldstandort (z.B. in Form des Standorttyps)
- 68 – Standörtlich passende Baumarten (z.B. in Form einer Baumartenliste)
- 69 – Verjüngungssollwerte in Abhängigkeit von Standort und Entwicklungsstufe (z.B. in Form einer
70 Mindeststammzahl) sowie der räumlichen Bezugsebene.

71 **Herkunft der benötigten Informationen**

72 Vorgaben zu den geforderten bzw. gewünschten Waldleistungen kommen aus den Absichten des
73 Waldeigentümers und den Vorgaben von Bund und Kanton (z.B. bezüglich Schutzwald), die in der

74 kantonalen, regionalen und betrieblichen Waldplanung Niederschlag finden. Standortinformationen
75 in Form von Beschreibungen der Waldstandorte liegen in allen Kantonen vor; in manchen Kantonen
76 sind die Standorttypen teilweise oder flächendeckend kartiert. Die Beschreibung der Waldstandorte
77 erlaubt es, die Standorte zu bestimmen und daraus die standörtlich passenden Baumarten
78 abzuleiten. Falls der Standorttyp bekannt ist, gibt es in der ganzen Schweiz Baumartenempfehlungen
79 für das Klima der Periode 1961–1990 und für zwei Klimazukünfte der Periode 2070–2099 (Frehner et
80 al. 2018, Gubelmann et al. 2019).

81 Am meisten mangelt es an standortspezifischen Mengenangaben der Verjüngung. Heute wird die
82 Verjüngung meist gutachtlich beurteilt (Fehr et al. 2019) und im besten Fall mit Sollwerten
83 verglichen, die sich z.B. auf die Deckung der Verjüngung beziehen (Frehner et al. 2005); eine
84 Ausnahme sind Verjüngungsinventuren zur Beurteilung des Wildhuftiereinflusses (Gollut & Rosset
85 2018). Eine gutachtliche Beurteilung der Verjüngung ist in vielen Fällen angemessen genau, v.a. wenn
86 die Verjüngung sehr reichlich aufkommt (wie oft in Tieflagen). Die Subjektivität der Beurteilung kann
87 dabei durch Standardisierung vermindert werden (Fehr et al. 2019).

88 In manchen Entscheidungssituationen kann die mit einer gutachtlichen Einschätzung verbundene
89 Subjektivität aber problematisch sein. Objektive Informationen sind erstens nötig, wenn unsicher
90 bzw. umstritten ist, ob ein Verjüngungsmangel vorliegt, zweitens wenn man den Handlungsbedarf
91 objektiv begründen will und drittens, wenn man eine Entwicklung genau verfolgen möchte (auch
92 wenn die Verjüngung im Moment ausreicht). Objektive Informationen dienen als Grundlage für oder
93 gegen kostspielige Entscheide, auch solche anderer Akteure (hier häufig von Wildtiermanagern).

94 Qualitative (gutachtliche) und quantitative Verfahren zur Verjüngungsbeurteilung (Erfassung des
95 Istzustandes) sollten so angewendet werden, dass die Ergebnisse aussagekräftig (valide) und
96 reproduzierbar sind. Für die Erfassung des Wildhuftiereinflusses liegen aus der Schweiz Anleitungen
97 vor (Fehr et al. 2019), und gerade in letzter Zeit wurden hier neue Verfahren entwickelt
98 (Kupferschmid & Gmür 2020). Diese Verfahren fokussieren allerdings auf den Wildhuftiereinfluss. Sie

99 beantworten die Frage nicht, wie viel Verjüngung welcher Grösse, Dichte,
100 Baumartenzusammensetzung und räumlicher Verteilung erforderlich ist.

101 **Mögliche Verjüngungsindikatoren**

102 Aussagekräftige Verjüngungsindikatoren sollten – im Idealfall – kostengünstig zu erheben und eine
103 Grundlage für die Beantwortung folgender Fragen sein:

104 1. Sind die Baumarten in der Verjüngung standortgerecht und entspricht ihre Zusammensetzung dem
105 Verjüngungsziel?

106 2. Ist die Verjüngung angesichts des aktuellen Waldzustands dicht genug, und sind allfällig
107 vorhandene Leerstellen (verjüngungsfreie Flächen) für die angestrebten Waldleistungen akzeptabel?

108 3. Wie stark behindern oder gefährden abiotische oder biotische Einflussfaktoren die Verjüngung?
109 Diese Frage ist v.a. dann wichtig, wenn die Verjüngung bzgl. Baumartenzusammensetzung nicht
110 standortgerecht, zu wenig stammzahlreich oder zu lückig zu sein scheint.

111 Bei wiederholter Erfassung eines Indikators stellt sich zudem die Frage nach dessen zeitlicher
112 Entwicklung:

113 4. Hat sich die Verjüngung (oder ein Hindernis für sie) im Vergleich zur letzten Beurteilung in die
114 gewünschte Richtung entwickelt, und wenn nein, weshalb nicht?

115 Bisher wurden mehrere Indikatoren zur Beurteilung der Verjüngung herangezogen:
116 Verjüngungsdichte (Stammzahl pro Hektare), mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen,
117 Deckungsgrade und der Anteil unbestockter Flächen (Fokus auf Leerstellen) bzw. der Flächenanteil
118 mit/ohne Verjüngung. Zudem wird im gleichförmigen Hochwald die Verjüngungsfläche als Indikator
119 verwendet, v.a. auf Betriebsebene. Jeder dieser Indikatoren hat Vor- und Nachteile (Tabelle 1). Bei
120 den meisten sind gewisse Sollwerte vorhanden; sie sind allerdings nicht gut empirisch begründet.
121 Weitere zuweilen benutzte Indikatoren sind die Baumartenzusammensetzung in der Verjüngung (z.B.

122 NaiS-Beurteilung) und die Präsenz von Verjüngungshindernissen (z.B. verdämmende
123 Konkurrenzvegetation) bzw. geeigneten Kleinstandorten für die Ansamung.

124 **Einschätzung der Verjüngungsindikatoren**

125 **1. Verjüngungsdichte**

126 **Aussagekraft:** Die Verjüngungsdichte (Stammzahl pro Hektare) als Zielgrösse erlaubt präzise
127 Aussagen zur Dichte, zur Grösse und zur Baumartenzusammensetzung und in Kombination mit
128 Waldstandortinformationen auch zur Standorteignung der Verjüngung. Sie ist auch gut mit
129 Erhebungen zum Wildeinfluss und zur Verjüngungsgunst des Kleinstandorts kombinierbar. Bei
130 spärlicher Verjüngung – also in Problemfällen der Verjüngung – sind Dichten wichtig, weil sie das
131 Ausmass des Verjüngungsproblems und bei Wiederholungsaufnahmen seine zeitliche Entwicklung
132 gut beschreiben.

133 **Erhebungsverfahren:** Die Dichte wird meist über aufwändige Stichprobenverfahren ermittelt, wobei
134 die Bäumchen auf konzentrischen Probekreisen nach Baumart und Grössenklasse ausgezählt werden
135 oder die Distanz einer fixen Anzahl Bäumchen zum Probekreiszentrum gemessen wird (k-Baum-
136 Stichprobe). Bei hohen lokalen Verjüngungsdichten ab rund 10'000/ha, bei denen die Genauigkeit
137 ohnehin eine geringe praktische Rolle spielt, ist die Auszählung der Verjüngungspflanzen auf
138 Probeflächen besonders zeitaufwändig. Dem kann durch Verkleinerung der Probeflächen nicht
139 begegnet werden, weil ansonsten viele Probeflächen keine Verjüngung aufweisen würden. Auch
140 sollte man bei der Inventur keine Abbruchkriterien bei Erreichen bestimmter Stammzahlen pro
141 Probefläche verwenden, weil das die Ergebnisse verzerrt. Eine wenig aufwändige Lösung bietet die k-
142 Baum-Stichprobe (Huber et al. 2018, Kupferschmid & Gmür 2020), die ähnlichen Ergebnisse wie eine
143 Inventur mit fixen Probekreisen liefert. Ihre höhere Effizienz bei grossen Dichten wird mit einer
144 akzeptabel geringeren Genauigkeit der Dichteschätzung erkaufte.

145 **Übermässiger Einfluss von lokal hoher Dichte:** Im Fall von Probekreisen beeinflussen Probeflächen
146 mit grosser Dichte nicht nur den Inventuraufwand, sondern auch die Auswertung erheblich, indem

147 sie die Mittelwerte stark erhöhen. Abhilfe bei der Auswertung schaffen das Kappen von
148 Extremwerten mit hohen Stammzahlen oder die Verwendung von Quantilen, die von Extremwerten
149 nicht beeinflusst werden. Um nicht Inventurressourcen für eine volatile Phase der Verjüngung zu
150 verschwenden, wird manchmal auf die Erfassung von Ansamung verzichtet. Einen direkteren Bezug
151 zum Erreichen von Verjüngungszielen hat die Verjüngung ab Aufwuchs (40–129 cm Höhe) bzw.
152 Nachwuchs (>130 cm Höhe bis 11.9 cm BHD; «gesicherte» Verjüngung). Robuste Belege für das
153 Überleben von Auf- und Nachwuchspflanzen und ihre Chance, zu adulten Bäumen heranzuwachsen,
154 fehlen zwar weitgehend, aber es ist plausibel, dass Bäumchen umso eher aufwachsen können, je
155 grösser sie bereits geworden sind. Bei unterschiedlichem Wuchsgang von Baumarten (z.B.
156 raschwüchsigen dominanten Pionierbaumarten und langsamwüchsigen Klimaxbaumarten) sollte
157 sichergestellt sein, dass trotzdem genug Information zu den kleineren Bäumchen der
158 Klimaxbaumarten erfasst wird.

159 **Erfassung von Sämlingen und seltenen Baumarten:** Aus der Praxis werden auch Informationen zu
160 kleinen Pflanzen (z.B. Ansamung unter 10 cm Höhe) und zu seltenen Baumarten (z.B. Eibe)
161 gewünscht (Attenberger & Eigenheer 2016). Die Erfassung der Dichte von Sämlingen (< 10 cm Höhe)
162 liefert Informationen über das Samenangebot, die Ansamungsgunst der Standorte und gibt, wenn
163 Baumarten nur als Sämlinge, nicht aber im An- und Aufwuchs vorhanden sind, Hinweise auf
164 möglichen Totverbiss. Die Erfassung kleiner Pflanzen kann so zum Verständnis des Potenzials und der
165 Gefährdung der Verjüngung beitragen. Kleine Pflanzen lassen sich gut in übliche
166 Stichprobenverfahren integrieren (z.B. in die Probekreisverfahren oder die k-Baum-Stichprobe).
167 Wenn nur deren Präsenz nach Baumarten interessiert, kann auch nur die Präsenz in
168 Stichprobenverfahren erfasst oder flächig geschätzt werden. Repräsentative Informationen zu
169 seltenen Baumarten lassen sich aber mit kleinen Probeflächen in systematischen Gitternetzen nicht
170 gewinnen. Bei der k-Baum-Methode kann der Radius je nach Verjüngungsdichte bis zur maximalen
171 Suchdistanz erweitert werden, so dass seltenere Baumarten besser erfasst werden können. Dasselbe
172 gilt auch für Baumarten, die in bestimmten Grössenklassen selten auftreten.

173 **Samenbäume:** Auch die Absenz von Samenbäumen kann zum Fehlen von Naturverjüngung führen.
174 Die Erfassung von Samenbäumen im Rahmen von Probeflächenverfahren ist allerdings
175 zeitaufwändig, weil Samenbäume auch über 50 m weit entfernt stehen können und unklar ist, wie
176 viele Samenbäume erforderlich sind.

177 **2. Mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen**

178 Der Indikator «Mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen» ist eine Variante des Indikators
179 «Verjüngungsdichte». Er taugt bei stark geklumpter Verjüngung in Hochlagenwäldern für grobe
180 Aussagen mit minimalem Aufwand und wird in NaiS verwendet. Es gibt unseres Wissens keine
181 Studien zur Reproduzierbarkeit der Schätzungen und, ausser in einer Masterarbeit (Buchli 1997),
182 auch keine Versuche, den Indikator quantitativ zu erfassen, wahrscheinlich weil Verjüngungsansätze
183 räumlich oft sehr unregelmässig verteilt sind. Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

184 **3. Verjüngungsdeckungsgrad**

185 Der Deckungsgrad der Verjüngung als Mass für die Menge der Verjüngung wird in NaiS (in tieferen
186 Lagen) und im Landesforstinventar (LFI) verwendet (s. z.B. Brang & Duc 2002 und auch Brändli et al.
187 2020). Er hat einen direkten Flächenbezug, indem grosse Pflanzen wesentlich grössere Flächen
188 abdecken als kleine und damit den Deckungsgrad ohne weitere Gewichtung nach ihrer Grösse viel
189 stärker beeinflussen als kleine Pflanzen. Der Deckungsgrad ist rasch geschätzt, aber eher schlecht
190 reproduzierbar. Deckungsgrade nach Grössenklassen und Baumarten zu schätzen, dürfte noch
191 anspruchsvoller und noch weniger reproduzierbar sein. Die Schätzmethode ist auch relativ unscharf,
192 weil kleine Bäumchen (z.B. eine Weisstanne) nur eine sehr geringe Deckung aufweisen, aber hier
193 teilweise die gesamte Fläche als gedeckt betrachtet wird, die durch einen Kreis mit Mittelpunkt =
194 Stammzentrum und mit Radius = längster Seitenast gebildet wird (vgl. Abbildung 1).

195 **4. Flächenanteil mit/ohne Verjüngung**

196 Dieser Indikator fokussiert entweder auf Leerstellen oder auf den mit Verjüngung bestockten
197 Flächenanteil. Im Fall der Leerstellen ist die Grundidee, in einem Stichprobennetz Probeflächen einer

198 bestimmten Grösse (z.B. 60 m²) zu erfassen und daraus abzuleiten, welcher Flächenanteil unbestockt
199 ist bzw. Leerstellen aufweist. Das Verfahren scheint gut geeignet zu sein für relativ dichte
200 Verjüngungen mit Leerstellen, die eventuell zu gross sein könnten. Effizienter dürfte in diesem Fall
201 aber die direkte Ausmessung dieser Leerstellen (z.B. mit einem GPS und ihre Dokumentation in GIS)
202 oder die okulare Schätzung deren Grösse zu sein. Die erfassten «Leerstellen» müssen nicht absolut
203 frei von Verjüngungspflanzen sein, sondern können auch ohne Pflanzen einer erwünschten
204 Dimension oder Baumart sein.

205 Im Fall des Flächenanteils mit Verjüngung kommt die k-Baum-Stichprobe zum Zug (Kupferschmid &
206 Gmür 2020). Mit dieser Methode kann einerseits die Dichte mit einem «unbekannten», in der Regel
207 kleinen Schätzfehler berechnet werden. Andererseits ist auch, asymptotisch ohne Bias, der Anteil von
208 Flächen mit bestimmten Eigenschaften erfassbar: z.B. der Anteil der Flächen mit Verjüngung, mit
209 Verjüngung einer bestimmten Grössenklasse, mit Verjüngung einer bestimmten Grössenklasse und
210 Baumart, mit Verbiss usw.

211 **5. Verjüngungsfläche**

212 Dieser Indikator ist auf Bestandesebene und in ungleichförmigen Beständen nicht anwendbar. Im
213 Femelschlagwald gibt er auf Ebene Forstbetrieb (oder darüber) Informationen darüber, ob die
214 Verjüngungstätigkeit während der letzten (meist 2–3) Jahrzehnte in dem Sinn ausreichend war, dass
215 sie langfristig zu einer zeitlich wenig schwankenden Holznutzung führt. Zur Erhebung der
216 Verjüngungsfläche werden zwei Verfahren verwendet:

217 1) die Flächen der Entwicklungsstufen Jungwuchs/Dickung und Stangenholz I (z.B. gemäss
218 Bestandeskarte) werden aufsummiert und in Beziehung zur Gesamtfläche gesetzt. In einem
219 nachhaltig bewirtschafteten Wald sollte dieses Verhältnis dem Verhältnis zwischen mittlerer
220 Durchwuchszeit durch Jungwuchs/Dickung und Stangenholz I und der mittleren Umtriebszeit
221 entsprechen.

222 2) die in einer Periode von üblicherweise 10 Jahren verjüngten Bestände werden aufsummiert und
223 mit der nachhaltigen Verjüngungsfläche verglichen werden. Letztere ergibt sich wiederum als
224 Quotient der betrachteten Waldfläche und der mittleren Umtriebszeit. Die mittlere Umtriebszeit
225 wird aus waldbaulichen Zielvorstellungen abgeleitet und berechnet sich aus den flächengewichteten
226 Umtriebszeiten pro Baumart. In der praktischen Anwendung gibt der Vergleich zwischen der
227 effektiven und der nachhaltigen Verjüngungsfläche (Schütz 2003) Hinweise darauf, ob eher zu grosse
228 oder zu wenige Waldflächen verjüngt werden.

229 **Beispiele der Anwendung von Verjüngungsindikatoren**

230 Die Verjüngungsindikatoren sind in den verschiedenen Entscheidungssituationen auch verschieden
231 anzuwenden. Hier zeigen wir beispielhaft die vier häufigsten Ursachen, die Erhebungen der
232 Verjüngung in der Praxis verlangen.

233 Anwendungsfall 1), «Zu verjüngender Einzelbestand»: Bei der Festlegung von waldbaulichen
234 Eingriffen in Verjüngungsbeständen im gleichförmigen Hochwald, in Überführungsbeständen oder im
235 Plenter- und Dauerwald ist die Vorverjüngung zu beurteilen. Dazu reicht eine gutachtliche
236 Einschätzung (*Deckungsgrad, Distanz zwischen Verjüngungsansätzen*), weil die Vorverjüngung
237 ohnehin als Folge des Eingriffs durch Nachverjüngung ergänzt wird. Wichtig ist dabei oft die lokale
238 Präsenz besonders erwünschter Baumarten, die durch den Eingriff gefördert werden sollen, und die
239 Einschätzung des Huftiereinflusses auf die Vor- und die erwartete Nachverjüngung. Hierbei sind
240 bereits Sämlinge wichtig, weil sich an ihnen das Verjüngungspotenzial ablesen lässt. Die
241 Erfolgskontrolle des Eingriffs sollte erst dann erfolgen, wenn sich die Nachverjüngung einstellen
242 konnte, was – in höher gelegenen Gebirgswäldern – oft 20 Jahre und mehr dauern kann. Auch hier
243 genügen i.d.R. *gutachtliche Verfahren*.

244 Anwendungsfall 2), «Ableitung von Handlungsprioritäten im Schutzwald»: Für die besonders
245 wichtigen Schutzwälder (Abbildung 2), in denen nicht eindeutig genug Verjüngung vorhanden ist und
246 zur Sicherung der Schutzwirkung allenfalls Massnahmen wie Verbissschutz und/oder Pflanzung

erforderlich sind, empfehlen wir Stichprobeninventuren der *Verjüngungsdichte* auf Probeflächen (mit fixem Radius oder k- Baum-Methode) mit Anwendung von Stammzahl-Sollwerte. Wichtig ist dabei, dass ein Unterschreiten von Sollwerten nicht einfach Handlungsbedarf auslöst; in vielen Fällen muss man der Verjüngung einfach die nötige Zeit zur Etablierung geben. In wichtigen Schutzwäldern kann auch die Kartierung von *verjüngungsfreien Flächen* wichtige Informationen liefern. Zur Interpretation der Ergebnisse sollten mit Stichprobeninventuren erfasste Wälder ergänzend auch gutachtlich beurteilt werden. Wenn in Schutzwäldern eindeutig genug Verjüngung vorhanden zu sein scheint, reicht es, den *Deckungsgrad* zu schätzen oder, wenn die Verjüngung stark geklumpt auftritt, für die Schutzwirkung relevante *Leerstellen* zu dokumentieren. Wenn unklar ist, ob die Verjüngung dicht genug ist, sollten quantitative Verfahren zum Einsatz kommen: Stichprobeninventuren zur Erfassung der *Dichte* oder das Dokumentieren der *Leerstellen*. Wenn die Verjüngung stark geklumpt auftritt, kann die *Dichte von Verjüngungsansätzen* geschätzt und es können *Leerstellen* erfasst werden.

Anwendungsfall 3), «Grossflächige Beurteilung der Verjüngungssituation», z.B. zur Ableitung von Handlungsprioritäten in der Schutzwaldpflege: Bei solchen Beurteilungen sollen zunächst nicht verjüngungsrelevante Bestände (bzw. Probeflächen) ausgeschlossen oder separat ausgewertet werden. Zu beachten ist, dass in verjüngungsrelevanten Beständen die Sollwerte zwischen Probeflächen variieren können, weil z.B. die Bestandesstruktur variiert. Der Vergleich von mittleren mit der Grössenklasse gewichteten Stammzahlen mit Sollwerten ist daher nicht zielführend, auch wenn Extremwerte der Stammzahl eliminiert werden. Bei Probeflächenverfahren kann als Zusatzinformation bei nicht zielkonformer Baumartenzusammensetzung ergänzend geprüft werden, ob in der nahen Umgebung (die maximale Suchdistanz ist zu definieren) die fehlenden Baumarten in der Verjüngung vorhanden bzw. entwicklungsfähig sind (ja/nein).

Anwendungsfall 4), «Jagdliche Planung»: Bei der Beurteilung des Wildeinflusses in einem Wildraum, einer Region oder im Kanton als Entscheidungsgrundlage für die jagdliche Planung sind gutachtliche Verfahren einsetzbar. Falls der Handlungsbedarf aus forstlicher Sicht gross scheint und trotzdem umstritten ist, sind quantitativ abgestützte Verfahren einzusetzen, d.h. Stichprobeninventuren. Das

273 von Kupferschmid et al. (2019) vorgeschlagene Verfahren, das auf der k-Baum-Stichprobe basiert,
274 scheint uns dabei wegen der Aussagekraft bzgl. Auswirkungen auf die Baumartenzusammensetzung
275 (Entmischung) und der Effizienz am geeignetsten. Es liefert *auch Stammzahlen* und damit die
276 Grundlage für Vergleiche mit Stammzahl-Sollwerten.

277 Stichprobeninventuren ermöglichen bei Erfassung von Zusatzinformationen (zum Mikrostandort)
278 auch qualifizierte Aussagen darüber, welche Faktoren die Stammzahl und die
279 Baumartenzusammensetzung beeinflussen. Dies erlaubt es besser einzuschätzen, wie weit der
280 Huftiereinfluss tatsächlich ein Problem ist. Die von Kupferschmid et al. (2019) sowie von
281 Kupferschmid & Gmür (2020) vorgeschlagenen Indikatoren (Verbissstärke, verbissbedingter
282 Höhen(zuwachs)verlust, Durchwuchszeit, wenn möglich auch verbissbedingte Mortalität) liefern z.B.
283 relevante Zusatzinformationen zur Verbisshäufigkeit.

284 **Weiterer Entwicklungsbedarf**

285 Ein dringender Entwicklungsbedarf existiert der Ausarbeitung und der Überprüfung der Sollwerte, die
286 mit dem Indikator Verjüngungsdichte verbunden sind. Die Anwendung dieses Indikators erfordert das
287 Durchführen von Stichprobeninventuren, was aufwändig ist und auf wichtige Einzelfälle (z.B.
288 Indikatorflächen, besonders wichtige Schutzwälder) oder Regionalinventuren beschränkt bleiben
289 dürfte. Die WSL führt seit 2018 Projekte durch, die auch auf die Herleitung von Stammzahl-
290 Sollwerten ausgerichtet sind (Abbildung 3). Die anhand von LFI-Daten konstruierten provisorische
291 Stammzahl-Sollwerte sind differenziert nach Waldstruktur (Plenter-/ Dauerwald vs. gleichförmige
292 Verjüngungsbestände, Überführungsbestände und Störungsflächen), Höhenstufe (kollin bis
293 hochmontan vs. subalpin und obersubalpin), Waldleistung (Schutzwald vs. Nichtschutzwald) und
294 gewichtet für verschiedene Grössen der Verjüngungspflanzen (Brang & Nikolova, 2020). In einem
295 nächsten Schritt ist ein Projekt in Planung mit dem Ziel, die provisorischen Stammzahl-Sollwerte nach
296 den häufigsten NaiS-Standorttypen zu differenzieren. Es ist vorgesehen, die Stammzahl-Sollwerte vor
297 breiter Anwendung zu verifizieren, v.a. mit LFI- und kantonalen Verjüngungsdaten, aber auch durch

298 Vergleich mit anderen Sollwerten. Erst dann werden diese Sollwerte als vorläufiges Ergebnis für
299 Praxistests freigegeben. Die Plausibilität des Resultats der Beurteilung sollte dann von Expert/innen
300 vor Ort verifiziert oder mithilfe von Simulationsmodellen (z.B. ForClim) für diverse Bestände geprüft
301 werden.

302 Bei den gutachtlichen Verfahren empfehlen wir, den Vorschlägen von Fehr et al. (2019) zu folgen.
303 Wir vermuten, dass auch gutachtliche Verfahren noch weiterentwickelt werden können. Denkbar ist
304 ein Set von beobachtbaren qualitativen Indikatoren, deren Kombination die Diagnose erleichtern
305 könnte.

306 Die hier vorgeschlagenen Indikatoren können nicht alle Praxisfragen zur Verjüngung beantworten.
307 Zum Beispiel liefern sie *per se* keine Information zu den Gründen für Verjüngungshindernisse. Dazu
308 braucht es in Stichprobeninventuren erhobene Zusatzdaten oder gutachtliche Einschätzungen, z. B.
309 zu dem Auftreten von Hochstauden, Moderholz, der Präsenz von Samenbäumen oder den
310 Lichtverhältnissen. Auch Totverbiss kann damit nicht nachgewiesen werden. Die Indikatoren und
311 Sollwerte können aber helfen, die waldbauliche Argumentation bei Verjüngungsentscheiden
312 quantitativ zu untermauern und damit nachvollziehbarer zu machen.

313

314

315

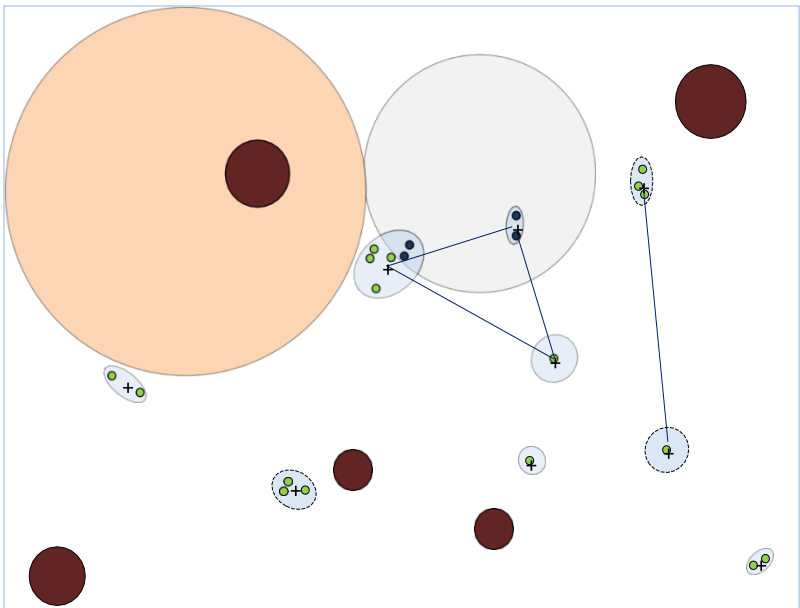
316

317

318

319

320



Legende






	Stamm
	Leerstelle in der Verjüngung
	Verjüngungspflanze
	Von Verjüngung beschirmte Fläche
	Verjüngungsansatz Zentrum
	Strecke zwischen Verjüngungsansätzen
	Probefläche
	Verjüngungspflanze in der Probefläche

Abbildung 1. Schematische Darstellung von Verjüngungsindikatoren. Die Dichte wird abgeleitet aus in Probeflächen (graue Kreise) erfassten Verjüngungspflanzen (in Schwarz) oder aus Distanzen zwischen einem Probeflächenzentrum und den k nächsten Bäumchen ($k \geq 2$; nicht dargestellt). Die mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen wird geschätzt (4 Distanzen in Schwarz dargestellt). Der Verjüngungsdeckungsgrad wird geschätzt, indem von Verjüngung (in Schwarz und in Grün) beschirmte Flächen (blaue Kreise) aufsummiert werden. Leerstellen einer bestimmten Mindestgröße (orange Kreise) werden geschätzt. Nicht dargestellt sind die Indikatoren Flächenanteile mit/ohne Verjüngung und die nachhaltige Verjüngungsfläche.



333

334 Abbildung 2: Ist genug Verjüngung im Schutzwald? Die Antwort ist wichtig für Mensch und

335 Infrastruktur, Albula GR. Foto: P. Nikolova

336

337

338

339

340



341

342 Abbildung 3: Im Projekt «Gebirgswaldverjüngung» ([Gebirgswaldverjüngung \(Phase II\) - Projekte -](#)
343 [WSL](#)) wird die Stammzahl aller Verjüngungspflanzen älter als 2 Jahre gezählt. Der Praktikant Andrea
344 Uselli erfasst die Höhe eines Sämlings, Rougemont VD. Foto: C. Spori

345

346

347

348

349

350

351

352

- 353 Tabelle 1. Merkmale von auf Bestandesebene anwendbaren Verjüngungsindikatoren. SP =
- 354 Stichprobe, SPI = Stichprobeninventur.

Verjüngungsindikator				
Merkmal	Dichte / Stammzahl	Mittl. Distanz zw. Verjüngungsansätzen	Verjüngungsdeckungsgrad	Flächenanteil mit/ohne Verjüngung
Erfassungsmethode	SPI auf Probekreisen oder k-Baum-SP	Okulare Schätzung	Okulare Schätzung	Okulare Schätzung oder SPI oder k-Baum-SP
Einheit des Indikators	N/ha, N/m ²	N/ha, mittlere Distanz [m]	%	%
Einsatzbereich	Überall	Bei geklumpfter Verteilung	Überall	Überall
Objektivität	Gut	Schlecht	Mittel	Bei SPI gut, sonst schlecht
Präzision der Aussage	Hoch	Mittel ^a	Gering	Gering ^b , bei SPI hoch
Nachweisbarkeit von Veränderungen	Gut	Schlecht	Mittel	Gut
Erhebungskosten	Hoch	Niedrig ^c	Niedrig	Mittel
Information über Grössenzusammensetzung	Ja	Möglich	Möglich	Nein / bei SPI ja (Flächenanteile)
Information über Baumartenanteile	Ja	Ja	(Ja)	Nein / bei SPI ja (Flächenanteile)
Information über Verjüngungshemmnisse	(Ja) ^d	(Ja)	Nein	(Ja) ^d
Kombinationsmöglichkeit mit Wildhuftiereinfluss-Indikatoren	Gut	Schlecht	Schlecht	Schlecht, bei SPI gut (Flächenanteile)
Weiteres	k-Baum-SP effizienter, bei leicht verzerrten Schätzwerten. Im LFI verwendet	V.a. bei geklumpfter Verjüngung in Hochlagenwäldern, Verwendung in NaiS	Verwendung in NaiS und im LFI	k-Baum-SP liefert biasfreie Schätzer für Flächenanteile. Bisher in der Schweiz kaum verwendet
Ausgewählte Quellen	Duc & Brang 2003, Brang et al. 2017, Bühler 2005, Huber et al. 2018, Kupferschmid & Gmür 2020	Buchli 1997, Frehner et al. 2005	Brang & Duc 2002, Frehner et al. 2005	Anonymus 2002, MacLead & Chaudhry 1979, Huber et al. 2018, Kupferschmid & Gmür 2020

356 a Bei sehr wenig Verjüngung, sonst eher gering, da Distanzen unregelmässig
357 b Bei Stichprobenverfahren hoch
358 c Kosten bei rein okularer Schätzung niedrig
359 d Hängt von erhobenen Zusatzinformationen ab, z.B. zur Konkurrenzvegetation oder zur Beschirmung
360

361 **Literaturverzeichnis**

362 Attenberger M, Eigenheer U. 2016. Nachhaltigkeitskontrolle Wald: Entscheidungsgrundlagen
363 zum Indikator «Verjüngungssituation». Steckborn, naturkonzept AG. 24 S.

364 Bericht des Bundesrats. 2022. Anpassung des Waldes an den Klimawandel.

365 <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/74194.pdf>

366 Brang P, Duc, P. 2002. Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit
367 einem neuen Modellansatz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 153:219-227.

368 Brang P, Nikolova P, Gordon R, Zürcher S. 2017. Auswirkungen grosser Verjüngungslücken im
369 Gebirgswald auf Verjüngung und Holzzuwachs. Schlussbericht des Projektes Eingriffsstärke und
370 Holzzuwachs im Gebirgswald. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 48 S. + Anhang

371 Brang P, Nikolova P. 2020. Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren und -sollwerten. Eidg.
372 Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 29 S.

373 Brändli UB, Abegg M, Allgaier Leuch B editors. Schweizerisches Landesforstinventar:
374 Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Birmensdorf, Bern: Eidgenössische Forschungsanstalt
375 für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt, BAFU, S. 189–238.

376 Buchli J. 1997. Beurteilung des minimal notwendigen Verjüngungsanteils in subalpinen
377 Schutzwaldkomplexen anhand eines Fallbeispiels in Sedrun. Diplomarbeit, Professur für
378 Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich, 85 S. + Anhang.

379 Duc P, Brang P. 2003. Die Verjüngungssituation im Gebirgswald des Schweizerischen
380 Alpenraumes. Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald 130:31-50.

381 Fehr M, Zürcher Gasser N, Schneider O, Burger T, Kupferschmid AD. 2019. Gutachtliche
382 Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung (Essay). Schweizerische Zeitschrift für
383 Forstwesen 170:135-141.

384 Frehner M, Wasser B, Schwitter R. 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald.
385 Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Hrsg. Bundesamt für Umwelt,
386 Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 30 S. + Anhang.

387 Frehner M, Brang P, Kaufmann G, Küchli C. 2018. Standortkundliche Grundlagen für die
388 Waldbewirtschaftung im Klimawandel. WSL Berichte 66. 43 S.

389 Gollut C, Rosset C. 2018. État de la planification forestière dans les cantons en 2017. Rapport
390 final. Zollikofen, Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL), division
391 Sciences forestières: 75 p.

392 Gubelmann P, Huber B, Frehner M, Zischg A, Burnand J. & Carraro G. 2019. Schlussbericht
393 des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel », Teil 1:
394 Quantifizierung und Verschiebung der Höhenstufengrenzen sowie des Tannen- und Buchenareals in
395 der Schweiz mit zwei Klimazukünften. Chur, Abenis AG & Sargans, Forstingenieurbüro Frehner. 194 S.

396 Huber MO, Schwyzer A, Kupferschmid AD. 2018. A comparison between plot-count and
397 nearest-tree method in assessing tree regeneration features. Current Trends in Forest Research 4:11.

398 Kupferschmid AD, Brang P, Bugmann H. 2019. Abschätzung des Einflusses von Verbiss durch
399 wildlebende Huftiere auf die Baumverjüngung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 170:125-
400 134.

401 Kupferschmid AD, Gmür PA. 2020. Methoden zur Einschätzung des Verbisseinflusses:
402 Vergleich der Messungen an den k nächsten Bäumchen mit Zählungen im Probekreis. Schweizerische
403 Zeitschrift für Forstwesen 171:69-78.

404 MacLeod DA, Chaudhry MA. 1979. A Field Comparison of Distance and Plot Methods for
405 Regeneration Surveys. The Forestry Chronicle 55: 57-61.

406 Schütz JP. 2003. Waldbau III. Die Kunstverjüngung und die waldbauliche Planung.

407 Vorlesungsskript, 6. Semester, ETH Zürich.

408

409 **Titel und Abstract auf Französisch und Englisch folgen später**

Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren und -sollwerten

Erarbeitet im Rahmen des Projekts «Gebirgswaldverjüngung» (2018-2020)

Status: Version 2.0 vom 14.1.2021

Peter Brang, Petia Nikolova

Vorgeschlagene Zitierung: Brang P, Nikolova P. 2020. Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren und -sollwerten. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 29 S.

Dank: Wir danken den Mitgliedern der Begleitgruppe für wertvolle Kommentare zu Entwürfen dieses Konzeptpapiers, insbesondere Karin Allenspach-Schliessbach, August Ammann, Beat Annen, Urs Felder, Monika Frehner, Pascal Gmür, Marco Vanoni und Samuel Zürcher (womit nicht impliziert sei, dass sie mit diesem Konzeptpapier in allen Aspekten einverstanden sind). Peter Bebi, Peter Ammann, Christoph Düggelein und Andrea Kupferschmid schlugen weitere substanzielle Verbesserungen vor. Den Mitarbeitenden des LFI danken wir für die Zurverfügungstellung von LFI-Daten und Monika Frehner für die Erklärungen zur Herleitung des Indikators «Verjüngungsansätze» im Anhang 2. Dieses Konzeptpapier entstand im Rahmen des Projekts «Gebirgswaldverjüngung», das der Wald- und Holzforschungsfonds und sieben Gebirgskantone finanziell unterstützen.



Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Zusammenfassung

In diesem Konzeptpapier werden Indikatoren und provisorische Sollwerte für die Beurteilung der Waldverjüngung im Grössenbereich zwischen 10 cm Höhe und 11,9 cm BHD vorgeschlagen. Fünf Verjüngungsindikatoren werden beschrieben: Die Dichte (Stammzahl) von Verjüngungspflanzen, die mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen, der Verjüngungs-Deckungsgrad, der Flächenanteil mit/ohne Verjüngung sowie die Verjüngungsfläche. Der Anwendungsbereich der Indikatoren in verschiedenen Entscheidungssituationen wird beschrieben, wobei der Fokus auf der Bestandesebene liegt. Das Konzeptpapier fokussiert auf den Fall, dass quantitative Informationen zur Verjüngung benötigt werden, und damit auf die Stammzahl, die mit Stichprobeninventuren erfasst werden kann. Für die Stammzahl werden aufgrund von Literaturangaben und Auswertungen mit LFI-Verjüngungsdaten provisorische untere und obere Sollwerte vorgeschlagen, die nach Waldleistung (Schutzwald / Nicht-Schutzwald), Höhenstufe und Waldstruktur differenziert sind und zwischen 1500/ha und 4000/ha liegen. Die Sollwerte berücksichtigen zudem die unterschiedliche Grösse von Verjüngungspflanzen, indem Anwuchspflanzen (10-39 cm) halb, Aufwuchspflanzen (40-129 cm) einfach und Nachwuchspflanzen (130 cm Höhe bis 11,9 cm BHD) dreifach gewichtet werden. Es wird empfohlen, die provisorischen Sollwerte in Praxistests zu verifizieren.

37 **Inhalt**

38	Zusammenfassung.....	1
39	Glossar	3
40	1 Hintergrund	4
41	2 Entscheidungssituationen, Informationsbedarf und Informationsherkunft.....	4
42	2.1 Entscheidungssituationen	4
43	2.2 Informationsbedarf	5
44	2.3 Herkunft der benötigten Informationen	5
45	3 Mögliche Verjüngungsindikatoren	6
46	4 Einschätzung der Verjüngungsindikatoren.....	7
47	4.1 Dichte.....	7
48	4.2 Mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen.....	9
49	4.3 Verjüngungsdeckungsgrad	10
50	4.4 Flächenanteil mit/ohne Verjüngung.....	10
51	4.5 Verjüngungsfläche	10
52	5 Sollwerte zu Verjüngungsindikatoren	11
53	5.1 Allgemeine Überlegungen zu Sollwerten	11
54	5.2 Dichte-Sollwerte	12
55	5.3 Sollwerte für andere Verjüngungsindikatoren	16
56	6 Anwendung der Verjüngungsindikatoren	17
57	6.1 Für verschiedene Anwendungsfälle passende Indikatoren.....	17
58	6.2 Soll-Ist-Vergleiche mit Verjüngungs-Stammzahlen	19
59	7 Weiterer Entwicklungsbedarf.....	21
60	8 Literatur	23
61	Anhang 1: Übersicht über Stammzahl-Sollwerte	26
62	Anhang 2: Grundlagen zu Verjüngungsansätzen.....	28
63		

Glossar

64		
65	Ansamung	Gesamtheit von unter 10 cm grossen →Verjüngungspflanzen
66	Anwuchs	Gesamtheit der →Verjüngungspflanzen von 10 bis 39 cm Höhe
67	Aufwuchs	Gesamtheit der →Verjüngungspflanzen von 40 bis 129 cm Höhe.
68		Anmerkung: In NaiS von 40 cm Höhe bis 12 cm BHD.
69	Deckungsgrad	Verhältnis der in der vertikalen Projektion überschirmten/bedeckten Fläche
70		zur Gesamtfläche (ohne Berücksichtigung mehrfacher Überschirmung). Der
71		Deckungsgrad wird in Prozent angegeben und liegt im Bereich zwischen
72		0 und 100%.
73	Dichte	Anzahl →Verjüngungspflanzen pro Flächeneinheit. Hier synonym zu
74		→Stammzahl
75	Gesicherte Verjüngung	Verjüngung, die mit grosser Wahrscheinlichkeit aufwächst. Dies wird ab
76		dem →Nachwuchs angenommen, d.h. ab 130 cm Höhe (Definition gemäss
77		LFI).
78	Menge	Sammelbegriff für Merkmale, die etwas über die Häufigkeit aussagen.
79	Nachhaltige Verjüngungsfläche	Im Normalwaldmodell zur Erhaltung der ausgeglichenen Vertretung
80		der Altersklassen erforderliche jährliche →Verjüngungsfläche. Sie
81		entspricht dem Quotienten von Waldfläche und mittlerer Umtriebszeit.
82	Nachwuchs	Gesamtheit aller Bäume, die mindestens 130 cm hoch sind, deren Stamm
83		aber dünner als 12 cm ist. Anmerkung: In NaiS Teil des →Aufwuchses.
84	Referenzwert	s. →Sollwert
85	Sämling	→Verjüngungspflanze ab dem 2. Lebensjahr bis (und ohne) 10 cm Höhe
86	Sollwert	Wert eines Indikators, der mindestens erreicht werden soll.
87	Stammzahl	Anzahl Stämme bzw. Bäumchen. Mass für die Bestandesdichte. Wird meist
88		auf eine ha bezogen und ist dann ein Synonym zu →Dichte.
89	Verjüngungsansatz	Kollektiv von nahe beieinanderstehenden Bäumchen, das durch
90		verjüngungsfreie Flächen deutlich von anderen Baumkollektiven abgegrenzt
91		ist. Vgl. Definition gemäss NaiS: «Mehrere Bäumchen (im Extremfall 1
92		Bäumchen) zwischen 40 cm Höhe und 12 cm BHD, die im Baumholz einem
93		Baum entsprechen (Fläche ca. 5 m ²)».
94	Verjüngungsbestand	Bestand, dessen Verjüngung geplant ist.
95	Verjüngungsfläche	Im Femelschlagwald auf Betriebsebene Gesamtfläche der
96		Entwicklungsstufen Jungwuchs, Dickung und Stangenholz I.
97	Verjüngungspflanze	Baum mit BHD unter 12 cm. Sammelbegriff für →Sämlinge und Bäume aus
98		den Kategorien →Anwuchs, →Aufwuchs und →Nachwuchs.
99	Vorverjüngung	In einem Bestand vor dem Verjüngungshieb unter dem Schirm der
100		Altbäume etablierte Verjüngung.
101	Im Glossar erwähnte Begriffe sind im Text beim ersten Vorkommen in einem Absatz mit einem Pfeil	
102	markiert (→).	

1 Hintergrund

Im Waldbau wird das Ziel verfolgt, gewünschte Waldleistungen mit möglichst wirksamen und kostengünstigen Eingriffen zu erreichen. Waldbauliche Entscheide über die nächste Generation an Waldbäumen sind dabei von grosser Bedeutung. Mit ihnen werden die Ressourcen (Waldfläche, Boden) auf lange Sicht in bestimmte Baumarten «investiert», mit Folgen für die zukünftigen Waldleistungen. Daher wurde seit 2012 die Absicht konkretisiert, die Nachhaltigkeitsindikatoren für den Schweizer Wald mit der «Verjüngungssituation» als **14. Basisindikator** zu ergänzen (Rosset et al. 2012, Bernasconi et al. 2014, Attenberger & Eigenheer 2016, Gollut & Rosset 2018).

Junge Waldbäume treten räumlich und zeitlich sehr variabel auf: Ihr →Deckungsgrad kann von fast 0 bis 100% reichen, ihre →Stammzahl (Dichte) von wenigen Hundert bis über Hunderttausend pro ha. Grosse →Mengen an Verjüngung treten oft in Wäldern tiefer und mittlerer Höhenlagen auf, während die Verjüngung in Hochlagen oft spärlich ist, v.a. weil sie nicht flächig aufkommt, sondern nur auf günstigen Kleinstandorten. Doch soll die Verjüngung langfristig zu zielkonformen Beständen heranwachsen und Waldleistungen liefern, so müssen gewisse Bandbreiten der Menge (als →Deckungsgrad oder Stammzahl), Baumartenzusammensetzung (Mischungsart- und grad) und Vitalität der →Verjüngungspflanzen eingehalten werden. Dazu ist die Waldverjüngung mit Indikatoren und →Sollwerten (Referenzwerten) fassbar zu machen. Wir sprechen hier absichtlich von der Menge der Verjüngung, weil andere Indikatoren als die Stammzahl nicht a priori ausgeschlossen werden sollen.

In diesem Konzeptpapier machen wir eine **Auslegeordnung möglicher Indikatoren und →Sollwerte der Waldverjüngung**. Wir beschreiben die Möglichkeiten und Probleme bei der Anwendung der Indikatoren und insbesondere der →Stammzahl, und untermauern die Argumentation mit Analysen von LFI-Daten. Wir fokussieren dabei auf die Verjüngung an sich und nicht auf den Wildeinfluss auf die Verjüngung. Bzgl. letzterem verweisen wir auf die von Kupferschmid et al. (2019) sowie Kupferschmid & Gmür (2020) beschriebenen Verfahren. Diese sind teilweise gut mit den hier dargestellten Indikatoren der →Menge der Verjüngung kombinierbar.

2 Entscheidungssituationen, Informationsbedarf und Informationsherkunft

2.1 Entscheidungssituationen

Die Verjüngung ist in unterschiedlichen Entscheidungssituationen¹ zu beurteilen:

- Zu verjüngender Einzelbestand (im gleichförmigen Hochwald), Überführungsbestand oder Plenter-/Dauerwald:
 - Festlegung waldbaulicher Eingriffe zur Erreichung von Verjüngungszielen, inkl. Einschätzung des Potenzials der vorhandenen →Vorverjüngung
 - Erfolgskontrolle einige Jahre nach dem Verjüngungshieb (Entscheid über Massnahmen wie Verbissschutz und/oder Pflanzung bei Misserfolg der Naturverjüngung)
- Verjüngter Bestand in der Jungwuchsstufe inkl. Störungsflächen: Festlegung adäquater waldbaulicher Eingriffe zur Erreichung von waldbaulichen Zielen

¹ Diese Entscheidungssituationen werden in Kap. 6.1 als Anwendungsfälle aufgenommen.

- Grossflächige Beurteilung der Verjüngungssituation zur Kontrolle der Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung und zur Ableitung von Handlungsprioritäten in der Schutzwaldpflege, auf Ebene Waldkomplex, Betrieb, Region oder Kanton
- Jagdliche Planung: Beurteilung des Wildeinflusses in einem Wildraum, einer Region oder im Kanton als Entscheidungsgrundlage für die jagdliche Planung

2.2 Informationsbedarf

In allen Entscheidungssituationen braucht es Informationen zur heutigen Verjüngung (**Istzustand**, Istwert) sowie **Zielvorstellungen** (→ Sollwerten wie z.B. NaiS-Minimal- oder Ideal-Anforderungen) zur Verjüngung. Die Sollwerte müssen sich an Überlegungen orientieren, wie sich eine Verjüngung bis zum Stadium der → gesicherten Verjüngung bzw. langfristig bis Ende der Jungwaldphase entwickeln dürfte. Einzuschliessen ist dabei auch eine Sicherheitsmarge für Gefährdungen der Verjüngung im Zeitraum während der Verjüngungsphase. Dabei hängen die Ansprüche an Verjüngung von der Entwicklungsstufe eines Bestandes ab; in gewissen Entwicklungsstufen ist keine oder nur sehr wenig Verjüngung nötig. Ob ein festgestelltes Verjüngungsdefizit (Differenz zwischen Istwert und Sollwert) einen **Handlungsbedarf** auslöst, hängt davon ab, welche Kosten dessen Behebung hat und wie die Konsequenzen eines Nicht-Handelns eingeschätzt werden.

Die Istzustände werden geschätzt oder in Inventuren quantitativ erfasst. Die Entwicklung von Zielvorstellungen zur Verjüngung erfordert folgende Informationen:

- Geforderte bzw. gewünschte Waldeleistungen (z.B. Holzproduktion, Schutz vor Naturgefahren)
- Standortsinformationen (z.B. in Form des Standortstyps)
- Standortlich passende Baumarten (z.B. in Form einer Baumartenliste)
- Verjüngungssollwerte in Abhängigkeit von Standort und Entwicklungsstufe (z.B. in Form einer Mindest-Stammzahl) sowie der räumlichen Bezugsebene.

2.3 Herkunft der benötigten Informationen

Vorgaben zu den **geforderten bzw. gewünschten Waldeleistungen** kommen aus den Absichten des Waldeigentümers und den Vorgaben von Bund und Kanton (z.B. bezüglich Schutzwald), die in der kantonalen, regionalen und betrieblichen Waldplanung Niederschlag finden. **Standortsinformationen** in Form von Beschreibungen der Waldstandorte liegen in allen Kantonen vor; in manchen Kantonen sind die Standortstypen teilweise oder flächendeckend kartiert. Die Beschreibungen der Waldstandorte erlauben es, die Standorte zu bestimmen und daraus die standortlich passenden Baumarten abzuleiten. Falls der Standortstyp bekannt ist, gibt es in der ganzen Schweiz **Baumartenempfehlungen** für das Klima der Periode 1961-1990 und für zwei Klimazukünfte der Periode 2070-2099 (Frehner et al. 2018, Gubelmann et al. 2019).

Am meisten mangelt es an **standortsspezifischen Mengenangaben** der Verjüngung. Heute wird die Verjüngung meist gutachtlich beurteilt (Fehr et al. 2019) und im besten Fall mit → Sollwerten verglichen, die sich z.B. auf die Deckung der Verjüngung beziehen (Frehner et al. 2005); eine Ausnahme sind Verjüngungsinventuren zur Beurteilung des Wildhuftiereinflusses (Gollut & Rosset 2018). Eine gutachtliche Beurteilung der Verjüngung ist in vielen Fällen angemessen genau (KWL 2018), v.a. wenn die Verjüngung sehr reichlich aufkommt (wie oft in Tieflagen). Die Subjektivität der Beurteilung kann dabei durch Standardisierung vermindert werden (Fehr et al. 2019).

In manchen Entscheidungssituationen kann die mit einer gutachtlichen Einschätzung verbundene Subjektivität aber problematisch sein. Objektive Informationen sind erstens nötig, wenn unsicher bzw. umstritten ist, ob ein Verjüngungsmangel vorliegt, zweitens wenn man den Handlungsbedarf objektiv begründen will und drittens wenn man eine Entwicklung genau verfolgen möchte (auch wenn die Verjüngung im Moment ausreicht). Objektive Informationen dienen als Grundlage für oder gegen kostspielige Entscheide, auch solche anderer Akteure (hier häufig von Wildtiermanagern) (s. a. Bundesamt für Umwelt 2010, KWL 2018).

Qualitative (gutachtliche) und quantitative Verfahren zur Verjüngungsbeurteilung (Erfassung des Istzustandes) sollten so angewendet werden, dass die Ergebnisse aussagekräftig (valide) und reproduzierbar sind. Für die Erfassung des Wildhuftiereinflusses liegen aus der Schweiz Anleitungen vor (Rüegg et al. 2010, Fehr et al. 2019), und gerade in letzter Zeit wurden hier neue Verfahren entwickelt (Kupferschmid et al. 2019, Kupferschmid & Gmür 2020). Diese Verfahren fokussieren allerdings auf den Wildhuftiereinfluss. **Sie beantworten die Frage nicht, wie viel Verjüngung von welcher Grösse, →Dichte, Baumartenzusammensetzung und räumlicher Verteilung erforderlich ist².**

3 Mögliche Verjüngungsindikatoren

Aussagekräftige Verjüngungsindikatoren sollten – im Idealfall – kostengünstig zu erheben und eine Grundlage für die Beantwortung folgender Fragen sein:

1. Sind die Baumarten in der Verjüngung standortsgerecht und entspricht ihre Zusammensetzung dem Verjüngungsziel?
2. Ist die Verjüngung angesichts des aktuellen Waldzustands dicht genug, und sind allfällig vorhandene Leerstellen (verjüngungsfreie Flächen) für die angestrebten Waldeleistungen akzeptabel?
3. Wie stark behindern oder gefährden abiotische oder biotische Einflussfaktoren die Verjüngung? Diese Frage ist v.a. dann wichtig, wenn die Verjüngung bzgl. Baumartenzusammensetzung nicht standortsgerecht (vgl. Frage 1), zu wenig stammzahlreich oder zu lückig (vgl. Frage 2) zu sein scheint.

Bei wiederholter Erfassung eines Indikators stellt sich zudem die Frage nach dessen zeitlicher Entwicklung:

4. Hat sich die Verjüngung (oder ein Hindernis für sie) im Vergleich zur letzten Beurteilung in die gewünschte Richtung entwickelt, und wenn nein, weshalb nicht?

Bisher wurden mehrere Indikatoren zur Beurteilung der Verjüngung herangezogen: →Dichten von Einzelbäumen, Mittlere Distanzen zwischen →Verjüngungsansätzen, →Deckungsgrade und der Anteil unbestockter Flächen (Fokus auf Leerstellen) bzw. der Flächenanteil mit/ohne Verjüngung (Abbildung 1). Zudem wird im gleichförmigen Hochwald die →Verjüngungsfläche als Indikator verwendet, v.a. auf Betriebsebene. Jeder dieser Indikatoren hat Vor- und Nachteile (Tabelle 1). Bei den meisten hier aufgeführten Indikatoren sind gewisse →Sollwerte vorhanden; sie sind allerdings nicht gut empirisch begründet. Weitere zuweilen benutzte Indikatoren sind die Baumartenzusam-

² Dies entspricht einem Anliegen von KOK und JFK von 2018: «Zur Beschreibung des IST-Zustandes sollen Aussagen zur →Dichte und Höhe der →Verjüngungspflanzen pro Baumart sowie Aussagen über den Anteil verbissener Pflanzen gemacht werden. Beim SOLL-Zustand müssen Wissenslücken zu →Sollwerten kontinuierlich geschlossen werden» (E-Mail von T. Abt vom 18.11.2019).

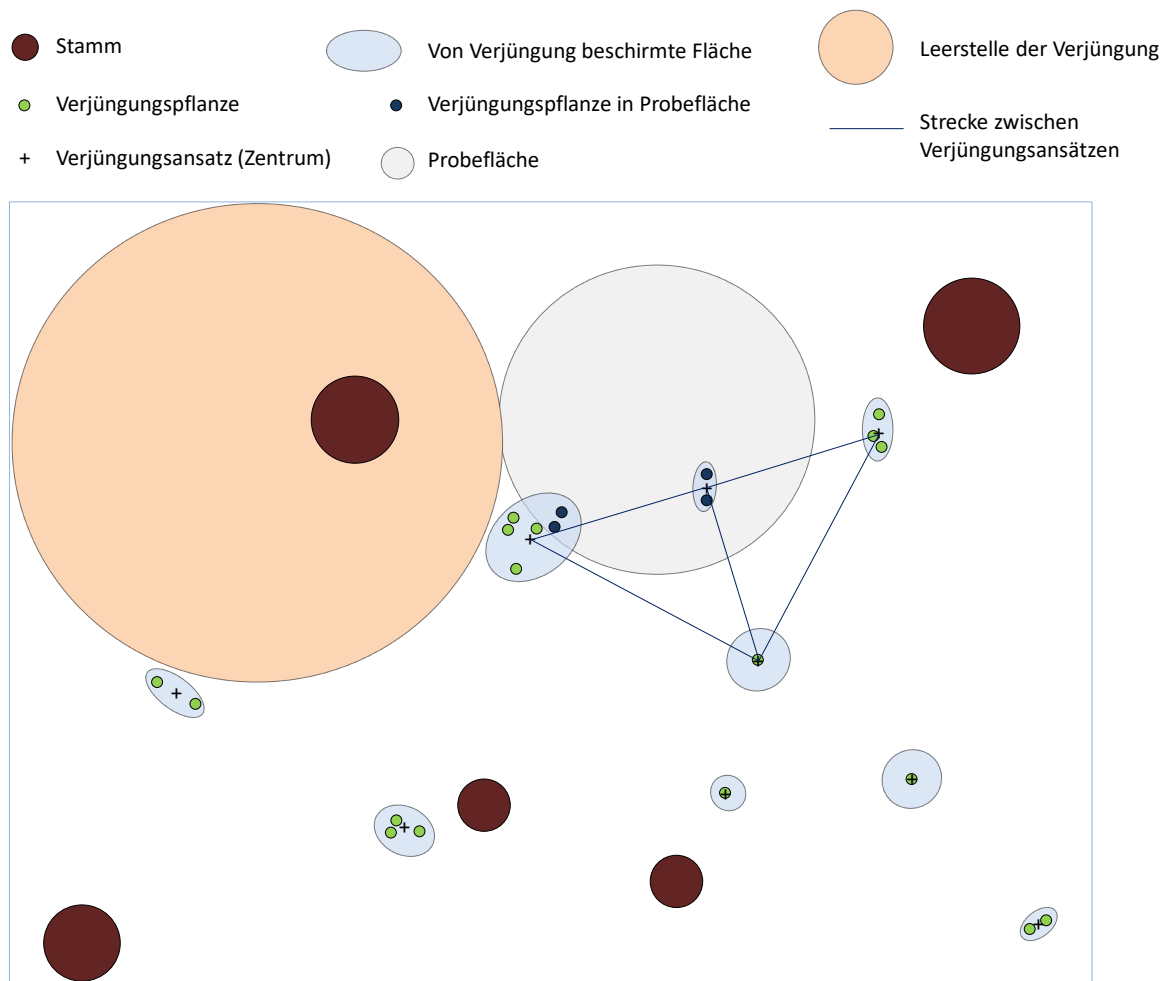


Abbildung 1. Schematische Darstellung von Verjüngungsindikatoren. Die Dichte wird abgeleitet aus in Probeflächen erfassten Verjüngungspflanzen oder (nicht dargestellt) aus Distanzen zwischen einem Probeflächenzentrum und den k nächsten Bäumchen ($k \geq 2$). Die mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen wird geschätzt (5 Distanzen dargestellt). Der Verjüngungsdeckungsgrad wird geschätzt, indem von Verjüngung beschirmte Flächen aufsummiert werden. Leerstellen einer bestimmten Mindestgrösse werden geschätzt. Nicht dargestellt sind Flächenanteile mit/ohne Verjüngung und die nachhaltige Verjüngungsfläche.

mensetzung der Verjüngung (z.B. NaiS-Beurteilung) und die Präsenz von Verjüngungshindernissen (z.B. verdämmende Konkurrenzvegetation) bzw. geeigneter Kleinstandorte für die → Ansamung.

4 Einschätzung der Verjüngungsindikatoren

4.1 Dichte

Aussagekraft: Die Verjüngungsdichte (→ «Stammzahl») als Zielgrösse erlaubt **präzise Aussagen** zur Dichte, Grösse und Baumartenzusammensetzung und in Kombination mit Waldstandortsinformationen auch zur Standortseignung der Verjüngung. Sie ist auch gut mit Erhebungen zum Wildeinfluss und zur Verjüngungsgunst des Kleinstandorts kombinierbar. Bei spärlicher Verjüngung – also in Problemfällen der Verjüngung – sind Dichten wichtig, weil sie das Ausmass des Verjüngungsproblems und bei Wiederholungsaufnahmen seine zeitliche Entwicklung gut beschreiben.

Erhebungsverfahren: Die Dichte wird meist über aufwändige **Stichprobenverfahren** ermittelt, wobei die Bäumchen auf konzentrischen Probekreisen nach Baumart und Grössenklasse ausgezählt werden oder die Distanz einer fixen Anzahl Bäumchen zum Probekreiszentrum gemessen wird (**k-Baum-Stichprobe**). Bei hohen lokalen Verjüngungsdichten ab rund 10'000/ha, bei denen die Genauigkeit ohnehin eine geringe praktische Rolle spielt, ist die Auszählung der → Verjüngungspflanzen auf Probeflächen besonders zeitaufwändig. Dem kann durch Verkleinerung der Probeflächen nicht begegnet werden, weil ansonsten viele Probeflächen keine Verjüngung aufweisen würden. Auch sollte man bei der Inventur keine Abbruchkriterien bei Erreichen bestimmter Stammzahlen pro Probefläche verwenden, weil das die Ergebnisse verzerrt³. Eine wenig aufwändige Lösung bietet die **k-Baum-Stichprobe** (Huber et al. 2018, Kupferschmid & Gmür 2020), die ähnliche Ergebnisse wie eine Inventur mit fixen Probekreisen liefert. Ihre höhere Effizienz bei grossen Dichten wird mit einer akzeptabel geringeren Genauigkeit der Dichteschätzung erkauft.

Tabelle 1. Merkmale von auf Bestandesebene anwendbaren Verjüngungsindikatoren. SP = Stichprobe, SPI = Stichprobeninventur.

Merkmal	Dichte / Stammzahl	Verjüngungsindikator		
		Mittl. Distanz zw. Verjüngungsansätzen	Verjüngungsdeckungsgrad	Flächenanteil mit/ohne Verjüngung
Erfassungsmethode	SPI auf Probekreisen oder k-Baum-SP	Okulare Schätzung	Okulare Schätzung	Okulare Schätzung oder SPI oder k-Baum-SP
Einheit des Indikators	N/ha, N/m ²	N/ha, mittlere Distanz [m]	%	%
Einsatzbereich	Überall	Bei geklumpfter Verteilung	Überall	Überall
Objektivität	Gut	Schlecht	Mittel	Bei SPI gut, sonst schlecht
Präzision der Aussage	Hoch	Mittel ^a	Gering	Gering ^b , bei SPI hoch
Nachweisbarkeit von Veränderungen	Gut	Schlecht	Mittel	Gut
Erhebungskosten	Hoch	Niedrig ^c	Niedrig	Mittel
Information über Grössenzusammensetzung	Ja	Möglich	Möglich	Nein / bei SPI ja (Flächenanteile)
Information über Baumartenanteile	Ja	Ja	(Ja)	Nein / bei SPI ja (Flächenanteile)
Information über Verjüngungshemmnisse	(Ja) ^d	(Ja)	Nein	(Ja) ^d
Kombinationsmöglichkeit mit Wildhuftiereinfluss-Indikatoren	Gut	Schlecht	Schlecht	Schlecht, bei SPI gut (Flächenanteile)
Weiteres	k-Baum-SP effizienter, bei leicht verzerrten Schätzwerten. Im LFI verwendet	V.a. bei geklumpfter Verjüngung in Hochlagenwäldern, Verwendung in NaiS	Verwendung in NaiS und im LFI	k-Baum-SP liefert biasfreie Schätzer für Flächenanteile. Bisher in der Schweiz kaum verwendet
Ausgewählte Quellen	Duc & Brang 2003, Brang et al. 2017, Bühler 2005, Huber et al. 2018, Kupferschmid & Gmür 2020	Buchli 1997, Frehner et al. 2005	Brang & Duc 2002, Frehner et al. 2005	Anonymus 2002, MacLead & Chaudhry 1979, Huber et al. 2018, Kupferschmid & Gmür 2020

^a Bei sehr wenig Verjüngung, sonst eher gering, da Distanzen unregelmässig

^b Bei Stichprobenverfahren hoch

^c Kosten bei rein okularer Schätzung niedrig

^d Hängt von erhobenen Zusatzinformationen ab, z.B. zur Konkurrenzvegetation oder zur Beschirmung

³ Man kann das allenfalls pro Baumart und Grössenklasse tun. Die Methode kann aber zu verzerrten Schätzungen führen, auch und besonders bei Folgeinventuren.

Übermässiger Einfluss von lokal hoher Dichte: Im Fall von Probekreisen beeinflussen **Probeflächen mit grosser Dichte** nicht nur den Inventuraufwand, sondern auch die Auswertung erheblich, indem sie die Mittelwerte stark erhöhen. Abhilfe bei der Auswertung schaffen das Kappen von Extremwerten mit hohen Stammzahlen oder die Verwendung von Quantilen⁴, die von Extremwerten nicht beeinflusst werden.

Erfasste Grössenklassen: Kleine →Verjüngungspflanzen (→Sämlinge) verschwinden oft nach wenigen Jahren wieder. Um nicht Inventurressourcen für eine volatile Phase der Verjüngung zu verschwenden, wird manchmal auf die Erfassung von →Ansamung verzichtet (aber s. weiter unten). Einen direkteren Bezug zum Erreichen von Verjüngungszielen hat die Verjüngung ab →Aufwuchs (40 cm Höhe) bzw. →Nachwuchs (→ «gesicherte» Verjüngung). Robuste Belege für das Überleben von Auf- und Nachwuchspflanzen und ihre Chance, zu adulten Bäumen heranzuwachsen, fehlen zwar weitgehend, aber es ist plausibel, dass Bäumchen umso eher aufwachsen können, je grösser sie bereits geworden sind. Bei unterschiedlichem Wuchsgang von Baumarten (z.B. raschwüchsige dominante Pionierbaumarten und langsamwüchsige Klimaxbaumarten) sollte sichergestellt sein, dass trotzdem genug Information zu den kleineren Bäumchen der Klimaxbaumarten erfasst wird.

Erfassung von →Sämlingen: Die Erfassung von →Sämlingen liefert Informationen über das Samenangebot, die Ansamungsgunst der Standorte und gibt, wenn Baumarten nur als →Sämlinge, nicht aber im →An- und →Aufwuchs vorhanden sind, Hinweise auf möglichen Totverbiss⁵. Die Erfassung kleiner Pflanzen kann so zum Verständnis des Potenzials und der Gefährdung der Verjüngung beitragen. Kleine Pflanzen lassen sich gut in übliche Stichprobenverfahren integrieren (z.B. in die Probekreisverfahren oder die k-Baum-Stichprobe). Wenn nur deren Präsenz nach Baumarten interessiert, kann auch nur die Präsenz in Stichprobenverfahren erfasst oder flächig geschätzt werden.

Aussagen zu seltenen Baumarten: Aus der Praxis werden auch Informationen zu seltenen Baumarten (z.B. Eibe) und zu kleinen Pflanzen (z.B. →Ansamung unter 10 cm Höhe) gewünscht (Attenberger & Eigenheer 2016). Repräsentative Informationen zu seltenen Baumarten lassen sich aber mit kleinen Probeflächen in systematischen Gitternetzen nicht gewinnen. Bei der k-Baum-Methode kann der Radius je nach Dichte bis zur maximalen Suchdistanz erweitert werden, so dass seltenere Baumarten besser erfasst werden können. Dasselbe gilt auch für Baumarten, die in bestimmten Grössenklassen selten auftreten.

Samenbäume: Auch die Absenz von Samenbäumen kann zum Fehlen von Naturverjüngung führen. Die Erfassung von Samenbäumen im Rahmen von Probeflächenverfahren ist allerdings zeitaufwändig, weil Samenbäume auch über 50 m weit entfernt stehen können und unklar ist, wie viele Samenbäume erforderlich sind.

4.2 Mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen

Der Indikator «Mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen» ist eine Variante des Dichte-Indikators (s. oben). Er taugt bei stark geklumpter Verjüngung in Hochlagenwäldern für grobe Aussagen mit minimalem Aufwand und wird in NaiS verwendet. Es gibt unseres Wissens keine Studien zur Reproduzierbarkeit der Schätzungen und, ausser in einer Masterarbeit (Buchli 1997), auch keine Versuche, den Indikator quantitativ zu erfassen, wahrscheinlich weil →Verjüngungsansätze räumlich oft sehr unregelmässig verteilt sind. Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

⁴ Ein Quantil ist ein Schwellenwert, der von einem bestimmten Anteil der Werte überschritten wird. Der Median ist der Schwellenwert, über und unter dem jeweils die Hälfte der Daten liegt.

⁵ S. Projekt «Quantifizierung von Totverbiss an verschiedenen Standorten», 2020-2024, A. Kupferschmid, WSL.

299 Der Anhang dieses Berichts enthält eine Umrechnung von →Dichten in Distanzen zwischen
300 Verjüngungsansätzen (Abbildung 6).

301 4.3 Verjüngungsdeckungsgrad

302 Der →Deckungsgrad der Verjüngung als Mass für die →Menge der Verjüngung wird in NaiS (in
303 tieferen Lagen) und im LFI verwendet (s.a. Brang & Duc 2002). Er hat im Gegensatz zur Stammzahl
304 einen direkten Flächenbezug. Grosse Pflanzen decken wesentlich grössere Flächen als kleine, und
305 damit beeinflussen sie den Deckungsgrad ohne weitere Gewichtung nach ihrer Grösse viel stärker als
306 kleine. Der Deckungsgrad ist rasch geschätzt, aber eher schlecht reproduzierbar, wie Ergebnisse aus
307 dem LFI zeigen. Deckungsgrade nach Grössenklassen und Baumarten zu schätzen, dürfte noch
308 anspruchsvoller und noch weniger reproduzierbar sein. Die Schätzmethode ist auch relativ unscharf,
309 weil kleine Bäumchen (z.B. eine Weisstanne) nur eine sehr geringe Deckung aufweisen, aber hier
310 teilweise die gesamte Fläche als gedeckt betrachtet wird, die durch einen Kreis mit Mittelpunkt =
311 Stammzentrum und mit Radius = längster Seitenast gebildet wird (vgl. Abbildung 1).

312 4.4 Flächenanteil mit/ohne Verjüngung

313 Dieser Indikator fokussiert entweder auf Leerstellen oder auf den mit Verjüngung bestockten Flä-
314 chenanteil. Im Fall der Leerstellen ist die Grundidee, in einem Stichprobennetz Probeflächen einer
315 bestimmten Grösse (z.B. 60 m²) zu erfassen und daraus abzuleiten, welcher Flächenanteil unbestockt
316 ist bzw. **Leerstellen**, im Original «vide anormal» (Anonymus 2002), aufweist (s.a. MacLeod & Chaudry
317 1979). Das Verfahren scheint gut geeignet für relativ dichte Verjüngung mit Leerstellen, die evtl. zu
318 gross sein könnten. Effizienter scheint in diesem Fall aber die direkte Ausmessung dieser Leerstellen
319 z.B. mit einem GPS und ihre Dokumentation in GIS, oder die okulare Schätzung von deren Grösse. Die
320 erfassten «Leerstellen» müssen nicht absolut frei von →Verjüngungspflanzen sein, sondern können
321 auch ohne Pflanzen einer erwünschten Dimension oder Baumart sein.

322 Im Fall des Flächenanteils mit Verjüngung kommt die k-Baum-Stichprobe zum Zug (Huber et al 2018,
323 Kupferschmid & Gmür 2020). Mit dieser Methode kann einerseits die Dichte mit einem «unbekann-
324 ten», in der Regel kleinen Schätzfehler berechnet werden (Kap. 4.1). Andererseits ist auch, asymp-
325 totisch ohne Bias, der Anteil von Flächen mit bestimmten Eigenschaften erfassbar: Z.B. der Anteil der
326 Flächen mit Verjüngung, mit Verjüngung einer bestimmten Grössenklasse, mit Verjüngung einer
327 bestimmten Grössenklasse und Baumart, mit Verbiss etc.

328 4.5 Verjüngungsfläche

329 Dieser Indikator ist auf Bestandesebene und in ungleichförmigen Beständen nicht anwendbar. Im
330 Femelschlagwald gibt er auf Ebene Forstbetrieb (oder darüber) Informationen darüber, ob die Ver-
331 jüngungstätigkeit während der letzten (meist 2-3) Jahrzehnte in dem Sinn ausreichend war, dass sie
332 langfristig zu einer zeitlich wenig schwankenden Holznutzung führt. Zur Erhebung der Verjüngungs-
333 fläche werden entweder, z.B. aufgrund von Bestandeskarten, die Flächen der Entwicklungsstufen
334 Jungwuchs/ Dickung und Stangenholz I aufsummiert und in Beziehung zur Gesamtfläche gesetzt. In
335 einem nachhaltig bewirtschafteten Wald sollte dieses Verhältnis dem Verhältnis zwischen mittlerer
336 Durchwuchszeit durch Jungwuchs/Dickung und Stangenholz I und der mittleren Umtriebszeit
337 entsprechen. Die Verjüngungsfläche kann auch als Summe der in einer Periode von üblicherweise 10
338 Jahren verjüngten Bestände definiert und mit der nachhaltigen Verjüngungsfläche verglichen
339 werden. Letztere ergibt sich wiederum als Quotient der betrachteten Waldfläche und der mittleren
340 Umtriebszeit. Die mittlere Umtriebszeit wird aus waldbaulichen Zielvorstellungen abgeleitet und
341 berechnet sich aus den flächengewichteten Umtriebszeiten pro Baumart. In der praktischen

Anwendung gibt der Vergleich zwischen der effektiven und der nachhaltigen Verjüngungsfläche (Schütz 2003) Hinweise darauf, ob eher zu grosse oder zu wenige Waldflächen verjüngt werden.

5 Sollwerte zu Verjüngungsindikatoren

5.1 Allgemeine Überlegungen zu Sollwerten

Wir leiten hier →**Sollwerte für →Verjüngungsbestände, Jungwald- und Störungsflächen sowie Plenter-/Dauerwald auf Bestandesebene** ab. Der Vergleich erhobener Indikatorwerte mit Sollwerten auf der Ebene ganzer Waldkomplexe, Regionen oder gar Kantone wird in Kap. 6.2 behandelt. In der Anwendung am einfachsten wäre ein einziger Sollwert für einen Indikator für alle Anwendungsfälle. Dies ist aber illusorisch. Aufgrund der Unterschiede bzgl. Waldstandort, Entwicklungsstufe bzw. Waldstruktur und Waldleistung ist eine **Differenzierung** nötig und es sind mehrere Sollwerte für denselben Indikator nötig. Zudem ist nach Baumgrösse zu unterscheiden.

Differenzierung nach Waldstandorten: Mit einer Ausnahme schlagen wir keine Differenzierung aufgrund von Standortseigenschaften vor. Wir haben kaum Hinweise, dass die Mortalität in der Naturverjüngung standortsabhängig ist. In Tieflagen oder auf verjüngungsgünstigen Standorten ist zwar die Verjüngung dichter, wie Auswertungen von LFI-Daten zeigen, aber es sind deswegen nicht mehr kleine →Verjüngungspflanzen erforderlich, damit eine Nachwuchspflanze aufwachsen kann. Die oft auf verjüngungsgünstigen Standorten vorhandenen zahlreichen →Sämlinge, An- und Aufwuchspflanzen sind zwar waldbaulich erwünscht, scheinen aber nicht erforderlich. Die angesprochene Ausnahme betrifft die subalpine Stufe: Hier gibt es deutliche Hinweise, dass weniger An- und Aufwuchspflanzen nötig sind als sonst, um zu einer Nachwuchspflanze zu führen (weiter unten, Abbildung 3, s.a. Bachofen 2009).

Stammzahl-Sollwerte werden oft mit Anforderungen an die **Baumartenzusammensetzung** verknüpft, indem ein Mindestanteil (oder eine Mindestdichte) bestimmter Baumarten pro Probestfläche gefordert wird. Auch in NaiS wird das sinngemäss gefordert, indem die Mischung der Verjüngung «zielkonform» sein soll. In NaiS ist es auch grundsätzlich möglich, Veränderungen der Baumartenzusammensetzung durch natürliche Prozesse zu berücksichtigen (Pfeile in Formular 2 von NaiS); diese Beurteilung ist aber schwierig.

Waldstruktur: In einer idealen Plenterstruktur verjüngt sich der Wald kontinuierlich, und die neu ankommende Verjüngung ersetzt laufend Bäume, die in die Mittelschicht aufwachsen. Daher ist grundsätzlich immer gleich viel Verjüngung nötig. Im gleichförmigen Hochwald wird dagegen pulsartig verjüngt. Hier ist vom gesicherten Jungwuchs bis zum schwachen Baumholz (je nach Verjüngungsverfahren und Umtriebszeit sogar bis ins Altholz) keine Verjüngung nötig (aber oft als Äsung sehr erwünschte Naturverjüngung vorhanden). In der Verjüngungsphase (Baum- bzw. Altholz unter Schirm, Jungwuchs und Dickung) ist hingegen relativ viel Verjüngung⁶ erforderlich. Auch Störungsflächen (z.B. Windwurfflächen) sind grundsätzlich gleich zu betrachten wie Jungwuchs und Dickung. Wird ein Bestand vom gleichförmigen in den ungleichförmigen Hochwald überführt, dann geschieht dies oft unter Zeitdruck, weil die Überlebensdauer der Oberschicht auf wenige Jahrzehnte limitiert ist. Daher wird auch hier wie im gleichförmigen Hochwald angenommen, dass ein Verjüngungspuls nötig ist.

Bei rascherem Wachstum (oder geringerem Zieldurchmesser) wird in Plenter- und Dauerwäldern die Oberschicht schneller erneuert als bei langsamerem Wachstum. Das würde eigentlich mehr

⁶ Wir schliessen hier Pflanzen bis 12 cm BHD unter den Begriff «Verjüngung» ein.

384 →Nachwuchs und damit mehr Verjüngung erfordern. Wegen fehlender Grundlagen wird dies hier
385 vernachlässigt.

386 Je nach **Waldleistung** stellt sich die Frage nach der erforderlichen **Sicherheitsmarge** bei der
387 Verjüngung anders. In der Schutzwaldpflege ist die Anwendung von minimalen und idealen
388 Anforderungen etabliert. Die minimalen Anforderungen sind die Messlatte, ob Handlungsbedarf
389 besteht oder nicht, die idealen Anforderungen stehen – mit Ausnahmen – für das langfristige
390 Waldbauziel⁷. Übertragen auf die Verjüngung im Schutz- wie auch im Nichtschutzwald postulieren
391 wir eine Bandbreite der →Sollwerte. Der **untere Sollwert** gilt jeweils für den Fall, dass sich die
392 Verjüngung ohne das übliche Mass übersteigende Schadeinflüsse entwickeln kann, der **obere**
393 **Sollwert** schliesst eine Marge für den Fall ein, dass die Verjüngung durch Einflüsse wie grosse
394 Schneehöhen stark dezimiert wird. Angesichts der Unsicherheit über die Entwicklung der Verjüngung
395 und der langen Verjüngungszeiträume v.a. in höheren Lagen, wo viele Schutzwälder liegen, und
396 angesichts erhöhter Ansprüche an die räumliche Verteilung der Verjüngung sollte im Schutzwald
397 immer eine Sicherheitsmarge berücksichtigt werden, d.h. der obere Sollwert gelten.

398 **Baumgrösse:** Eine kleine →Verjüngungspflanze (z.B. ein →Sämling) trägt i.d.R. weniger zu den
399 aktuellen Waldleistungen bei als eine grosse (z.B. eine Nachwuchspflanze), und ihr Ausfallrisiko ist
400 wesentlich grösser als dasjenige der Nachwuchspflanze. Um Pflanzen verschiedener Grösse
401 gleichzeitig bewerten zu können, sind grosse Pflanzen stärker zu gewichten als kleine. Das gilt für alle
402 Waldstandorte, Entwicklungsstufen bzw. Waldstrukturen und Waldleistungen; es impliziert aber
403 keineswegs, dass Verjüngungen aus Verjüngungspflanzen verschiedener Grösse zusammengesetzt
404 sein *sollen*.

405 Aufgrund obiger Überlegungen schlagen wir folgende Differenzierung vor:

- 406 • **Waldstandorte:** Es wird nur die Höhenstufe berücksichtigt, indem in der subalpinen und
407 obersubalpinen Stufe die →Sollwerte etwas tiefer liegen als in den darunterliegenden
408 Höhenstufen.
- 409 • **Waldstruktur:** Im Plenter- und Dauerwald sind die Sollwerte kleiner als im gleichförmigen
410 Hochwald, zu dem auch Überführungsbestände und Störungsflächen zählen.
- 411 • **Sicherheitsmarge:** Diese wird durch Angabe einer Bandbreite der Sollwerte abgebildet. Der
412 untere Sollwert hat keine bzw. nur eine geringe Sicherheitsmarge, der obere schliesst eine
413 Sicherheitsmarge von 50% ein. Im Schutzwald ist daher immer der obere Sollwert der
414 entsprechenden Höhenstufe und Waldstruktur zu verwenden (s. unter Sicherheitsmarge). Im
415 Nicht-Schutzwald sind der untere und der obere Sollwert anwendbar.

416 Diese Differenzierung gilt grundsätzlich für alle hier vorgeschlagenen →Sollwerte. Sie wird im
417 Folgenden aber nur für Stammzahl-Sollwerte dargestellt.

418 5.2 Dichte-Sollwerte

419 **Publizierte →Sollwerte:** Die bis jetzt vorgeschlagenen Sollwerte für →**Dichten** sind zahlreich
420 (Abbildung 2, Tabelle 3 im Anhang), aber wissenschaftlich nicht gut abgestützt. Sie können bei
421 annähernd regelmässiger Verteilung der Verjüngung auch in Form mittlerer Distanzen angewendet
422 werden (Tabelle 4 im Anhang). Die Werte variieren zwischen 800 und 40'000 pro ha. Sie sind umso
423 höher, je kleiner die untere Erfassungsschwelle ist. In Laubwäldern liegen sie meist höher als in
424 Nadelwäldern. Der ähnliche Wertebereich vieler Sollwerte aus unterschiedlichen Waldtypen zeigt

⁷ http://www.gebirgswald.ch/tl_files/gebirgswald/de/02_NaiS/00_Hauptteil/01_Teile/3-Herleitung_Massnahmen/3_2_Die_Anforderungsprofile.pdf

aber, dass der Waldtyp den Sollwert weniger stark bestimmt als – in der Abbildung nicht dargestellte – Überlegungen bei der Herleitung der Sollwerte.

Einfluss der Baumgrösse: Klar ist, dass Stammzahl-Sollwerte im gleichförmigen Wald (und sinngemäss auch im Plenterwald) vom →Sämling bis zum Nachwuchsstamm abnehmen. Entsprechend der **demografischen Entwicklung** von Bäumen bleiben von zahlreichen Sämlingen nur wenige Nachwuchsstämme und noch weniger adulte Bäume übrig. Dies zeigt sich auch in einer Analyse von LFI-Daten nach den Höhenstufen gemäss LFI⁸ (Abbildung 3): Das Verhältnis der Dichte von Aufwuchs- zu Nachwuchspflanzen liegt für Fichte, Tanne, Buche und Bergahorn in allen Höhenstufen etwa bei fünf. Das Verhältnis der Dichte von Anwuchs- zu Nachwuchspflanzen für diese Baumarten liegt zwischen 10 und 26 (35). Bei der Fichte kommt hier in der untermontanen Stufe ein Ausreisser vor (35), und die Werte des Bergahorns liegen tendenziell höher als diejenigen der anderen Baumarten (abgesehen vom genannten Ausreisser bei der Fichte).

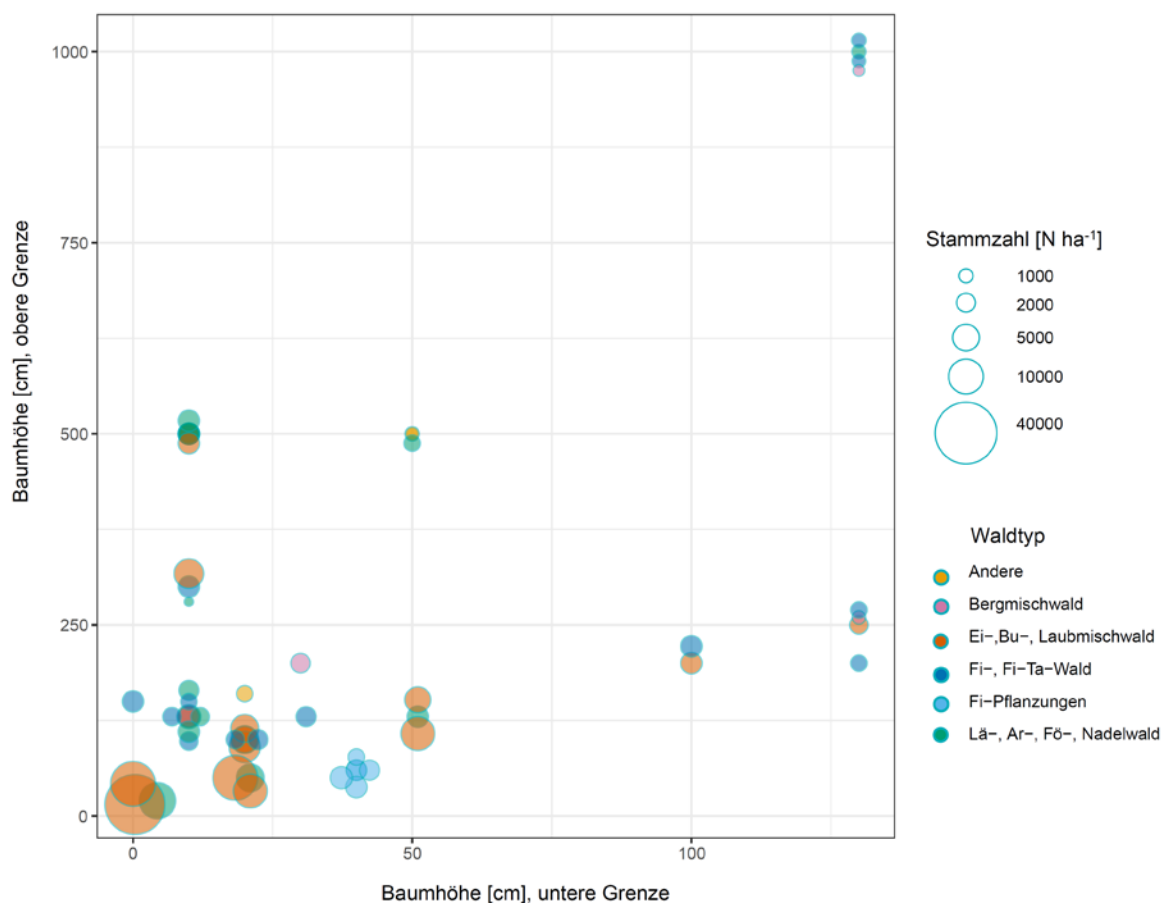
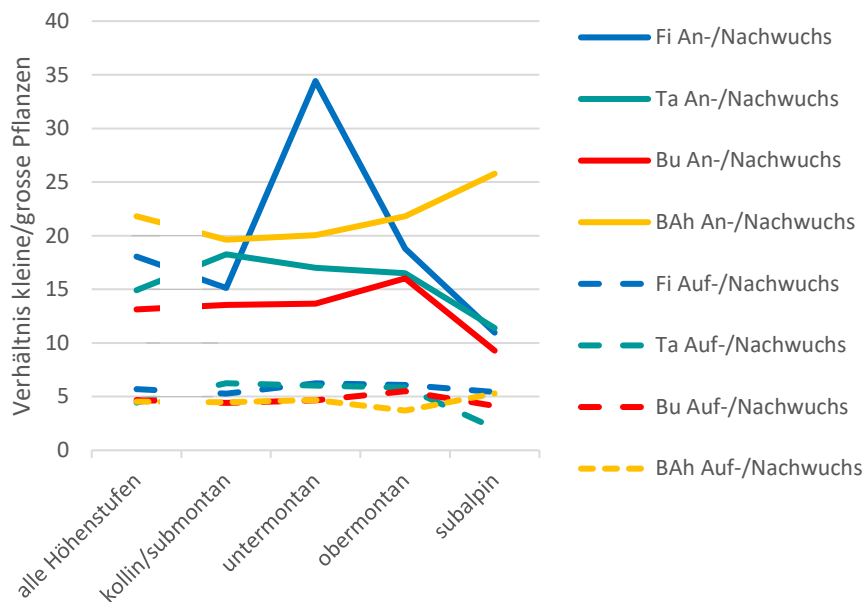


Abbildung 2. Sollwerte zur Verjüngungsdichte (Stammzahl) aus verschiedenen Quellen. Um einige Punkte besser sichtbar zu machen, wurden sie zufällig etwas verschoben. Quellen: s. Tabelle 3.

Die **Höhenstufe** beeinflusst diese Dichteverhältnisse zwischen Grössenklassen der Verjüngung von der kollinen/submontanen bis zur obermontanen Höhenstufe nicht; in der subalpinen Höhenstufe ist das Verhältnis zwischen →An- und →Nachwuchs aber kleiner als in den übrigen Höhenstufen. Auf eine Nachwuchspflanze kommen fünf Aufwuchspflanzen und zwischen 10 und 26(35) Anwuchspflanzen. Diese Dichteunterschiede geben Hinweise darauf, wie viele kleinere Bäume nötig sind, damit eine Nachwuchspflanze heranwächst, und können bei der grössenabhängigen Gewichtung von

⁸ Die Höhenstufen nach LFI weichen von den in NaiS üblichen ab.

Verjüngungsdichten verwendet werden (s. unten). Die Dichteverhältnisse zwischen unterschiedlich grossen Pflanzen (Abbildung 3) dürfen aber nicht direkt in Gewichtungen der entsprechenden →Sollwerte umgerechnet werden. Nur ein kleiner Teil der LFI-Daten stammt aus Jungwüchsen und Dickungen, bei denen eine solche Umrechnung zulässig wäre, im Sinn von Evidenz für grössenabhängige Mortalität. Ein grosser Anteil der →Verjüngungspflanzen (v.a. Anwuchs) dürfte hingegen in der Unterschicht von Beständen ohne Verjüngungsabsicht oder ohne Entwicklungschance auftreten. Dazu gehören Stangen- und Baumhölzer mit Verjüngung und unterdrückter An- und →Aufwuchs in Jungwäldern oder →Verjüngungsansätzen, der kaum Entwicklungschancen hat. Dies ist bei der Ableitung von Gewichtungsfaktoren zwischen Grössenklassen zu berücksichtigen (s. weiter unten).



456

Abbildung 3. Aus LFI-Daten (LFI4, 2009-2017) abgeleitete Verhältnisse zwischen Nach- und Aufwuchs bzw. Nach- und Anwuchs nach Höhenstufe. Nachwuchs = Verjüngungspflanzen zwischen 130 cm Höhe und 11,9 cm BHD; Aufwuchs = solche zwischen 40 und 129 cm Höhe; Anwuchs = solche zwischen 10 und 39 cm Höhe. Die Höhenstufen entsprechen den im LFI verwendeten (kollin, submontan, untermontan, obermontan, subalpin). Der Abbildung liegen zwischen 730 und 1358 Probeflächen pro Höhenstufe zugrunde. Die Daten der oberen subalpinen Höhenstufe sind wegen geringer Anzahl Probeflächen nicht dargestellt. *xlsx*

Vergleich mit Ertragstafel-Werten: Die Anfang Stangenholz (Oberdurchmesser 10 cm) erforderliche Anzahl Bäume liegt zwar gemäss Ertragstafeln (Badoux 1983) bei mehreren Tausend/ha. Dieser Anforderung steht aber gegenüber, dass im Schutzwald derart stammzahlreiche Bestockungen oft zu labilen Problemflächen werden, dass auf Sturmflächen auch bei wesentlich geringerer Stammzahl eine befriedigende Bestockung erreichbar ist (Ammann 2012), und dass bei aktiver Z-Baum-Durchforstung im Holzproduktionswald etwa im schwachen Baumholz (Oberdurchmesser 30-40 cm) die Endstammzahl erreicht ist, die je nach Raumanspruch der Baumart bei 40 bis 200 Bäumen/ha liegt (Ammann 2012). Daher scheint die Reserve gemäss Ertragstafel sehr hoch, denn →Sollwerte sollten ein nötiges Minimum fordern und nicht einen mittleren Verlauf.

Ableitung provisorischer Stammzahl-Sollwerte: Die heutige Evidenz ist zu lückig für empirisch gut validierte →Sollwerte. Mangels soliderer Grundlagen unterbreiten wir folgenden vorläufigen Vorschlag (vgl. Anwendungsbeispiel in Kasten 1 und Überlegungen in Kasten 2)⁹:

⁹ Der Vorschlag berücksichtigt Erwartungen von KOK und JFK.

- 476 • **Unterer →Sollwert für die gesamte Stammzahl von →An-, →Auf- und →Nachwuchs in**
 477 **Plenter- und Dauerwäldern:** Der in Brang et al. (2017) für Fichten- und Fichten-Tannen-
 478 Wälder hergeleitete Sollwert von 2000/ha für An- und Aufwuchspflanzen zusammen (10-129
 479 cm Höhe, Tabelle 2), der v.a. auf Bühler (2005) beruht, gilt als unterer Sollwert für Plenter-
 480 und Dauerwälder¹⁰.
- 481 • **Gewichtung nach Grössenklassen:** Die Stammzahl der Nachwuchspflanzen wird dreifach
 482 gewichtet, diejenige der Aufwuchspflanzen einfach, die der Anwuchspflanzen halb (vgl.
 483 Beispiel in Kasten 1).¹¹ Aufgrund der im Text gerade vor Abbildung 3 dargestellten
 484 Überlegungen kann die Gewichtung nicht so stark sein wie das LFI sie *im Mittel* zeigt. Wir
 485 bleiben daher mit 1 zu 3 deutlich unter den Verhältnissen von 1 zu 4-5 (→Nach- zu
 486 →Aufwuchs) bzw. mit 1 zu 6 unter 1 zu 13-20 (und mehr) (Nach- zu →Anwuchs).
- 487 • **Anpassung für gleichförmige Wälder:** In Verjüngungsbeständen in gleichförmigen Wäldern,
 488 Überführungsbeständen und auf Störungsflächen wird der →Sollwert um 50% erhöht.¹²
- 489 • **Oberer →Sollwert:** Der obere Sollwert (mit Sicherheitsmarge) für Plenter- und Dauerwälder
 490 liegt 33% über dem unteren, bei 2700/ha (aufgerundet) für An- und Aufwuchspflanzen
 491 zusammen oder 900/ha für Nachwuchspflanzen, was etwa dem Sollwert von Duc & Brang
 492 (2003) entspricht. Der obere Sollwert für Verjüngungsbestände in gleichförmigen Wäldern,
 493 Überführungsbestände und Störungsflächen wird ebenfalls um 33% erhöht, auf 4000/ha.
- 494 • **Schutzwald/Nicht-Schutzwald:** Im Schutzwald gilt der obere →Sollwert, im Nichtschutzwald
 495 je nach Ansprüchen an die Waldleistungen der untere oder der obere.
- 496 • **Höhenstufen:** In Wäldern der subalpinen und obersubalpinen Stufe sind die →Sollwerte
 497 gegenüber der kollinen bis hochmontanen Stufe um einen Viertel zu reduzieren.
- 498 • **Stark** beschädigte, nicht entwicklungsfähige Bäume sind nicht zu zählen; verbissene,
 499 entwicklungsfähige →Verjüngungspflanzen sind aber zu zählen.
- 500 • **Baumartenzusammensetzung:** Die Stammzahl-Sollwerte werden mit Anforderungen an die
 501 Baumartenzusammensetzung ergänzt, indem pro Standortstyp (unter Einbezug des
 502 Klimawandels) gefordert wird, dass die Minimalanforderungen (z.B. minimaler Tannen- oder
 503 Laubholzanteil) nach NaiS für die Oberschicht auch in der Verjüngung (→Anwuchs,
 504 →Aufwuchs und →Nachwuchs zusammen) erfüllt sind¹³. Auch dabei soll nach
 505 Grössenklassen gewichtet werden (Anwuchs: 0,5, Aufwuchs: 1, Nachwuchs 3).

¹⁰ Bühler (2005) hat die →Sollwerte nur für →An- und →Aufwuchs angegeben (10-129 cm Höhe). Wir erhöhen diesen Wert nicht, obwohl wir den →Nachwuchs einschliessen. Nachwuchspflanzen können aber An- und Aufwuchspflanzen «ersetzen» (vgl. den Punkt «Gewichtung nach Grössenklassen»).

¹¹ Das Verhältnis ist also 1 : 2 : 6, wobei die einfach gewichteten Pflanzen die Aufwuchspflanzen sind.

¹² Im Spezialfall von Pflanzungen mit geringer Dichte (Trupppflanzung), die oft zur Begründung von Eichenbeständen verwendet werden, kann der Sollwert auch geringer sein. Es können auch 1000 Pflanzen/ha genügen, bei Bergahorn sogar noch weniger (Geyer et al. 2020)

¹³ Die Überarbeitung dieser Anforderungen an die Baumartenzusammensetzung ist geplant, damit der Klimawandel berücksichtigt werden kann. Eine Anwendung der Anforderungen ohne Anpassung widerspricht dem heutigen Kenntnisstand (vgl. TreeApp, www.tree-app.ch, und Frehner et al. 2018).

Tabelle 2. Stammzahl-Sollwerte [SW, N/ha] für die Verjüngung für Anwendung auf Bestandesebene. Gewichtung: Anwuchspflanzen halb, Aufwuchspflanzen einfach, Nachwuchspflanzen dreifach. Für Schutzwälder gelten die oberen Sollwerte, für Nicht-Schutzwälder je nach Ansprüchen an die Waldleistungen die unteren oder die oberen. Die Sollwerte geben die Stammzahl der waldbaulich erforderlichen und nicht die der im Mittel zu erwartenden Verjüngung an. Der obere Sollwert im Plenter- und Dauerwald in den Höhenstufen kollin – hochmontan wurde von 2667 auf 2700/ha aufgerundet.

Waldstruktur	Höhenstufe			
	kollin – hochmontan		subalpin und obersubalpin	
	Unterer SW	Oberer SW	Unterer SW	Oberer SW
Plenter- und Dauerwald	2000	2700	1500	2000
Gleichförmige Verjüngungsbestände, Überführungsbestände und Störungsflächen	3000	4000	2250	3000

Kasten 1. Anwendungsbeispiel der Stammzahl-Sollwerte.

Es ist ein Überführungsbestand der obermontanen Stufe im Schutzwald zu beurteilen. Wegen der Lage im Schutzwald gilt der obere → Sollwert, der gemäss Tabelle 2 4000/ha beträgt. Wenn es nur Anwuchs-, Aufwuchs- oder Nachwuchspflanzen gäbe, könnte man die 4000/ha erreichen mit 8000/ha Anwuchspflanzen (10-39 cm hoch, halbes Gewicht), 4000/ha Aufwuchspflanzen (40-129 cm hoch, einfaches Gewicht), oder 1333 Nachwuchspflanzen (130 cm hoch bis 11,9 cm BHD, dreifaches Gewicht). Im konkreten Fall werden mit einer Inventur auf 10 Probeflächen 2000/ha Anwuchspflanzen, 1500/ha Aufwuchspflanzen und 300/ha Nachwuchspflanzen festgestellt. Mit der Gewichtung ergeben sich $2000 \cdot 0,5 + 1500 \cdot 1 + 300 \cdot 3$ Pflanzen/ha = 3400 Pflanzen/ha. Der Stammzahl-Sollwert von 4000/ha ist damit nicht erreicht. Im Nicht-Schutzwald wäre aber der untere Sollwert von 3000/ha erreicht.

Kasten 2. Vergleich der Stammzahl-Sollwerte mit den in Brang et al. (2017) vorgeschlagenen.

Bei der Untersuchung von 30 grossen Lücken in hochmontanen und subalpinen Fichten- und Fichten-Tannenwäldern wurde ein Sollwert von 2000/ha für Auf- und Nachwuchs verwendet. Die Sollwerte gemäss Tabelle 2 sind hochmontan (subalpin) im Schutzwald 4000/ha (3000/ha), im Nicht-Schutzwald 3000/ha (2250/ha). Allerdings würden die gemessenen Werte gemäss Tabelle 2 anders gewichtet als in Brang et al. (2017): Anwuchs halb (gleich), Aufwuchs einfach (gleich), Nachwuchs dreifach (statt gar nicht). Die neuen Sollwerte liegen also etwas höher als in Brang et al. (2017), aber dies wird durch die Berücksichtigung des Nachwuchses und durch die tieferen Sollwerte für die subalpine Stufe teilweise kompensiert.

5.3 Sollwerte für andere Verjüngungsindikatoren

Die vorhandenen → Sollwerte für → Deckungsgrade (NaiS, Frehner et al. 2005) sollen weiterverwendet werden. Ihre Plausibilität wird ebenfalls in den Versuchsflächen des Projekts Gebirgswaldverjüngung¹⁴ getestet. Sollwerte für Einwuchsraten von Nachwuchsstämmen und für den Flächenanteil ohne Verjüngung werden nicht weiterverfolgt.

¹⁴ <https://www.wsl.ch/de/projekte/gebirgswaldverjuengung.html>

Hingegen ergeben sich Perspektiven für den Flächenanteil mit Verjüngung, der Bezüge zur Stammzahl aufweist. Vorauszuschicken ist, dass es sich dabei eigentlich um zwei Sollwerte handelt: einen Sollwert für die Probefläche, der den Suchradius bestimmt, und einen Sollwert für den Anteil bestockter (Probe-)flächen. Auf Ebene Probefläche können bei Verwendung der k-Baum-Methode Sollwerte für die Stammzahl in Suchradien umgerechnet werden. Z.B. ergibt sich für 2000 Bäume pro ha ein maximaler Suchradius für eine kreisförmige Probefläche von 1.26 m (Kupferschmid & Gmür 2020) für Aufwuchs bzw. von ca. 2.2 m für Nachwuchs (der ja dreifach gewichtet wird, s. oben). Liegt bei Untersuchung von z.B. 20 Probeflächen der Anteil bestockter Flächen unter 100%, wird der Sollwert unter der unrealistischen Annahme einer regelmässigen Verteilung der Verjüngung verfehlt. Da die Verjüngung meist geklumpt verteilt ist, wird empfohlen, eine etwas grössere Fläche abzusuchen und den Sollwert für den Anteil bestockter Flächen zu reduzieren (z.B. auf 75%). Soll auch eine Mindestanforderung für gewisse Baumarten gelten, ist der maximale Suchradius der nächsten Bäume je Baumart an diese anzupassen. Bei einem Sollwert von 2000/ha und einem Mindestanteil von Tanne von 10% ergeben sich mindestens 200 Tannen/ha, woraus ein maximaler Suchradius von 4 m abgeleitet werden kann. Es ist festzuhalten, dass geprüfte Sollwerte für den Flächenanteil mit Verjüngung (= Flächenanteil bestockter Flächen) zum jetzigen Zeitpunkt fehlen.

6 Anwendung der Verjüngungsindikatoren

6.1 Für verschiedene Anwendungsfälle passende Indikatoren

Der Fokus dieses Konzeptpapiers liegt auf dem Verjüngungsindikator →Stammzahl und entsprechenden →Sollwerten. Die Anwendung dieses Indikators erfordert das Durchführen von Stichprobeninventuren, was aufwändig ist und auf wichtige Einzelfälle (z.B. Indikatorflächen, besonders wichtige Schutzwälder) oder Regionalinventuren beschränkt bleiben dürfte. Flächige oder punktuelle gutachtliche Verfahren (Beurteilung des Wildeinflusses in 4 Stufen, Fehr et al 2019) haben weiterhin ihren Wert und werden weiterhin der Regelfall bleiben. Für die in Kap. 2 genannten Entscheidungssituationen (= Anwendungsfälle) geben wir die unten stehenden Empfehlungen.

Zusatzinformationen zu Stammzahlen: Die Anwendung des Verjüngungsindikators Stammzahl mit den entsprechenden →Sollwerten liefert i.d.R. nur einen Teil der gesuchten Information. Es genügt nicht, erhobene Stammzahlen mit Sollwerten zu vergleichen, weil dies nur eine summarische Information über den aktuellen Verjüngungszustand ergibt. Nützliche Zusatzinformationen sind u.a.:

- Die **Grössenstruktur** der Verjüngung: Die Gewichtung der Grössenklassen der Verjüngung (Kap. 5.2) erlaubt es zwar, Bestände bei unterschiedlichen Anteilen der Grössenklassen einheitlich zu bewerten. Sie verdeckt aber auch wichtige Unterschiede, die auf die zeitliche Entwicklung zurückzuführen sind (es braucht Zeit, bis aus →Anwuchs →Nachwuchs wird) und die bei Betrachtung mehrerer Baumarten auf Gefährdungen hinweisen (wenn alle Baumarten im Anwuchs präsent sind, aber im →Auf- und Nachwuchs die häufig verbissenen fehlen, deutet das auf starken Wildhuftiereinfluss hin). Informativ kann auch die Präsenz von →Keimlingen (1jährig) und →Sämlingen (<10 cm) sein.
- Die **Baumartenzusammensetzung** der Verjüngung: Diese ist neben der Stammzahl eine wichtige Zusatzinformation zur Beurteilung der Zukunftsfähigkeit der Verjüngung.
- Weitere **Verjüngungshindernisse**: Für die Diagnose von Verjüngungsmangel sind Zusatzinformationen erforderlich, z.B. zur Bestandesstruktur (in dichten Beständen kommt wenig Verjüngung auf (s. Abbildung 4), v.a. von lichtbedürftigen Baumarten), zur Präsenz von

582 Samenbäumen, zur Konkurrenzvegetation und zur Häufigkeit und Stärke des Verbisses (s.
583 Kupferschmid et al. 2019, 2020).

584 **Nachweis von Veränderungen:** Wenn es wichtig ist, Veränderungen der Verjüngung nachzuweisen,
585 z.B. für die jagdliche Planung oder die waldbauliche Erfolgskontrolle, haben gutachtliche Verfahren
586 wegen der schlechten Reproduzierbarkeit ihre Grenzen. Stichprobenverfahren sind hier die erste
587 Wahl; sie erlauben z.B. zu beurteilen, ob →Anwuchs zu →Aufwuchs oder →Nachwuchs aufwachsen
588 kann. Bei gutachtlichen Verfahren können als Belege ergänzend **Fotoserien** von versicherten
589 Standpunkten aus angelegt werden, bei nicht stark überschirmten Beständen eignen sich auch
590 Drohnenbilder.

591 **Anwendungsfall «zu verjüngender Einzelbestand»:** Bei der Festlegung von waldbaulichen Eingriffen
592 in →Verjüngungsbeständen im gleichförmigen Hochwald, Überführungsbeständen oder im Plenter-
593 und Dauerwald ist die →Vorverjüngung zu beurteilen. Dazu reicht eine gutachtliche Einschätzung
594 (→Deckungsgrad, Distanz zwischen →Verjüngungsansätzen), weil die Vorverjüngung ohnehin als
595 Folge des Eingriffs durch Nachverjüngung ergänzt wird. Wichtig ist dabei oft die lokale Präsenz
596 besonders erwünschter Baumarten, die durch den Eingriff gefördert werden sollen, und die
597 Einschätzung des Huftiereinflusses auf die Vor- und die erwartete Nachverjüngung. Hierbei sind
598 bereits →Sämlinge wichtig, weil sich an ihnen das Verjüngungspotenzial ablesen lässt. Die
599 **Erfolgskontrolle** des Eingriffs sollte erst dann erfolgen, wenn sich die Nachverjüngung einstellen
600 konnte, was – in höher gelegenen Gebirgswäldern – oft zwanzig Jahre und mehr dauern kann. Auch
601 hier genügen i.d.R. gutachtliche Verfahren.

602 Für **besonders wichtige Schutzwälder**, in denen nicht eindeutig genug Verjüngung vorhanden ist und
603 zur Sicherung der Schutzwirkung allenfalls Massnahmen wie Verbisschutz und/oder Pflanzung
604 erforderlich sind, empfehlen wir **Stichprobeninventuren** auf Probeflächen (mit fixem Radius oder k-
605 Baum-Methode) mit Anwendung der Stammzahl-Sollwerte. Wichtig ist dabei, dass ein Unterschreiten
606 von Sollwerten nicht einfach Handlungsbedarf auslöst; in vielen Fällen muss man der Verjüngung
607 einfach die nötige Zeit zur Etablierung geben. In wichtigen Schutzwäldern kann auch die Kartierung
608 von verjüngungsfreien Flächen (Kap. 4.4) wichtige Informationen liefern. Zur Interpretation der
609 Ergebnisse sollten mit Stichprobeninventuren erfasste Wälder ergänzend auch gutachtlich beurteilt
610 werden. Wenn in Schutzwäldern eindeutig genug Verjüngung vorhanden zu sein scheint, reicht es,
611 den Deckungsgrad zu schätzen oder, wenn die Verjüngung stark geklumpt auftritt, für die
612 Schutzwirkung relevante Leerstellen zu dokumentieren.

613 Wenn unklar ist, ob die Verjüngung dicht genug ist, sollten quantitative Verfahren zum Einsatz
614 kommen: Stichprobeninventuren oder, besonders im Schutzwald, das Dokumentieren der
615 Leerstellen. Wenn die Verjüngung stark geklumpt auftritt (besonders im Schutzwald) kann die
616 →Dichte von →Verjüngungsansätzen geschätzt und es können Leerstellen erfasst werden.

617 **Anwendungsfall «Verjüngter Bestand in der Jungwuchsstufe»** inkl. Störungsflächen: Hier gilt
618 dasselbe wie bei Erfolgskontrollen im vorigen Fall.

619 **Anwendungsfall «Grossflächige Beurteilung der Verjüngungssituation»**, z.B. zur Ableitung von
620 Handlungsprioritäten in der Schutzwaldpflege: Die ungelösten Schwierigkeiten bei der Interpretation
621 von Stichprobendaten auf grösseren räumlichen Skalen werden in Kap. 6.2 aufgezeigt. Zunächst
622 sollten nicht verjüngungsrelevante Bestände (bzw. Probeflächen) ausgeschlossen oder separat
623 ausgewertet werden. Dann stellt sich das Problem, dass in verjüngungsrelevanten Beständen die
624 →Sollwerte zwischen Probeflächen variieren können, weil z.B. die Bestandesstruktur variiert. Der
625 Vergleich von mittleren mit der Grössenklasse gewichteten Stammzahlen mit Sollwerten ist daher
626 nicht zielführend, auch wenn Extremwerte der Stammzahl eliminiert werden (vgl. den Vorschlag der
627 Kappung in Kap. 6.2). Bei Probeflächenverfahren kann als Zusatzinformation bei nicht zielkonformer

Baumartenzusammensetzung ergänzend geprüft werden, ob in der nahen Umgebung (die maximale Suchdistanz ist zu definieren) die fehlenden Baumarten in der Verjüngung vorhanden bzw. entwicklungsfähig sind (ja/nein).

Anwendungsfall «Jagdliche Planung»: Bei der Beurteilung des Wildeinflusses in einem Wildraum, einer Region oder im Kanton als Entscheidungsgrundlage für die jagdliche Planung sind gutachtliche Verfahren einsetzbar. Falls der Handlungsbedarf aus forstlicher Sicht gross scheint und trotzdem umstritten ist, sind quantitativ abgestützte Verfahren einzusetzen, d.h. Stichprobeninventuren. Das von Kupferschmid et al. (2019) vorgeschlagene Verfahren, das auf der k-Baum-Stichprobe basiert, scheint uns dabei wegen der Aussagekraft bzgl. Auswirkungen auf die Baumartenzusammensetzung (Entmischung) und der Effizienz am geeignetsten. Es liefert auch →Stammzahlen und damit die Grundlage für Vergleiche mit Stammzahl-Sollwerten und Anteile an bestockten Flächen.

Eichung gutachtlicher Verfahren: Zur Eichung gutachtlicher Verfahren seinen uns Demonstrationsobjekte wichtig, in denen gutachtliche und quantitative Verfahren parallel angewendet wurden, z.B. die zehn Versuchsflächen im laufenden Projekt Gebirgswaldverjüngung.

Methodische Aspekte von Stichprobeninventuren: Bei Stichprobeninventuren ist zu entscheiden, für welchen Perimeter sie Aussagen liefern sollen. Teilflächen, in denen die Verjüngung nicht relevant ist (z.B. grössere wenig geneigte Flächen in einem Schutzwaldperimeter), können ausgeschlossen werden. Auch zu entscheiden ist, wie stark beschädigte, nicht entwicklungsfähige oder krankheitsgefährdete Pflanzen behandelt werden (Aufnahme, Aufnahme mit halber Gewichtung oder keine Aufnahme), z.B. die sich oft üppig verjüngenden Eschen, die wegen der Eschenwelke kaum aufwachsen dürften. Ob die Dichteschätzung pro Probefläche aus einem Probekreisverfahren oder aus der k-Baum-Stichprobe stammt, ist für die Anwendung von Verjüngungssollwerten kaum relevant.

Informationen zu Huftiereinfluss: Stichprobeninventuren ermöglichen bei Erfassung von Zusatzinformationen auch qualifizierte Aussagen darüber, welche Faktoren die Stammzahl und die Baumartenzusammensetzung beeinflussen. Dies erlaubt es besser einzuschätzen, wieweit der Huftiereinfluss tatsächlich ein Problem ist. Die von Kupferschmid et al. (2019) sowie von Kupferschmid & Gmür (2020) vorgeschlagenen Indikatoren (Verbissstärke, verbissbedingter Höhen(zuwachs)verlust, Durchwuchszeit, wenn möglich auch verbissbedingte Mortalität) liefern relevante Zusatzinformationen zur Verbisshäufigkeit.

6.2 Soll-Ist-Vergleiche mit Verjüngungs-Stammzahlen

Nutzung von Zusatzinformationen: Bei Soll-Ist-Vergleichen ist das zu Beginn von Kap. 6.2 zur Verwendung von Zusatzinformationen Gesagte zu beachten. Ein Soll-Ist-Vergleich der →Stammzahl alleine ist wenig aussagekräftig.

Anwendung auf einer oder mehreren Probeflächen: Bei der Auswertung von Verjüngungs-Stammzahlen (und schon bei der Inventur) ist die normale räumliche Variabilität der Verjüngungsdichte zu beachten. Stammzahl-Sollwerte sollen grundsätzlich auf Ebene Probefläche angewendet werden, woraus in einer Stichprobeninventur die Anteile von Probeflächen mit a) nicht erfülltem unteren →Sollwert, b) erfülltem unteren (oder: zwischen dem unteren und oberen) und c) erfülltem oberen Sollwert berechnet werden können. Die räumliche Variation der Stammzahl der Verjüngung führt bei den üblichen kleinen Probeflächen (20 m², 50 m²) dazu, dass sogar bei waldbaulich genügender Verjüngung der Sollwert auf einem gewissen Anteil von Probeflächen unterschritten wird. Die Höhe dieses Anteils ist ohne weitere Forschung unbekannt; bei zufällig oder regelmässig verteilter Verjüngung ist er geringer als bei stark geklumpter Verjüngung; bei tiefen Sollwerten ist er ebenfalls

grösser als bei hohen, bei kleinen Probeflächen grösser als bei grossen¹⁵, und natürlich nimmt der Anteil auch bei zunehmender Stammzahl ab. Ohne Kenntnis über die räumliche Verteilung (Abweichung von einer zufälligen Verteilung) und deren Folgen für die relative Häufigkeit von Probeflächen mit erreichten bzw. unterschrittenen Sollwerten sind Auswertungen pro Probefläche kaum interpretierbar. Im Gegensatz hierzu scheinen immerhin Probeflächendaten aus dem gleichen Bestand (z.B. aus einer Abteilung von 5-20 ha), wo die Bestandesstruktur einigermaßen homogen ist, noch relativ gut in Soll-Ist-Vergleichen interpretierbar. Schwierig ist dagegen die Anwendung auf grössere heterogene Waldkomplexe, z.B. ganze Forstbetriebe. Immerhin kann in diesem Fall gezeigt werden, wo welche Baumarten in welchen Grössenklassen auftreten. Und in beiden Fällen (Bestand / Waldkomplex, Region, Kanton) können bei wiederholten Inventuren zeitliche Veränderungen nachgewiesen werden, d.h. Trends in der Stammzahl nach Grössenklasse und Baumart und im Anteil Probeflächen mit erreichtem Sollwert.

Anwendung auf Mittelwerte: Zusätzlich zum im letzten Abschnitt vorgebrachten Einwand gegen Soll-Ist-Vergleiche mit Mittelwerten aus mehreren Probeflächen (alle Probeflächen einer Inventur oder von Inventurstraten) ist zu beachten, dass Probeflächen mit hoher Stammzahl das Ergebnis stark beeinflussen können. Wir verweisen dazu auf die Vorschläge in Kap. 4.1 und auf folgendes Beispiel.

Auswertungsbeispiel mit LFI-Daten: Zwei Beispiel-Auswertungen zeigen wir im Folgenden. Beide berücksichtigen nicht, dass nicht alle Probeflächen verjüngungsrelevant sind. Eine Anwendung von Stammzahl-Sollwerten auf mittlere →Stammzahlen ist zudem fragwürdig (s. oben). In Fichten-Tannen-Wäldern waren die Sollwerte scheinbar – im Mittel – in locker bestockten und durchforsteten Beständen ($SDI \leq 800$), aber auch in dicht bestockten Beständen ($SDI 801-1200$) erfüllt (Abbildung 4A). In dieser Auswertung wurden extrem hohe Dichtewerte nicht gekappt. Bei sehr dichten Beständen mit $SDI > 1200$ scheint der Sollwert von 3000/ha erreicht zu sein, der von 4000/ha aber nicht. Wurden Werte pro Grössenklasse, die 10'000/ha überschreiten, auf 10'000/ha¹⁶ gekappt (Abbildung 4B), dann verminderten sich die mittleren Stammzahlen und die Standardfehler erheblich. Die Kappung wirkte sich v.a. im →Anwuchs aus, weniger im →Aufwuchs und kaum im →Nachwuchs.

Angenommen es handle sich ausschliesslich um verjüngungsrelevante Bestände (was nicht zutrifft), ergibt sich bei Anwendung der nach Grössenklassen gewichteten →Sollwerte, dass ohne Kappung (Abbildung 4A) in Beständen mit $SDI \leq 800$ die Sollwerte (Tabelle 2) – im Mittel – erreicht werden, während sie bei höheren SDI-Werten je nach angenommenem Sollwert erreicht oder nicht erreicht werden. Bei Begrenzung der Probeflächenwerte pro Grössenklasse auf 10'000/ha (Abbildung 4B) ist nur in Beständen mit $SDI \leq 400$ jeder Sollwert erreicht, zwischen SDI 401 und 1200 kommt es auf den angenommenen Sollwert an, während bei $SDI > 1200$ auch der tiefste Sollwert nicht erreicht wird.

704

705

¹⁵ Bei einer Probefläche von 20 m² Fläche bedeutet ein →Sollwert von 2000/ha, dass 4 (einfach gewichtete) Bäumchen erwartet werden. Fehlt nur ein Bäumchen, dann wird der Sollwert nicht erreicht. Beim Anteil der Baumarten ist die Beurteilung ebenfalls sehr unpräzise, weil 1 von 4 Bäumchen schon 25% ausmacht.

¹⁶ Die Dichte von 10'000/ha entspricht etwa der maximalen Stammzahl, mit der Kulturen begründet werden (Nikel et al. 2008). Es wurde angenommen, dass ab einer Dichte von 10'000/ha (d.h. eine Pflanze pro m²) weitere Verjüngungspflanzen für die zukünftigen Waldleistungen nicht relevant sind.

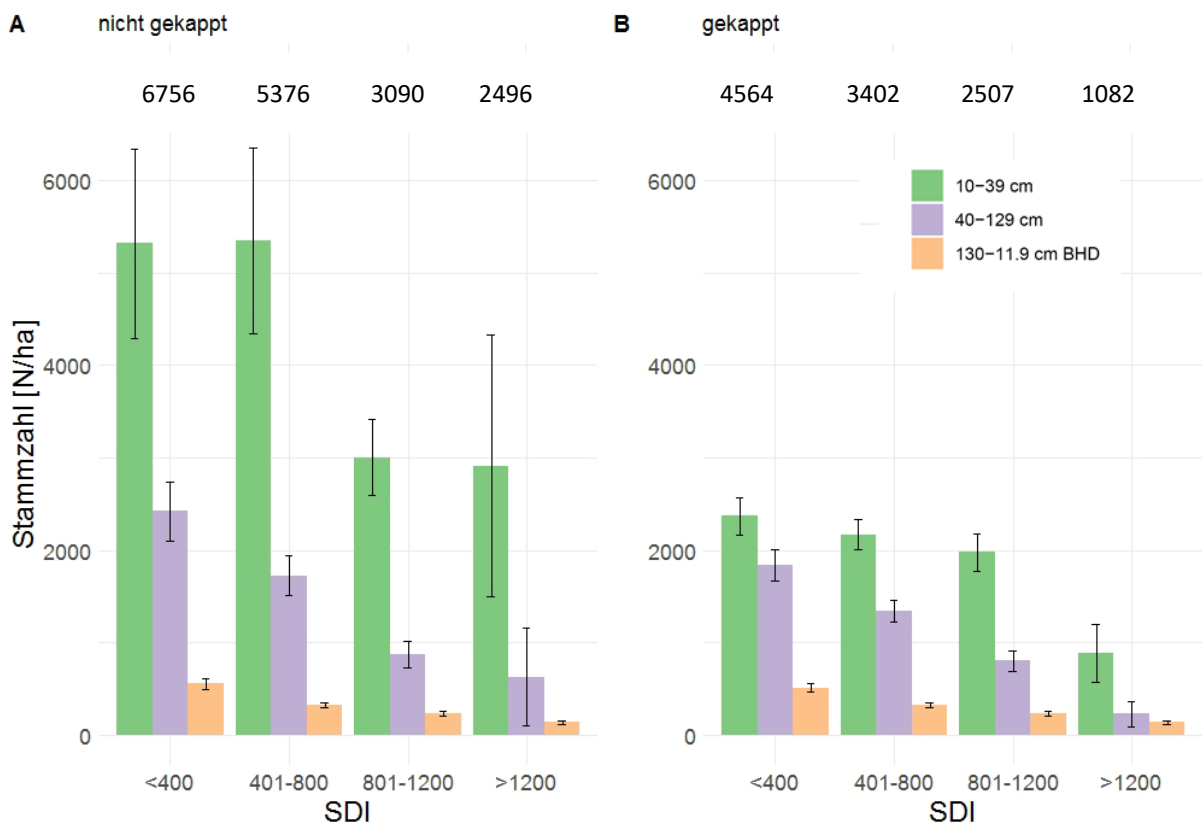


Abbildung 4. Verjüngungsdichte von Fichte und Tanne zusammen in Fichten-Tannen-Wäldern mit unterschiedlichem Bestandesdichteindex (SDI) gemäss LFI4. Dargestellt sind Mittelwert und einfacher Standardfehler. Die Zahlen über den Säulen sind die mit den Faktoren pro Grössenklasse gewichteten Stammzahlen. (A) Berechnung mit unveränderten Dichten, (B) Berechnung mit Kappung hoher Dichten pro Grössenklasse bei 10'000/ha (Werte von >10'000/ha wurden auf 10'000/ha gesetzt). N = 1163 Probeflächen.

In einem zweiten Beispiel wurden die Verjüngungssollwerte auf LFI-Daten aus dem gesamten Schweizer Wald angewendet (Tabelle 3). Auch hier wurden hohe Einzelwerte einerseits belassen, andererseits auf 10'000/ha pro Grössenklasse gekappt. Die Auswertung ergibt, dass die Verjüngung im Mittel den Sollwert von 4000/ha (z.B. für Schutzwälder in Überführung) in der obermontanen Stufe bzw. von 3000/ha ab der subalpinen Stufe nicht erreicht. Mit zunehmender Höhenstufe nehmen die Verjüngungsstammzahlen und damit auch die gewichteten Stammzahlen wesentlich ab. Diese Auswertung berücksichtigt nicht, ob die Baumartenzusammensetzung standörtlich passt.

7 Weiterer Entwicklungsbedarf

Wir empfehlen, die hier vorgeschlagenen Indikatoren und Sollwerte vor breiter Anwendung zu verifizieren, v.a. mit LFI- und kantonalen Verjüngungsdaten, aber auch durch Vergleich mit anderen Sollwerten (Abbildung 1). Dann sollten diese Indikatoren und Sollwerte als vorläufiges Ergebnis für Praxistests freigegeben werden. Die Praxisbeispiele sollten dabei vielfältig sein, also unterschiedliche Waldtypen und Bestandesstrukturen abdecken. Die Plausibilität des Resultats der Beurteilung sollten dann ExpertInnen vor Ort überprüfen. Im laufenden Projekt «Gebirgswaldverjüngung» soll diese Überprüfung in allen Versuchsflächen durchgeführt werden. Nötig wären ca. 50-100 Tests, die teilweise im Rahmen von Bachelorarbeiten durchgeführt werden könnten.

Tabelle 3. Anwendung der Verjüngungssollwerte auf LFI-Verjüngungsdaten (LFI3, 2009-2017). Mittlere Stammzahlen der Gesamtverjüngung nach Höhenstufen gemäss LFI und Grössenklassen. U = ungekappter Wert, G = gekappter Wert. Werte unter den Sollwerten für Schutzwälder in Überführung (4000/ha von kollin/submontan bis obermontan bzw. 3000/ha untersubalpin/obersubalpin sind rot hervorgehoben).

Höhenstufe (# Probeflächen)	Grössenklasse	Stammzahl-Mittelwert [N/ha]		Anteil [%]		Gewichtung	Gewichtete Stammzahl [N/ha]	
		U	G	U	G		U	G
kollin/submontan (1471)	10-39 cm	28834	4641	78	54	0,5	14417	2320
	40-129 cm	6754	3116	18	36	1	6754	3116
	130-11.9 cm BHD	1160	856	3	10	3	3480	2568
	Total	36748	8613				24651	8004
untermontan (1221)	10-39 cm	20700	4247	78	56	0,5	10350	2124
	40-129 cm	5092	2630	19	35	1	5092	2630
	130-11.9 cm BHD	861	691	3	9	3	287	230
	Total	26653	7568				15729	4984
obermontan (1271)	10-39 cm	9363	2961	73	56	0,5	4681	1481
	40-129 cm	2829	1867	22	35	1	2829	1867
	130-11.9 cm BHD	568	508	4	10	3	189	169
	Total	12760	5336				7699	3517
untersubalpin (1042)	10-39 cm	3707	1815	65	63	0,5	1854	908
	40-129 cm	1639	1247	29	37	1	1639	1247
	130-11.9 cm BHD	359	346	6	10	3	120	115
	Total	5704	3405				3613	2270
obersubalpin (247)	10-39 cm	1072	654	56	51	0,5	536	372
	40-129 cm	520	416	29	32	1	520	416
	130-11.9 cm BHD	225	221	12	17	3	75	74
	Total	1817	1291				1131	862

Wir empfehlen weiter, mit Simulationsmodellen (z.B. ForClim) zu prüfen, wie sich Bestände bei unterschiedlicher Verjüngungsdichte (Stammzahl beim Sollwert, deutlich unter und über dem →Sollwert) entwickeln.

Bei den gutachtlichen Verfahren empfehlen wir, den Vorschlägen von Fehr et al. (2019) zu folgen. Wir vermuten, dass auch gutachtliche Verfahren noch weiterentwickelt werden können. Denkbar ist ein Set von beobachtbaren qualitativen Indikatoren, deren Kombination die Diagnose erleichtern könnte.

Die hier vorgeschlagenen Indikatoren und →Sollwerte können nicht alle Praxisfragen zur Verjüngung beantworten. Das war auch nicht der Anspruch dieses Konzeptpapiers. Zum Beispiel liefern sie per se keine Information zu den Gründen für Verjüngungshindernisse. Dazu braucht es in Stichprobeninventuren erhobene Zusatzdaten oder gutachtliche Einschätzungen, z. B. zu dem Auftreten von Hochstauden, Moderholz, der Präsenz von Samenbäumen oder den Lichtverhältnissen. Auch Totverbiss kann damit nicht nachgewiesen werden. Sie können aber helfen, die waldbauliche Argumentation bei Verjüngungsentscheiden quantitativ zu untermauern und damit nachvollziehbarer zu machen.

8 Literatur

- Aldinger E, Michiels HG. 2001. Schlussfolgerungen zur natürlichen Wiederbewaldung in Baden-Württemberg aus standortkundlicher Sicht – Kriterien zur Beurteilung der Naturverjüngung auf Sturmwurfflächen. In: Huss J, Hehn M (Hrsg.): Wiederbewaldung von Sturmflächen. Waldbauliche Strategien in Forschung und Praxis: Erfahrungen und Empfehlungen. Freiburger Forstliche Forschung 25: 123-131.
- Ammann P. 2012. Jungwaldpflegekonzepte mit biologischer Rationalisierung. Zürcher Wald 44: 12-15.
- Anonymus. 2002. Diagnostic d'une régénération naturelle : protocole REGENAT, ONF. 4 S. + Anhang.
- Anonymus. 2004. Pflanzenzahlen bei der Kulturbegründung im Landeswald M-V; Unterbau und Voranbau; Behandlung kleiner Blößen. Hrsg. Landesforst Mecklenburg-Vorpommern. 7 S.
- Anonymus. 2008. Wildschaden-Kontrollsystem Vorarlberg (WSKS). Kurzanleitung. Hrsg. Amt der VlbG. Landesregierung – Abt. Vc-Forstwesen
<https://www.yumpu.com/de/document/read/24209573/merkblatt-wsks-300708-vorarlberg>
- Attenberger M, Eigenheer U. 2016. Nachhaltigkeitskontrolle Wald: Entscheidungsgrundlagen zum Indikator «Verjüngungssituation». Steckborn, naturkonzept AG. 24 S.
- [Badoux] (1983). Ertragstafeln. Tables de production. Fichte. Epicéa. Birmensdorf, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen.
- Bernasconi A, Gubsch M, Hasspacher B, Iseli R, Stillhard J. 2014. Schlussbericht des Projektes “Präzisierung Basis-Indikatoren Nachhaltigkeitskontrolle Wald”. Bundesamt für Umwelt, Bern. 57 S.
- Brang P, Duc, P. 2002. Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit einem neuen Modellansatz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 153: 219-227.
- Brang P, Nikolova P, Gordon R, Zürcher S. 2017. Auswirkungen grosser Verjüngungslücken im Gebirgswald auf Verjüngung und Holzzuwachs. Schlussbericht des Projektes Eingriffsstärke und Holzzuwachs im Gebirgswald. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 48 S. + Anhang
- Buchli J. 1997. Beurteilung des minimal notwendigen Verjüngungsanteils in subalpinen Schutzwaldkomplexen anhand eines Fallbeispiels in Sedrun. Diplomarbeit, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich: 85 S. + Anhang.
- Bühler U. 2005. Jungwaldentwicklung als Eingangsgrösse in die Jagdplanung: Erfahrungen aus dem Kanton Graubünden. Forum für Wissen 2005: 59-65.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2010. Vollzugshilfe Wald und Wild. Das integrale Management von Reh, Gämse, Rothirsch und ihrem Lebensraum. Umwelt-Vollzug Nr. 1012. 24 S.
- Burger T, Stocker R. 2000. Anleitung für das Aufnahmeverfahren zur Beurteilung der Waldverjüngung in Kanton Luzern, im Auftrag des KFA Luzern. 6 S.
- Dountshev A, Zhelev P. 2015. Natural and artificial regeneration of montane *Picea abies* forests in a cleared windthrow area in Vitosha naure park. Forestry Ideas 50: 293-305.
- Duc P, Brang P. 2003. Die Verjüngungssituation im Gebirgswald des Schweizerischen Alpenraumes. Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald 130: 31-50.
- Fehr M, Zürcher Gasser N, Schneider O, Burger T, Kupferschmid AD. 2019. Gutachtliche Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung (Essay). Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 170: 135-141.
- Frehner M, Wasser B, Schwitter R. 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 30 S. + Anhang.

- 798 Frehner M, Brang P, Kaufmann G, Küchli C. 2018. Standortkundliche Grundlagen für die
799 Waldbewirtschaftung im Klimawandel. WSL Berichte 66: 43 S.
- 800 Geyer J, Veuillen L, Weber S, Brang P. 2020. Trupppflanzungsexperimente mit Stieleiche und
801 Bergahorn in der Schweiz. Ergebnisse der Erhebungen 2017. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt
802 WSL: 47 S.
- 803 Gubelmann P, Huber B, Frehner M, Zischg A, Burnand J. & Carraro G. 2019. Schlussbericht des
804 Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel », Teil 1:
805 Quantifizierung und Verschiebung der Höhenstufengrenzen sowie des Tannen- und Buchenareals in
806 der Schweiz mit zwei Klimazukünften. Chur, Abenis AG & Sargans, Forstingenieurbüro Frehner. 194 S.
- 807 Gollut C, Rosset C. 2018. État de la planification forestière dans les cantons en 2017. Rapport final.
808 Zollikofen, Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL), division
809 Sciences forestières : 75 p.
- 810 Huber MO, Schwyzer A, Kupferschmid AD. 2018. A comparison between plot-count and nearest-tree
811 method in assessing tree regeneration features. Current Trends in Forest Research 2018(4): 11.
- 812 Kienast F, Fritschi J, Bissegger M, Abderhalden W. 1999. Modeling successional patterns of high-
813 elevation forests under changing herbivore pressure—responses at the landscape level. Forest
814 Ecology and Management 120: 35-46.
- 815 Konferenz für Wald, Wildtiere und Landschaft KWL. 2018. Wald und Wild – Positionspapier der KWL.
816 KWL, 4 S. (<https://www.kwl-cfp.ch/de/downloads>)
- 817 Kupferschmid AD, Brang P, Bugmann H. 2019. Abschätzung des Einflusses von Verbiss durch wildle-
818 bende Huftiere auf die Baumverjüngung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 170(3): 125-134.
- 819 Kupferschmid AD, Gmür PA. 2020. Methoden zur Einschätzung des Verbisseinflusses: Vergleich der
820 Messungen an den k nächsten Bäumchen mit Zählungen im Probekreis. Schweizerische Zeitschrift für
821 Forstwesen 171: 69-78.
- 822 Ladier J, Rey F, Dreyfus P. 2012. Guide des sylvicultures de montagne. Alpes du Sud françaises. ONF,
823 Irstea. 301 S.
- 824 MacLeod DA, Chaudhry MA. 1979. A Field Comparison of Distance and Plot Methods for
825 Regeneration Surveys. The Forestry Chronicle 55: 57-61.
- 826 Moog M. (pers comm). Vorlesung am Lehrstuhl für Forstliche Wirtschaftslehre, Technische
827 Universität München: Verbissbewertung FVA Freiburg.
- 828 Müller F. 2004. Mindest-Soll-Pflanzenzahlen für die Beurteilung des Wildeinflusses an vorhandenen
829 Verjüngungspflanzen. In: Reimoser F, Schodterer H, Reimoser S (eds): Erfassung und Beurteilung des
830 Schalenwildeinflusses auf die Waldverjüngung – Vergleich verschiedener Methoden des Wildeinfluss-
831 Monitorings ("WEM-Methodenvergleich"). BFW-Dokumentation 17. Hrsg. Bundesforschungszentrum
832 für Wald, Wien. 181 S.
- 833 Nickel M, Klemmt HJ, Seifert T, Pretzsch H. 2008. Wachstum der Fichte je nach Ausgangs-Stammzahl
834 und Behandlung. AFZ-DerWald 21: 1146-1151.
- 835 Nigsch N. 1998. Das Wildschaden-Kontrollsystem in Liechtenstein - erste Erfahrungen, AWNL
836 Waldverjüngungskontrolle Sommer 2000, S. 13 + Anhang.
- 837 Reimoser F. 1991. Richtlinien für das Wildschadenkontrollsystem im Bundesland Vorarlberg. 2. Teil:
838 Auswertungs- und Beurteilungskriterien, Verjüngungsziele (Sollwerte) und Toleranzgrenzen für das
839 Vergleichsverfahren im Auftrag der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz.
- 840 Reimoser F, Schodterer H, Reimoser S. 2014. Erfassung und Beurteilung des Schalenwildeinflusses auf
841 die Waldverjüngung - Vergleich verschiedener Methoden des Wildeinfluss-Monitorings («WEM-Me-
842 thodenvergleich»). BFW-Dokumentation 17. Hrsg. Bundesforschungszentrum für Wald, Wien. 181 S.

- 843 Rosset C, Bernasconi A, Hasspacher B, Gollut C. 2012. Schlussbericht des Projekts
844 «Nachhaltigkeitskontrolle Wald». Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften
845 HAFL, Pan Bern AG, Hasspacher&Iseli GmbH: 33 S. + Anhang.
- 846 Rüegg D, Burger T, Brang P. 2010. Methoden zur Erhebung und Beurteilung des Wildeinflusses auf
847 die Waldverjüngung. Umwelt-Wissen (1013): 67-91.
- 848 Schodterer H. 1998. Herleitung von Sollpflanzenzahlen als Beurteilungskriterium für die Auswertung
849 der Verjüngungs- und Verbissaufnahmen der österreichischen Waldinventur 1992-96. Forstliche
850 Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien 12: 281-287.
- 851 Schulze K. 1998. Herleitung waldbaulicher Zielvorgaben für Lebensraum- und Verbissgutachten.
852 Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien, Bd. 12: 241–263.
- 853 Schütz JP. 1987. Zur Auswahl der Ausleseebäume in der schweizerischen Auslesedurchforstung.
854 Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 138: 1037-1053.
- 855 Schütz JP. 2003. Waldbau III. Die Kunstverjüngung und die waldbauliche Planung. Vorlesungsskript, 6.
856 Semester, ETH Zürich.
- 857 ThüringenForst. 2009. Thüringer Forsteinrichtungsanweisung und Anweisung zur Fortschreibung der
858 Waldbiotopkartierung für den Staats- und Körperschaftswald 2010. Hrsg. ThüringerForst. 66 S.
- 859 Wolf W. 2012. Wiederbewaldung gefährdet. Verbissituation auf Sturm- und Käferflächen prekär.
860 Holzkurier. https://www.holzkurier.com/rundholz/2012/10/wiederbewaldung_gefaehrdet.html

861 Anhang 1: Übersicht über Stammzahl-Sollwerte

862 *Tabelle 4. In verschiedenen Ländern Mitteleuropas verwendete Sollwerte für die Dichte der*
 863 *Verjüngung (Grundlage für Abbildung 2). PFG = Probeflächengrösse, UD = Unterer Dichtewert, OD =*
 864 *oberer Dichtewert, UEH = untere Erfassungshöhe, OEH = obere Erfassungshöhe, OEB = oberer*
 865 *Erfassungs-BHD*

Quelle	Waldtyp	PFG [m ²]	UD [N/ha]	OD [N/ha]	UEH [cm]	OEH [cm]	OEB [cm]
Aldinger & Michiels (2001)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		2000				
Aldinger & Michiels (2001)	Fi-, Fi-Ta-Wald		1000				
Anonymus (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		6000	8000	20	100	
Anonymus (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		5000	7000	20	100	
Anonymus (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		8000	10000	20	100	
Anonymus (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		6000	8000	20	100	
Anonymus (2004)	Fi-, Fi-Ta-Wald		2500	3000	20	100	
Anonymus (2004)	Fi-, Fi-Ta-Wald		2000	2500	20	100	
Anonymus (2008)	Bergmischwald	25	2400				
Anonymus (2008)	Fi-, Fi-Ta-Wald	25	2400				
Bühler (2005)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	25	2250		10	130	11.9
Bühler (2005)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	25	4000		10	130	
Bühler (2005)	Bergmischwald	25	3000	4000	10	130	
Bühler (2005)	Fi-, Fi-Ta-Wald	25	2000	2500	10	130	
Bühler (2005)	Fi-, Fi-Ta-Wald	25	2000		10	130	
Bühler (2005)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	25	2000		10	130	
Bühler (2005)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	25	2500		10	130	
Bühler (2005)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	25	3000		10	130	
Burger & Stocker (2000)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		2000	2000	130	250	
Burger & Stocker (2000)	Bergmischwald		1000	1000	130	250	
Burger & Stocker (2000)	Fi-, Fi-Ta-Wald		1500	1800	130	250	
Burger & Stocker (2000)	Fi-, Fi-Ta-Wald		1500	1500	130	200	
Dountschev & Zhelev (2015)	Fi-Pflanzungen		2500	3000	40	60	
Duc & Brang (2003)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	28.2	1080		130	1000	11.9
Duc & Brang (2003)	Fi-, Fi-Ta-Wald	28.2	1120		130	1000	11.9
Duc & Brang (2003)	Fi-, Fi-Ta-Wald	28.2	1000		130	1000	11.9
Duc & Brang (2003)	Bergmischwald	28.2	800		130	1000	11.9
Kienast et al (1999)	Fi-, Fi-Ta-Wald		1500		10	130	
Ladier et al (2012)	Andere		800		50	500	4
Ladier et al (2012)	Andere		1100		50	500	4
Ladier et al (2012)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald		1500		50	500	4
Moog (pers comm)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	10	12000		0	20	
Moog (pers comm)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	10	6000		21	50	
Moog (pers comm)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	10	3000		51	130	
Moog (pers comm)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	10	40000		0	20	
Moog (pers comm)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	10	20000		21	50	
Moog (pers comm)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	10	10000		51	130	
Moog (pers comm)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	10	20000		0	20	
Moog (pers comm)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	10	10000		21	50	

Quelle	Waldtyp	PFG [m²]	UD [N/ha]	OD [N/ha]	UEH [cm]	OEH [cm]	OEB [cm]
Moog (pers comm)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	10	5000		51	130	
Müller (2004)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	100	1500		10	500	
Müller (2004)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	100	1500		10	500	
Müller (2004)	Fi-, Fi-Ta-Wald	100	1800		10	500	
Müller (2004)	Fi-, Fi-Ta-Wald	100	1800		10	500	
Müller (2004)	Fi-, Fi-Ta-Wald	100	2000		10	500	
Müller (2004)	Bergmischwald	100	2300		10	500	
Müller (2004)	Bergmischwald	100	2300		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	2500		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	2000		10	500	
Müller (2004)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	100	3000		10	500	
Müller (2004)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	3000		10	500	
Nigsch (1998)	Fi-, Fi-Ta-Wald	36	3000		0	150	
Reimoser (1991)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		3000	5000	100	200	
Reimoser (1991)	Fi-, Fi-Ta-Wald		3000		100	200	
Reimoser et al. (2014)	Bergmischwald	100	2300	3000	30	200	
Rüegg et al (2010)	Fi-, Fi-Ta-Wald	100	3000	3000	10	300	
Rüegg et al (2010)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald	100	700	700	10	300	
Rüegg et al (2010)	Ei-, Bu-, Laubmischwald	100	7000	7000	10	300	
Schodterer (1998)	Andere		2400		10	130	
Schodterer (1998)	Fi-, Fi-Ta-Wald		1500		10	130	
Schodterer (1998)	Fi-, Fi-Ta-Wald		1500		10	130	
Schodterer (1998)	Fi-, Fi-Ta-Wald		1750		10	130	
Schodterer (1998)	Bergmischwald		2500		10	130	
Schodterer (1998)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		2000		10	130	
Schodterer (1998)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		2000		10	130	
Schodterer (1998)	Ei-, Bu-, Laubmischwald		1500		10	130	
Schodterer (1998)	Lä-, Ar-, Fö-, Nadelwald		1500		10	130	
Schulze (1998)	Fi-Pflanzungen		2700	4000	40	60	
Schulze (1998)	Fi-Pflanzungen		2500	2500	40	60	
Schulze (1998)	Fi-Pflanzungen		3000	3000	40	60	
Schulze (1998)	Fi-Pflanzungen		1500	3000	40	60	
Schulze (1998)	Fi-Pflanzungen		3300	4200	40	60	11.9
ThüringenForst (2009)	Andere	5000	1500		20	160	
Wolf (2012)	Fi-, Fi-Ta-Wald		2500	2500	31	130	

867 Anhang 2: Grundlagen zu Verjüngungsansätzen

868 In NaiS (Frehner et al. 2005) wird als Verjüngungsindikator die →Dichte von →Verjüngungsansätzen
869 bzw. deren mittlerer Abstand verwendet. Die →Sollwerte dazu wurden hergeleitet wie hier erläutert
870 (Tabelle 5).

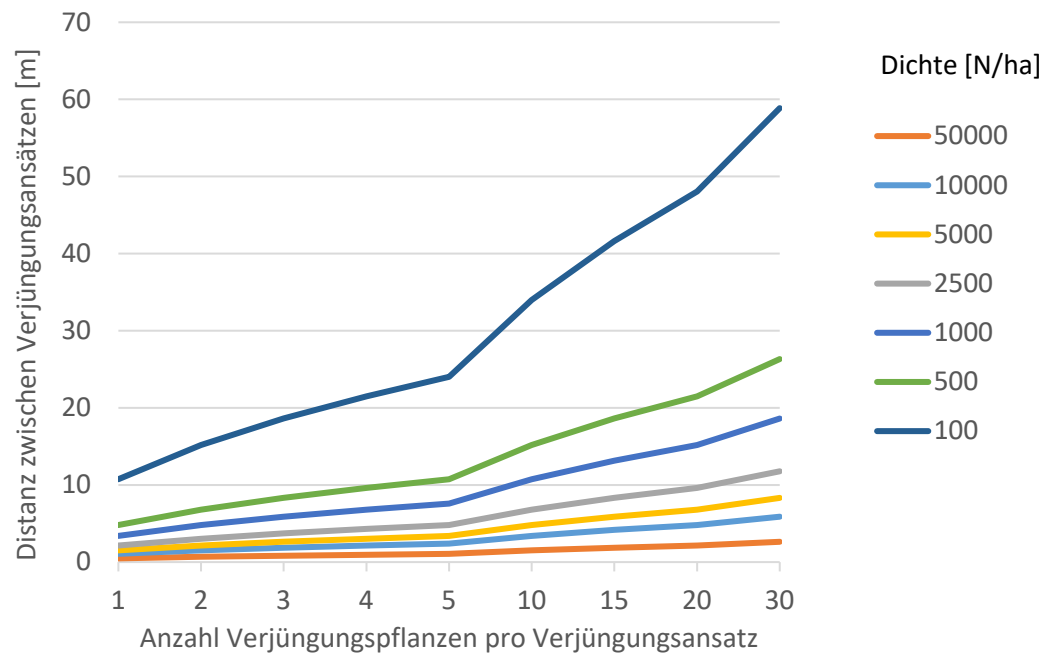
871 →Verjüngungsansätze werden als Kollektive von Aufwuchspflanzen bis und mit Dickung betrachtet.
872 Als maximales Bestandesalter wird das Alter Ende der Optimalphase verstanden. In der Zerfallsphase
873 oder in der Plenterwaldphase können auch ältere Baumtrupps vorhanden sein. Die Durchwuchszeit
874 des Jungwaldes bezieht sich auf Bäumchen von 40 cm Gesamthöhe bis 12 cm BHD. Für die
875 Deckungsgradzunahme in % wurde das Szenario realistisch aus Brang & Duc (2002) verwendet. Um
876 die Anzahl notwendiger →Verjüngungsansätze im Anforderungsprofil minimal zu bestimmen, wurde
877 die im Modell errechnete Anzahl für die obersubalpin und subalpine um 20% und für die
878 hochmontane Stufe um 30% reduziert, im Anforderungsprofil ideal um 10% vergrößert. Alle
879 Ergebnisse wurden auf 10er gerundet.

880 *Tabelle 5. Herleitung der Anzahl Verjüngungsansätze (VA) pro ha (subalpine und obersubalpine Stufe,*
881 *teilweise auch hochmontan). Als Verjüngungsansatz gelten mehrere Bäumchen (im Extremfall ein*
882 *Bäumchen) zwischen 40 cm Höhe und 12 cm BHD (Fläche im Durchschnitt 5 m², Radius 1,3 m), die im*
883 *Baumholz einem Baum entsprechen (Fläche im Durchschnitt 18 m², Kronenradius 2,4 m).*

Standortstyp	Max. Bestan- desalter [Jahre]	Durch- wuchszeit Jungwald [Jahre]	Anteil über- schirmter Kleinstan- dorte [%]	Deckungs- grad- Zunahme [%]	Jung- wald- morta- lität [%]	Notwen- diger Jungwald- deckungs- grad [%]	Fläche VA [m ²]	Anzahl VA [N/ha]	Anzahl VA [N/ha] / mittlerer Abstand Anforderu- ngsprofil minimal	Anforderu- ngsprofil ideal
57C, 57M, 57V, 58C, 60, 60A	300	50	75	260	20	4.3	5	86	70/12	100/10
47*, 53, 57BI, 57S, 58, 58L, 60E, 60*	300	50	60	260	20	3.5	5	70	60/13	80/12
46, 46M, 46*, 47, 47D, 47H, 47M, 48, 49, 49*, 50, 50P, 50*, 51, 51C, 52, 53*, 54, 55, 55*	300	25	90	260	10	2.3	5	46	30/19	50/15
59	450	50	60	260	30	2.6	5	52	40/16	60/13
59V	450	40	60	260	20	1.9	5	38	30/19	40/16
59*	450	50	40	260	50	2.5	5	50	40/16	60/13
59L, 59J	450	70	40	260	40	2.9	5	58	50/15	60/13
27*	150	20	60	260	30	3.2	5	64	50/15	70/12

884

885 Die →Dichte von →Verjüngungsansätzen [N/ha] kann bei Annahme der mittleren Anzahl Pflanzen
886 pro Verjüngungsansatz und einer geometrischen Verteilung der Verjüngungsansätze (es wird eine
887 Dreiecksverteilung angenommen) nach den in Schütz (1987) angegebenen Formeln berechnet
888 werden (Abbildung 4). Zum Beispiel sind bei einer Dichte von 500/ha und 5 →Verjüngungspflanzen
889 pro Ansatz die Verjüngungsansätze im Mittel 11 m voneinander entfernt.



890

891 *Abbildung 5. Distanz zwischen Verjüngungsansätzen bei unterschiedlicher Stammzahl und Anzahl*
892 *Pflanzen pro Verjüngungsansatz.*

893 *Tabelle 6. Umrechnung von Dichten in mittlere Distanzen bei Annahme einer Dreiecksverteilung (nach*
894 *Schütz 1987).*

N/ha	Mittlere Distanz [m]
500	4,81
1000	3,40
2500	2,15
5000	1,52
10000	1,07
25000	0,68
50000	0,48
100000	0,34
250000	0,21
500000	0,15

895

Anhang III

1 Anwendungsmöglichkeiten von Stammzahl-Sollwerten

2 Vorschlag zuhanden der KOK vom 1.4.2021

3 Autor: Peter Brang, Eidg. Forschungsanstalt WSL

4 Mit Inputs einer Begleitgruppe (Andrea Kupferschmid WSL, Marco Vanoni GR, Peter Bebi SLF-WSL, Samuel Zürcher
5 Fachstelle GWP, Catherine de Rivas Gillieron VD, Monika Frehner ETH, Pascal Gmür SG, Urs Felder LU, Petia
6 Nikolova WSL

7 Hier wird auf Wunsch des KOK-Ausschusses vom 20.1.2021 dargestellt, wie die Stammzahl-Sollwerte im
8 Konzeptpapier von Brang & Nikolova (2020) auf Daten aus unterschiedlichen Quellen angewendet werden
9 können. Das Fazit ist, dass die Sollwerte zwar auf Daten aus Verjüngungsinventuren anwendbar sind, aber
10 Entwicklungsbedarf beim Anteil der Probeflächen mit erfülltem Stammzahl-Sollwert besteht.

11

12 Fall 1: Probeflächen mit Zählung der Verjüngung nach Baumart, Grössenklasse und Verbiss

13 Hierzu gehören Indikatorflächen nach Rüegg (Rüegg et al. 2010) und kantonale Inventuren mit Verjüngungsdaten
14 (Kantone AI, AR, FR, NE) sowie LFI-Daten.

15 Das **Vorgehen** ist wie folgt:

- 16 – **Ausschluss von Probeflächen**, auf denen die Verjüngung ökologisch nicht möglich (zu dunkle Bestände) oder
17 nicht erforderlich ist (Bestände ohne Verjüngungsabsicht). Dies reduziert die betrachtete Grundgesamtheit auf
18 Bestände, in denen die Verjüngung ökologisch möglich und waldbaulich erwünscht ist.
- 19 – **Gewichtung** der Stammzahlen nach Grössenklasse (Konzeptpapier S. 15, Z. 481).
- 20 – Vergleich erhobener Stammzahlen mit Stammzahl-Sollwerten **auf Ebene Probefläche** (Konzeptpapier S. 19, Z.
21 663). Es resultiert die Information pro Probefläche, ob der Sollwert erfüllt ist (ja/nein)¹
- 22 – Zusammenfassung von Probeflächen zu Auswertestraten (z.B. eine Indikatorfläche) zum **Anteil der**
23 **Probeflächen mit erfülltem Sollwert**. Zur Interpretation dieses Anteils s. Kasten 1.
- 24 – **Berücksichtigung der «Qualität» der Verjüngung** (Baumartenzusammensetzung, Grössenklassen, Verbiss): Es
25 macht wenig Sinn, die Verjüngung nur aufgrund der Stammzahl-Sollwerte zu beurteilen. Qualitative Merkmale
26 sollen berücksichtigt werden:
 - 27 ○ **Baumartenzusammensetzung**: Eine Beurteilung der Baumartenzusammensetzung auf Ebene
28 Probefläche ist nicht sinnvoll, weil die Verjüngung ja nicht auf Flächen von 20 oder 50 m²
29 standortgerecht sein muss, sondern erst auf grösserer räumlicher Skala². Daher sollte in sinnvollen
30 Auswertestraten (z.B. alle Probeflächen im gleichen Standortstyp) durch Vergleich der festgestellten
31 Baumartenanteile mit kantonalen Baumartenempfehlungen (unter Einbezug des Klimawandels)
32 beurteilt werden, ob die Baumartenzusammensetzung standortgerecht ist. Ohne Angaben zum
33 Standortstyp ist schwierig zu beurteilen, ob Baumartenanteile standortgerecht sind.
 - 34 ○ **Grössenklassen**: Auch hier ist eine Betrachtung pro Probefläche nicht sinnvoll, weil der Entwicklungs-
35 zeitraum der Verjüngung (seit deren Einleitung) oft zwischen Probeflächen variiert. Die Probeflächen
36 können nach der Dauer seit der Verjüngungseinleitung zu Straten aggregiert werden. Die Erwartung
37 auf Bestandesebene ist, dass nach der Verjüngungseinleitung die Stammzahl zuerst im Anwuchs
38 ansteigt, später auch im Auf- und Nachwuchs, während der Anwuchs wieder abnimmt. Ein Alarm-
39 zeichen ist es, wenn trotz langem Entwicklungszeitraum die Nachwuchs-Stammzahl gering bleibt.
 - 40 ○ **Baumartenzusammensetzung nach Grössenklassen**: Bei der Auswertung der Baumartenzusammen-
41 setzung sollte auch geprüft werden, ob diese in allen Grössenklassen standortgerecht ist oder z.B. bei
42 den grössten Bäumchen stärker abweicht vom Soll als bei kleinen. Falls bei vom Schalenwild bevor-
43 zugten Arten wie Tanne, Eichenarten und Bergahorn kleine Bäumchen häufig, grössere Bäumchen

¹ Der Vergleich von Stammzahl-Mittelwerten (aus mehreren Probeflächen) mit Stammzahl-Sollwerten kann aus folgenden Gründen zu Fehlbeurteilungen führen: 1) Probeflächen mit extremen Werten (hohe Stammzahlen; hohe Stammzahlen für bestimmte Baumarten und/oder bestimmte Grössenklassen¹); 2) unterschiedliche pro Probefläche anzuwendende Sollwerte (z.B. unterschiedliche Höhenstufe).

² Bei grossen Probeflächen (≥50 m²) ist die Beurteilung evtl. sinnvoll.

44 aber selten sind, ist das – sogar noch ohne Informationen zum Verbiss – ein starkes Indiz für
45 Schalenwildeinfluss.

46 – **Trendanalyse:** Liegen Daten wiederholter Inventuren vor, können Trends der Stammzahl, der Probeflächen
47 mit erfülltem Stammzahl-Sollwert sowie der Baumartenzusammensetzung insgesamt und nach
48 Grössenklassen beurteilt werden.

49 – **Einflussfaktoren:** Bei der Interpretation der Ergebnisse sind der Verbiss, der Entwicklungszeitraum der
50 Verjüngung und die Präsenz von Samenbäumen zu berücksichtigen. Dazu sollte mindestens qualitative
51 Informationen vorliegen. Bzgl. Verbiss sei auf die Verfahren nach Rüegg und nach Kupferschmid verwiesen.

52 – **«Entwicklungsfähigkeit» von Einzelpflanzen** (Konzeptpapier S. 15, Z. 498): Wegen der Schwierigkeit, dies zu
53 beurteilen, soll darauf verzichtet werden. Es werden also alle Verjüngungspflanzen gezählt.

54 **Kasten 1. Interpretation des Anteils der Probeflächen mit erfülltem Sollwert.**

55 Auch bei reichlicher Verjüngung wird dieser Anteil selten 100% betragen; Stellen mit geringer Stammzahl sind
56 vielmehr normal, genau wie solche mit Stammzahlen weit über dem Sollwert. Spärlich verjüngte Stellen können
57 sogar erwünscht sein, denn sie können der Ausgangspunkt für horizontale und vertikale strukturierte Bestände
58 sein. Im Plenterwald ist z.B. eine flächendeckende Verjüngung «aus einem Guss» unerwünscht.

59 Wissenschaftliche Grundlagen für einen Sollwert für den **Anteil von Probeflächen mit erfülltem Stammzahl-**
60 **Sollwert** fehlen und sind zuerst zu erarbeiten. Der Wert hängt vermutlich vom Standort ab, d.h. es ist als Ergebnis
61 mit einer **Bandbreite zu fordernder Anteile** zu rechnen. Hinweise für diesen Anteil könnten liefern: 1) eine
62 Auswertung von Daten des LFI, von kantonalen Inventuren oder von Indikatorflächen; 2) Tests in Weiserflächen (s.
63 Konzeptpapier, wo solche Tests vorgeschlagen werden); 3) die Modellierung von Stichprobeninventuren auf
64 Flächen mit räumlich erfasster oder modellierter Verjüngung (Huber et al. 2018).

65 **Bekannte Probleme bei der Anwendung der Stammzahl-Sollwerte**

66 **Einteilung der Grössenklassen:** Im Konzeptpapier werden die Grössenklassen 10-39 cm (Anwuchs), 40-129 cm
67 (Aufwuchs) und Nachwuchs (130 cm bis 11,9 cm BHD) unterschieden. Kompatibel damit wird bei Inventuren auf
68 Indikatorflächen zw. den Grössenklassen 0,1-0,4 m, 0,4-0,7 m, 0,7-1,0 m und 1,0-1,3 m unterschieden, es fehlt
69 aber Information zu Bäumen über 130 cm Höhe. Damit wird die Stammzahl der Verjüngung unterschätzt.

70 **Mögliche Aussageschärfe pro Probefläche:** Bei der Datenauswertung spielt die mögliche Aussageschärfe eine
71 Rolle. Bei einer Probefläche von 20 m² erhöht 1 zusätzliches Bäumchen die Stammzahl um 500/ha, bei einer
72 Probefläche von 50 m² um 200/ha. Werden 2000/ha (4000/ha) als Sollwert gefordert, so kann dies auf einer
73 Probefläche von 20 m² erreicht werden mit: 8 (16) Anwuchspflanzen, 4 (8) Aufwuchspflanzen oder 2 (3 [sic!])
74 Nachwuchspflanzen (oft kommen verschiedene Grössenklassen vor). Anders ausgedrückt: nicht erfüllt wäre der
75 Sollwert bei 3 (7) Aufwuchspflanzen, 7 (15) Anwuchspflanzen oder 1 (2) Nachwuchspflanzen.

76 **Fall 2: Lokale oder regionale Inventur mit der 2-Baum-Stichprobe**

77 In diesem Fall kann die **Erfüllung des Stammzahl-Sollwertes pro Probefläche** – bei Annahme einer regelmässigen
78 räumlichen Verteilung – direkt aus der Distanz abgeleitet werden, in der das dem Probeflächenzentrum nächste
79 Bäumchen liegt. Dies kann man auch nur für bestimmte Baumarten und Grössenklassen anwenden. Da
80 Naturverjüngung nie regelmässig verteilt ist, wird die Suchdistanz über diese Soll-Distanz erhöht und auch nicht
81 gefordert, dass auf jeder Probefläche Verjüngung vorkommt. Wie gross der Anteil an Probeflächen mit erfülltem
82 Stammzahl-Sollwert sein soll, ist ebenso wie im Fall 1 offen.

83 **Fall 3: Gutachtliche Beurteilung in einem Bestand mit Verjüngungsabsicht**

84 Die oben beschriebenen Auswertungen von Probeflächen-Zählraten können sinngemäss qualitativ (gutachtlich)
85 auch im Einzelbestand angewendet werden. Dabei ist es hilfreich, die Sollwerte in mittlere Abstände in einem
86 quadratischen oder dreieckigen Gitternetz umzurechnen.

87 **Literatur**

88 Brang P, Nikolova P. 2020. Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren und -sollwerten. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt
89 WSL, 29 S.

90 Huber MO, Schwyzer A, Kupferschmid AD. 2018. A Comparison Between Plot-Count and Nearest-Tree Method in Assessing Tree
91 Regeneration Features. Curr Trends Forest Res: CTFR-122. DOI: 10.29011/ 2638-0013. 100022

92 Rüegg D, Burger T, Brang P. 2010. Methoden zur Erhebung und Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung.
93 Umwelt-Wissen (1013): 67-91.

Kurzes Zeitfenster für die Fichtennaturverjüngung in Gebirgsnadelwäldern

Tobias Kalt^{1,2}, Petia Nikolova^{1,*}, Christian Ginzler¹, Peter Bebi³, Kirsten Edelkraut², Peter Brang¹

¹Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)

²Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, ZHAW (CH)

³WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung, SLF (CH)

Abstract

In den vergangenen 30 Jahren wurden Schweizer Gebirgsnadelwälder stellenweise mit Kahlhieben verjüngt und nicht mit kleinen Lücken, wie dies bei der Gebirgsplenterung üblich ist. Wie sich die Entwicklung in den entstandenen Bestandeslücken nach 13 bis 29 Jahren präsentiert, wurde in zehn Kahlhieben in der Südostschweiz und im Tessin mit Luftbildanalysen und Stichprobeninventuren untersucht. Historische Luftbilder dienten zur Erfassung der Bestandesgeschichte und der Kronendachöffnung vor dem Schlag. Mit Stichprobeninventuren wurden die aktuelle Baumverjüngung und die Kleinstandorte inklusive Bodenbedeckung erhoben. Die Dichte der Verjüngung zwischen 10 cm Höhe und 12 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) lag im Mittel bei 5450 St./ha, wovon 71% Fichten waren. Der hohe Mittelwert kam durch Probeflächen mit sehr dichter Verjüngung zustande. Die Fichtenverjüngung stellte sich zum Grossteil nach dem Holzschlag ein; Vorverjüngung war im Nachwuchs (130 cm Höhe bis 12 cm BHD) zu 30% vorhanden. Die Vorverjüngung war dichter in Probeflächen, in denen der Vorbestand schon aufgelichtet gewesen war. Die höchsten Dichten der Nachverjüngung traten bei mittlerer bis hoher Kronendeckung vor dem Holzschlag auf. Verdämmende Konkurrenzvegetation reduzierte die Dichte der Vor- und der Nachverjüngung. Die Präsenz von Moderholz und Baumstümpfen war mit einer höheren Verjüngungsdichte verbunden, Wildhuftierverbiss dagegen mit einer geringeren. Bei wenig Konkurrenzvegetation tritt unmittelbar nach dem Schlagen einer grossen Lücke eine Phase mit hoher Verjüngungsgunst auf, in der die Verjüngung oft gelingt. Auf Standorten hingegen, die zur Bildung einer dichten Konkurrenzvegetation neigen, stellt sich die Verjüngung nur zögerlich ein, und sie ist auf Moderholz und Baumstümpfe angewiesen.

Keywords: natural regeneration, Norway spruce, Alpine forest, stereo image analysis, competing herbaceous vegetation

doi: 10.3188/szf.2021.0156

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail petia.nikolova@wsl.ch

Der grosse Schutzwaldanteil und die topografischen Rahmenbedingungen in den Schweizer Gebirgswäldern setzen dem waldbaulichen Spielraum enge Schranken. Das Bewirtschaftungsziel ist meist ein horizontal und vertikal kleinflächig strukturierter Wald mit hoher Resistenz gegenüber natürlichen Störungen und mit möglichst kontinuierlicher Verjüngung. Mittels plenterartiger waldbaulicher Eingriffe und kleiner Verjüngungshiebe werden solche kleinflächigen Strukturen gefördert (Schönenberger & Brang 2004). Die maximale Ausdehnung der resultierenden Lücken ist in den Richtlinien zur Schutzwaldpflege naturgefahrenbezogen festgelegt (Frehner et al 2005).

Im 19. Jahrhundert wurden Gebirgswälder oft im Kahlschlagsystem genutzt. Später jedoch wurde meist nur selektiv, d.h. durchforstungsartig oder mit kleinen Verjüngungshieben, eingegriffen. In einzelne Wälder, darunter auch Schutzwälder, wurden aber in den letzten 30 Jahren auch grosse Lücken geschlagen, die teils fast 100 m breit und mehrere 100 m lang waren. Waldbaulich gesprochen sind dies Kahlhiebe. Der Anreiz dafür waren das walddpolitische Bestreben, die Holznutzung zu steigern (BAFU, BFE, SECO 2017), und die Ansicht, damit die Holzerntekosten vermindern zu können (Brang et al 2017).

Seit 2013 untersuchen wir die Auswirkungen solch grosser Lücken auf den Holzzuwachs in Fich-

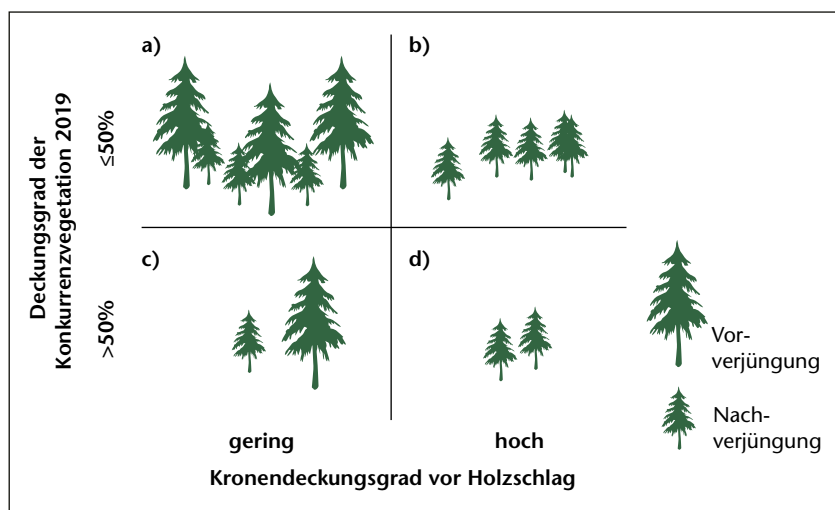


Abb 1 Konzeptuelles Modell für das Mass von Fichtenvor- und -nachverjüngung in Abhängigkeit des Kronendeckungsgrades vor dem Holzschlag und des Deckungsgrades der Konkurrenzvegetation bei der Stichprobeninventur im Jahr 2019. Auf die Situationen a) bis d) wird im Text Bezug genommen.

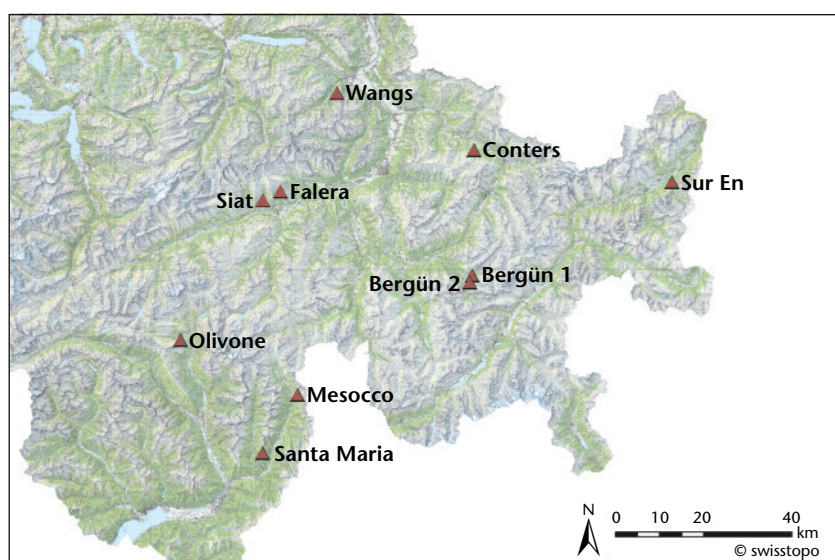


Abb 2 Standorte der untersuchten Lücken.

ten- und Fichten-Tannenwäldern und fokussieren dabei auf deren natürliche Verjüngung. Eine erste Studie umfasste 30 Lücken, in denen 8 bis 24 Jahre nach dem Holzschlag die Verjüngung ausserordentlich variabel angekommen war. Bei Lückenbreiten von 50 bis 70 m trat die Verjüngung nur spärlich auf, besonders an trockenen Standorten (Brang et al 2017). Deutlich war auch der negative Effekt von verdämmender Krautvegetation, zum Beispiel von Hochstauden und Reitgras, auf die Verjüngung. An verjüngungsgünstigen Standorten und bei zahlreicher Vorverjüngung war die Verjüngung aber teils auch in sehr grossen Lücken erfolgreich.

Trotz dieser umfangreichen Studie blieben viele Fragen offen, besonders was den Einfluss der Bestandesgeschichte betrifft. Im Gebirgswaldbau geht man davon aus (z.B. Ott et al 1997), dass der Deckungsgrad der Baumkronen die Entwicklung von verdämmender Krautvegetation stark beeinflusst und damit auch die Baumverjüngung. Negative Ef-

fekte einer dichten Krautvegetation auf die Verjüngung in Schweizer Gebirgswäldern wurden auch nach Windwurf beschrieben (Wohlgemuth et al 2002). Wie rasch nach einem Hieb oder einer Störung diese Effekte aber auftreten, ist noch kaum bekannt (Brang et al 2017, s. aber Vilhar et al 2015).

Zur Verifizierung der Ergebnisse der erwähnten Studie in 30 Lücken führten wir eine Folgestudie durch (Bachelorarbeit von Kalt 2019). Dabei gingen wir von einem konzeptionellen Modell aus, das postuliert, wie dicht die Verjüngung bei unterschiedlichen Ausgangslagen 10 bis 20 Jahre nach dem Schlag in grossen Lücken sein dürfte (Abbildung 1). Als massgebliche Einflussfaktoren erachteten wir 1) den Deckungsgrad von Kraut- und Grasarten, die die Ansamung und damit die Verjüngungsdichte nachgewiesenermassen negativ beeinflussen («Konkurrenzvegetation»: Hochstauden, Reitgras, Himbeeren, Farne), und 2) den Kronendeckungsgrad vor dem Schlagen der Lücken als Mass für die Chance, dass sich bereits unter Schirm Vorverjüngung eingestellt hat, sowie als Mass für die Abwesenheit von Konkurrenzvegetation. Wir erwarteten Vorverjüngung nur dann, wenn der Kronendeckungsgrad vor dem Schlagen der Lücken gering war (Situationen a und c). Im Gegenzug erwarteten wir viel Nachverjüngung, wenn der Kronendeckungsgrad vor dem Holzschlag hoch und damit die Konkurrenzvegetation noch nicht etabliert war (Situationen b und d, sogenanntes «Window of opportunity»). Im Weiteren erwarteten wir bei einer geringen Deckung durch Konkurrenzvegetation (Situationen a und b) mehr Nachverjüngung als bei hoher Deckung (Situationen c und d). Wir nahmen zudem an, dass die 2019 gefundene Konkurrenzvegetation auch auf die Art der Vegetation hinweist, die sich unmittelbar nach dem Holzschlag eingestellt hat.

Material und Methoden

Das methodische Konzept dieser Studie war die Kombination einer Inventur in grossen Bestandeslücken im Jahr 2019, die auf die Verjüngung und die Konkurrenzvegetation fokussierte, mit einer Analyse von historischen Stereoluftbildern, mit denen die Öffnung des Kronendachs in der Vergangenheit erfasst wurde. Im Zentrum unserer Studie stand die Fichtenverjüngung, da die Tannenverjüngung nur in einer von zehn Flächen auftrat.

Auswahl der Lücken

Aus den von Brang et al (2017) untersuchten 30 Lücken in Fichten- und Fichten-Tannen-Wäldern wurden zehn Lücken in der Südostschweiz und im Tessin ausgewählt (Abbildung 2). Die Lücken waren durchschnittlich 20 Jahre alt (Spannweite: 13 bis 29 Jahre) und 0.22 bis 3.31 Hektaren gross.

Gemeinde	Entstehung der Lücke (Jahr)	Breite/Länge (m)	Höhenlage (m ü.M.)	Exposition	Neigung (%)	Standorttyp	Verjüngungserfolg im Jahr 2014
Bergün 1	2006	83/330	1628	Nordwest	26	54/55*	ja
Olivone	1990	77/400	1462	Nord	44	47	ja
Siat	2004	44/200	1626	Südwest	51	57	ja
Sur En	2006	37/640	1467	Nordwest	35	53*/54	nein
Santa Maria i. C.	2006	44/330	1541	Südost	26	47	nein
Mesocco	1999	63/400	1506	West	54	47	nein
Wangs	1994	60/100	1542	Nord	48	50/51	nein
Bergün 2	2006	62/150	1836	Südwest	62	54A	nein
Falera	1993	63/150	1588	Südost	52	55	ja
Conters	1999	25/320	1595	Nordost	48	57V	ja

Tab 1 Merkmale der untersuchten Lücken: Bewirtschaftung und Standort. Der Standorttyp bezieht sich auf Frehner et al (2005).

Die untersuchten Lücken (Tabelle 1) wurden so ausgewählt, dass Lücken mit und ohne «Verjüngungserfolg» (Stand 2014) gleichermaßen vertreten waren. Die Beurteilung des Verjüngungserfolgs basierte auf einem Vergleich des Istwerts von Stammzahlen (= Verjüngungsdichten) mit Sollwerten, die in Brang et al (2017) entwickelt und auf die Lücken angewendet worden waren. Diese als Vorschlag zu betrachtenden Sollwerte stützen sich auf die Überlegung, dass kleinere Pflanzen (Anwuchs, 10 bis 39 cm hoch) eher ausfallen (Streit et al 2009) und daher weniger stark gewichtet werden als grössere Pflanzen (Aufwuchs, 40 bis 139 cm hoch, und Nachwuchs, 130 cm Höhe bis 12 cm BHD). Zudem wurde

auch versucht, nach Norden und nach Süden exponierte Lücken zu berücksichtigen.

Luftbildanalyse

Zur Ermittlung der Bestandesgeschichte, der Waldstruktur vor dem Holzschlag und der Lage der heutigen Lücken wurden Luftbilder verwendet. Pro Lücke wurden aus 7 bis 10 Luftbildern der Periode 1946/1956 bis 2017 (Abstand 5 bis 10 Jahre) frühere Eingriffsjahre mittels Expertenschätzung bestimmt. Als Datengrundlage für die Stereobildanalyse zur Bestimmung der Kronenbedeckung vor dem letzten Holzschlag dienten Schwarz-Weiss-Luftbilder von swisstopo aus dem Jahr 1985 (Abbildung 3a). Das Jahr 1985 wurde gewählt, weil es die Bestandesstruktur vor dem Schlag der ältesten Lücke zeigt. Zur Bestimmung der Lage der heutigen Lücken wurden Luftbilder aus dem Jahr 2017 verwendet (Abbildung 3b). Da die frühere Kronenbedeckung auf den Luftbildern nicht genau genug bestimmt werden kann, wurden die Kronendurchmesser der auf dem Luftbild sichtbaren Bäume aus den Baumhöhen geschätzt. Zuerst wurden im Bereich der Lücke (im Jahr 2017) die Spitzen des abgebildeten Bestandes mittels Stereobildanalyse lagerichtig korrigiert (Ackermann et al 2012). Durch Abzug des Wertes des digitalen Geländemodells swissALTI3D von der Höhe der digitalisierten Baumspitze wurden in der Folge die Baumhöhen berechnet. Aus allometrischen Beziehungen zwischen Baumhöhe und Kronendurchmesser wurde schliesslich rund um jede Kronenspitze eine lokale Kronenbedeckung simuliert. Die allometrischen Beziehungen wurden aus Daten ertragskundlicher Versuchsflächen (Forrester et al 2019) für lebende, stehende Fichten der entsprechenden Höhenstufen abgeleitet (Kalt 2019, Abbildung 3c).

Verjüngungsinventur

Die Verjüngungsinventur wurde im Juni und Juli 2019 durchgeführt. Das Zeitfenster wurde so gewählt, dass die Vegetation in den Lücken bereits ent-

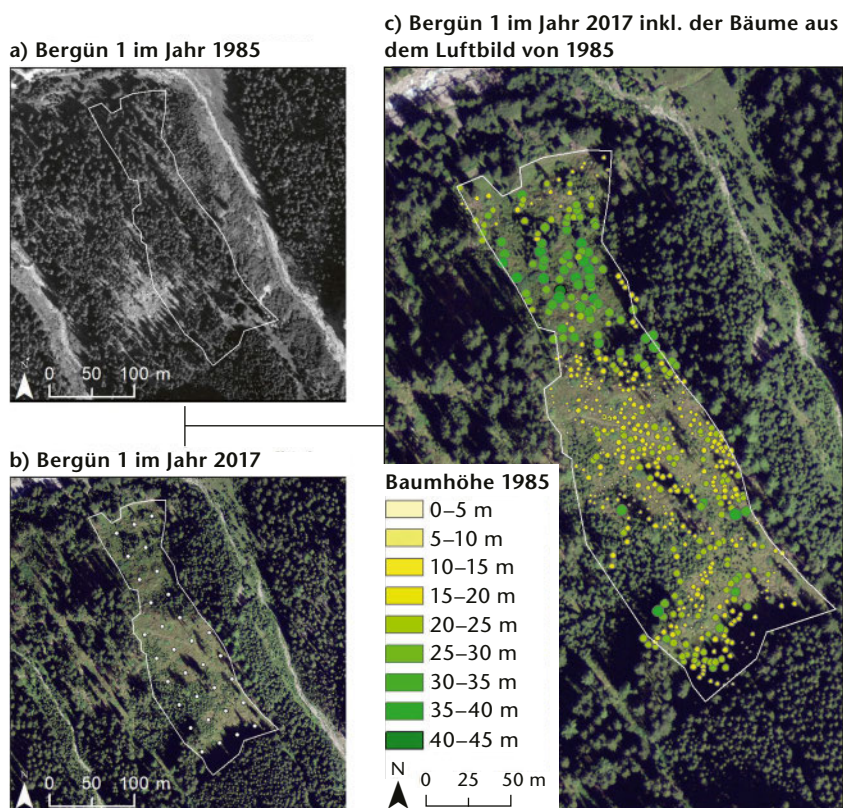


Abb 3 Luftbilder der Fläche Bergün 1 im Jahr 1985 (a) und 2017 (b). Im Bild rechts wurden die Baumkronen aus dem Luftbild von 1985 ins Luftbild von 2017 projiziert (c). Die weissen Punkte in (b) zeigen die Zentren der Probekreise für die Verjüngungsaufnahmen.

wickelt und damit erfassbar war. Die Inventur erstreckte sich auf 30 Probekreise pro Lücke, die in einem Raster gleichmässig platziert wurden (Abbildung 3b) und horizontal 20 m² gross waren (Radius von 2.52 m mit Neigungskorrektur). Sie wurden den zwei Kategorien Randlage und Lückeninneres zugeteilt. Lag ein Probekreis innerhalb von 10 m Abstand zum angrenzenden Wald, wurde dieser die Kategorie Randlage zugewiesen.

In jedem Probekreis wurden die Verjüngungspflanzen für jede Baumart separat für Anwuchs, Aufwuchs und Nachwuchs ausgezählt. Kleinere Verjüngungspflanzen (<10 cm) wurden wegen ihrer hohen Dynamik bezüglich Auftretens und Verschwindens nicht mitgezählt (Streit et al 2009). Bei der Fichte wurde ausserdem grob zwischen Vor- und Nachverjüngung unterschieden; dazu diente die Faustformel, dass das Alter einer Fichte der Anzahl sichtbarer Astquirle plus fünf entspricht. War eine Fichte älter als die untersuchte Lücke, wurde sie der Vorverjüngung zugeordnet. Als Mass für die Verbissintensität wurde der Anteil von verbissenen Bäumchen über alle Baumarten und Grössenklassen pro Probe- fläche erfasst. Ein Baum galt als verbissen, wenn der Endtrieb Spuren von Verbiss aufwies. In Probekreisen ohne Verjüngungspflanzen wurde die mittlere Verbissintensität der Lücke genommen.

Aufnahme der Bodenbedeckung

Pro Probekreis wurde ausserdem die Bodenbedeckung geschätzt. Dabei wurden folgende Kategorien unterschieden: Hochstauden (meistens *Cicerbita*-, *Adenostyles*-, *Petasites*-Arten), Zwergsträucher, andere Sträucher, Reitgras, andere Süssgräser, Sauergräser, Himbeere, Brombeere, Krautvegetation, Farne, Moose, vegetationsfreie Mineralerde, vegetationsfreie Streu, Fels und Stein, Baumstumpf, anderes Moderholz, Asthaufen und anderes. Die Schätzung wurde auf 5% genau vorgenommen, und die Summe der Schätzungen durfte 100% übersteigen, da sich die verschiedenen Vegetationskategorien

oft überlappten. Zudem wurde das Vorhandensein von Vogelbeeren im Probekreis erfasst (ja/nein), um ihren Einfluss auf Fichtenverjüngung zu überprüfen.

Datenanalyse

Die statistische Datenanalyse wurde mit einem generalisierten linearen gemischten Modell GLMM durchgeführt (Paket glmmTMB in R; Brooks et al 2017). Dabei wurde für jede Höhenklasse (An-, Auf-, Nachwuchs) der Fichte die Abhängigkeit der Verjüngungstammzahl von 1) der Bodenbedeckung der einzelnen Kategorien [%], 2) dem Kronendeckungsgrad vor dem Schlag [%], 3) der Lage des Probekreises innerhalb der Lücke (Lückenrand/Lücke), 4) dem Ansamlungszeitpunkt (Vor-/Nachverjüngung), 5) der Anwesenheit von Vogelbeere (vorhanden/abwesend), 6) der Hangexposition (Süd-/Nordexposition) sowie 7) der Verbissintensität [%] getestet. Der Einfluss von seltenen Bodenbedeckungskategorien (Brombeere, andere Sträucher, anderes) wurde nicht getestet. Die Lücke wurde als Zufallsfaktor getestet, der sich aber in keinem der Modelle als signifikant erwies. Dies weist darauf hin, dass die gefundenen Zusammenhänge nicht von nicht erfassten Unterschieden zwischen den Lücken abhängen. Wir verzichteten darauf, die Verjüngung anderer Baumarten statistisch zu modellieren, weil diese nur einen untergeordneten Anteil aufweisen (z.B. Birke 6%, Vogelbeere 5%, Tanne und Lärche jeweils 4%) und deren ökologische Ansprüche in der Verjüngungsphase von jenen der Fichte abweichen.

Resultate

Waldbauliche Eingriffe

In zwei der zehn Lücken (Sur En, Wangs) hatten gemäss den Luftbildern vor dem letzten Eingriff zumindest seit den 60er-Jahren keine Eingriffe mehr stattgefunden. In Mesocco erfolgte der vorletzte Ein-

Gemeinde	Letzter Eingriff	Befliegungsjahre mit Hinweisen auf kurz zuvor erfolgte Eingriffe	Kronendeckungsgrad 1983/1985 (%)	Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation 2019 (%)
Bergün 1	2006	1973, 1985, 1997	25	27
Olivone	1990	1977, 1983	24	61
Siat	2004	1966, 1990	36	35
Sur En	2006	keine	41	46
Santa Maria i. C.	2006	1983, 1989	28	26
Mesocco	1999	1977	21	40
Wangs	1994	keine	56	42
Bergün 2	2006	1985	26	49
Falera	1993	1973, 1990	56	36
Conters	1999	1967, 1997	23	36

Tab 2 Frühere waldbauliche Eingriffe in den zehn untersuchten Lücken, Kronendeckungsgrad des Bestandes 1983/1985 und Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation 2019.

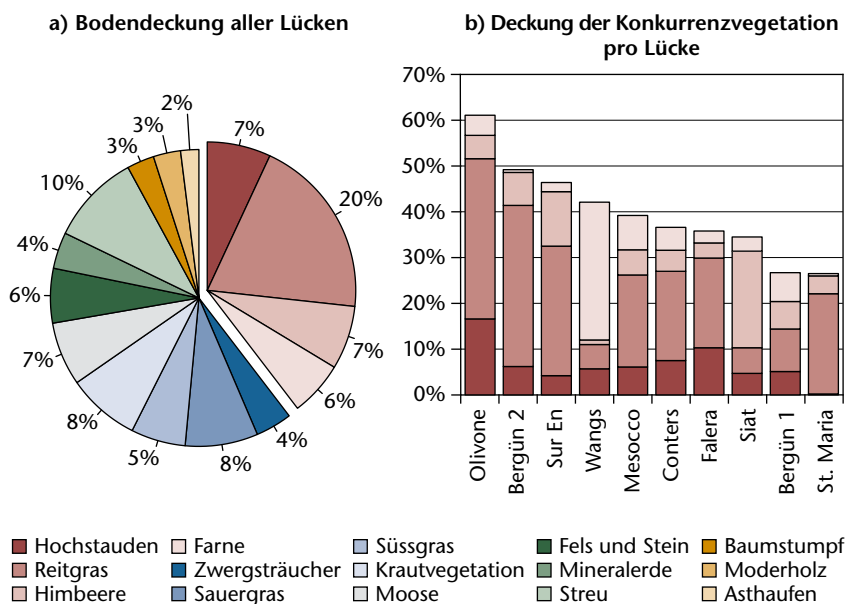


Abb 4 Mittlere Deckungsgrade aller Bodendeckungskategorien über alle Lücken (a) sowie mittlere Deckungsgrade pro Lücke der negativ wirkenden Konkurrenzvegetation Hochstauden, Reitgras, Himbeere und Farne (b).

Nachverjüngung	Baumart	Mittlere Dichte		Verbiss	
		Stück/ha	SEM	Intensität (%)	Lückenmittel (%)
Anwuchs	Alle Baumarten	1775	± 205	16	1–41
	Fichte	1382	± 189	9	0–40
Aufwuchs	Alle Baumarten	1748	± 131	23	2–40
	Fichte	1145	± 112	11	0–29
Nachwuchs	Alle Baumarten	1927	± 194	5	0–20
	Fichte	1345	± 186	1	0–7

Tab 3 Mittlere Dichte der Nachverjüngung sowie Verbissintensität im An-, Auf- und Nachwuchs in den 300 Probekreisen. SEM = Standardabweichung.

griff in den 70er-Jahren, in Bergün 2 in den 1980er-Jahren. Die sechs übrigen Flächen (Bergün 1, Olivone, Siat, Santa Maria i. C., Falera und Conters) sind seit den 1960er-Jahren mehrmals bewirtschaftet worden (Tabelle 2). Die geschätzten mittleren Kronendeckungsgrade pro Lücke lagen 1985 zwischen 21 und 56%. Wie auch die teils grossen Distanzen zwischen den Kronen in Abbildung 3c zeigen, dürften die mit der hier verwendeten Methode geschätzten Kronendeckungsgrade die effektiven Deckungsgrade unterschätzen, weil im Schatten der Kronen einige kleinere Bäume übersehen werden können, insbesondere am Nordhang. Eine andere Unterschätzung ist aufgrund der Baumhöhen-Kronendurchmesser-Allometrie möglich; diese sollte aber systematisch ausgefallen sein und unsere Auswertung nicht wesentlich beeinflusst haben.

Bodenbedeckung in den Lücken

Die Bodenbedeckung war sehr divers (Abbildung 4a). Reitgras war mit 20% Anteil am häufigsten, gefolgt von acht Bodendeckungstypen mit mittleren Anteilen zwischen 10% und 6% (geordnet nach

abnehmendem Anteil: vegetationsfreie Streu, Krautvegetation, Sauergras, Moose, Himbeere, Hochstauden, Farne). Die aufgrund dieser und weiterer Studien (z.B. Brang et al 2017) als verjüngungsverdämmend bekannten Bodendeckungstypen Hochstauden, Reitgras, Himbeere und Farne (in der Folge als Konkurrenzvegetation bezeichnet) sind in den Lücken insgesamt recht ähnlich verteilt und bedeckten zusammen zwischen 30% und 60% der Lücken (Abbildung 4b). Beim Vergleich der Anteile und der Zusammensetzung der Konkurrenzvegetation fallen die hohen Deckungsgrade von Farn in Wangs und von Himbeere in Siat auf. In Olivone überstieg die Deckung der Konkurrenzvegetation 50%, wogegen sie in Bergün 1 und St. Maria unter 30% blieb.

Verjüngungspflanzen

Von den 300 Probekreisen wiesen 263 (88%) mindestens eine Verjüngungspflanze auf und 236 (79%) eine Fichten-Verjüngungspflanze. Fichtenvorverjüngung wurde auf 19% der Probekreise gefunden, Fichtennachverjüngung hingegen auf 77%. Auf 37 Probekreisen (12%) fand sich keine Verjüngungspflanze. Beim Anwuchs lag die mittlere Dichte über alle Arten bei 1775 St./ha (Fichte: 1382), beim Aufwuchs belief sie sich auf 1748 St./ha (Fichte: 1145), beim Nachwuchs auf 1927 St./ha (Fichte: 1345; Tabelle 3). Die mittlere Dichte der Fichtenvorverjüngung lag im Anwuchs bei 3 ± 3 St./ha, beim Aufwuchs bei 23 ± 13 St./ha und beim Nachwuchs bei 388 ± 86 St./ha. Damit lag der Anteil der Fichtenvorverjüngung bei 0.2% für den Anwuchs, bei 2% für den Aufwuchs und bei rund 30% für den Nachwuchs. Die Verbissintensität aller Pflanzen lag 2019 bei 16% für den Anwuchs, bei 23% für den Aufwuchs und bei 5% für den Nachwuchs (Tabelle 3). Bei der Fichte waren die Werte 9% für den Anwuchs, 11% für den Aufwuchs und 1% für den Nachwuchs.

Einflussfaktoren für die Verjüngungsdichte

Fichtenanwuchs: Die statistische Modellierung ergab, dass die Dichte des Anwuchses signifikant positiv vom Deckungsgrad von Moosen (stärkster Effekt), Zwergsträuchern, Baumstümpfen und Moderholz auf den Probekreisen beeinflusst war (Tabelle 4). Tendenziell war die Dichte auch erhöht in Krautvegetation, im Randbereich der Lücken sowie bei grosser Lückenbreite. An Südhängen zeigt sich ausserdem eine hohe Kronendeckung vor dem Schlag als verjüngungsfördernd. Negativ auf die Stammzahl des Fichtenanwachses wirkte sich die Deckung durch Hochstauden (stärkster Effekt), Himbeeren, vegetationsfreier Streu und Asthaufen aus.

Fichtenaufwuchs: Bei der Bodenbedeckung wirkte sich nur die Präsenz von Vogelbeere und Moderholz tendenziell positiv auf den Fichtenaufwuchs aus (Tabelle 4). Ein hoher Kronenschluss vor dem Holzschlag zeigte ebenfalls einen signifikant positiven

Effekt. Hingegen war bei hoher Deckung durch Süssgräser, Farne (stärkster Effekt) und Asthaufen die Aufwuchsdichte geringer. Ebenfalls war sie bei Abwesenheit von Fichtenvorverjüngung (nur tendenziell) so wie bei hoher Verbissintensität geringer.

Fichtennachwuchs: Die Nachwuchsdichte korrelierte positiv mit der Anwesenheit von Vogelbeeren, Moosen und einem hohen Kronendeckungsgrad vor dem Schlag (stärkster Effekt; Tabelle 4). Viele Faktoren korrelierten dagegen negativ mit der Nachwuchsdichte: Deckungsgrad von Reitgras (sehr nahe beim stärksten Effekt), Farnen (stärkster Effekt unter den Bodenbedeckungstypen), Hochstauden und Zwergsträuchern, tendenziell auch von Sauergräsern, Himbeere, Krautvegetation sowie von Felsen und Steinen. Die Nachwuchsdichte war auch vermindert bei hoher Verbissintensität (insgesamt

stärkster signifikanter Effekt), einer Position im Randbereich und in Südexposition. Der Expositionseffekt war nur schwach signifikant, vermutlich weil die Anzahl untersuchter Lücken (N=10) zu gering war.

Dichte der Vor- und Nachverjüngung

Die Vorverjüngung war durchwegs spärlich vertreten. Auf mindestens der Hälfte der 20 m² grossen Probestellen fehlte sie ganz, unabhängig von der Deckung der Konkurrenzvegetation und der Kronendeckung vor dem Holzschlag (Medianwerte von 0 St./ha; Abbildung 5). Bei Konkurrenzvegetation (Hochstauden, Reitgras, Himbeere, Farne) mit bis zu 50% Deckung fand sich Vorverjüngung in Fällen, in denen der Deckungsgrad des Bestandes vor dem Schlag gering und mittel war; hier lag das obere Quartil der Dichte der Vorverjüngung bei immerhin rund 500/ha. Bei stark deckender Konkurrenzvegetation (>50%) war auf 88% der Probekreise keine Vorverjüngung vorhanden.

Die höchsten Dichten der Nachverjüngung traten in Probestellen mit Deckungsgraden der Konkurrenzvegetation unter 50% und mittlerer bis hoher Kronendeckung vor dem Holzschlag auf (Median: 3500–5500 St./ha). Auch die Nachverjüngung war bei höherem Deckungsgrad der Konkurrenzvegetation vermindert vorhanden, besonders deutlich auf Probekreisen, die vor dem Schlagen der Lücken einen offenen Bestand aufwiesen (Median: 500 St./ha). Hier war eine hohe bis mittlere Kronendeckung vor dem Holzschlag mit den besten Bedingungen für die Nachverjüngung (Median: 1500–3000 St./ha) verbunden.

Diskussion

Geplante Verjüngungshiebe, die deutlich grösser und breiter sind als waldbaulich empfohlen (Ott et al 1997) und zuweilen auch 0.25 Hektaren überschreiten, sind in Gebirgsnadelwäldern der Schweiz die Ausnahme. Derart grosse Lücken könnten aber häufiger werden, weil der Klimawandel die störungsbedingte Lückenbildung fördert (Bebi et al 2016). Die vorliegende Studie zeigt wie schon unsere frühere Studie (Brang et al 2017), dass sich solche Lücken in günstigen Fällen ausreichend natürlich verjüngen, in anderen Fällen aber nur spärlich bestocken. Sie zeigt, dass der Verjüngungserfolg im Wesentlichen von der Art der Konkurrenzvegetation und vom Kronendeckungsgrad vor dem Holzschlag abhängt.

Bestätigen die Ergebnisse damit die im konzeptuellen Modell (Abbildung 1) angenommenen Zusammenhänge? Generell zeigte sich wie erwartet eine starke Abhängigkeit der Verjüngungsdichten von der Konkurrenzvegetation: Viel Konkurrenzvegetation verminderte die Dichte der Verjüngung al-

Parameter	Anwuchs	Aufwuchs	Nachwuchs
Standort			
Südexposition	0.08	-0.05	-1.23(*)
Neigung	0.13	-0.02	0.16
Präsenz Vogelbeere	-0.13	0.45*	0.71**
Verbiss	-0.14	-0.35**	-0.91***
Bodenbedeckung			
Reitgras	0.02	-0.16	-0.78***
Sauergräser	-0.1	-0.18	-0.26(*)
Süssgräser	0.05	-0.22*	-0.15
Hochstauden	-0.47**	-0.04	-0.44**
Himbeere	-0.28*	-0.11	-0.28(*)
Farne	-0.13	-0.37*	-0.80***
Krautvegetation	0.27(*)	0.04	-0.27(*)
Moose	0.38**	0.14	0.28*
Zwergsträucher	0.32*	0.04	-0.38**
Vegetationsfreie Streu	-0.35*	-0.18	-0.06
Vegetationsfrei Mineralerde	-0.16	-0.17	0.07
Fels und Stein	0.08	0.05	-0.20(*)
Baumstumpf	0.33**	0.06	-0.06
Moderholz	0.26*	0.14(*)	-0.06
Asthaufen	-0.32*	-0.36**	0.12
Management			
Jahre seit Eingriff	-0.15	-0.06	0.35
Deckungsgrad vor Eingriff (1985)	-0.18	0.33**	0.33*
Präsenz Vorverjüngung	-0.1	0.37(*)	0.16
Lückebreite	0.22(*)	-0.17	-0.23
Randbereich der Lücke	0.52(*)	0.02	-0.80**
Interaktionen			
Deckungsgrad vor Eingriff (1985) an Südexposition (im Vergleich zu Nordexposition)	0.55(*)	0.26	0.61

Tab 4 Ergebnisse der statistischen Modellierung der Dichte der Fichtenverjüngung (Vor- und Nachverjüngung) nach Höhenklassen (An-, Auf- und Nachwuchs). Dargestellt sind die Koeffizienten der einzelnen Parameter. Sterne bezeichnen das Signifikanzniveau: (*) $p=0.10-0.05$, * $p=0.05-0.01$, ** $p=0.01-0.001$, *** $p<0.001$. Signifikante Parameter sind farblich hervorgehoben (unterschieden in positive und negative Effekte).

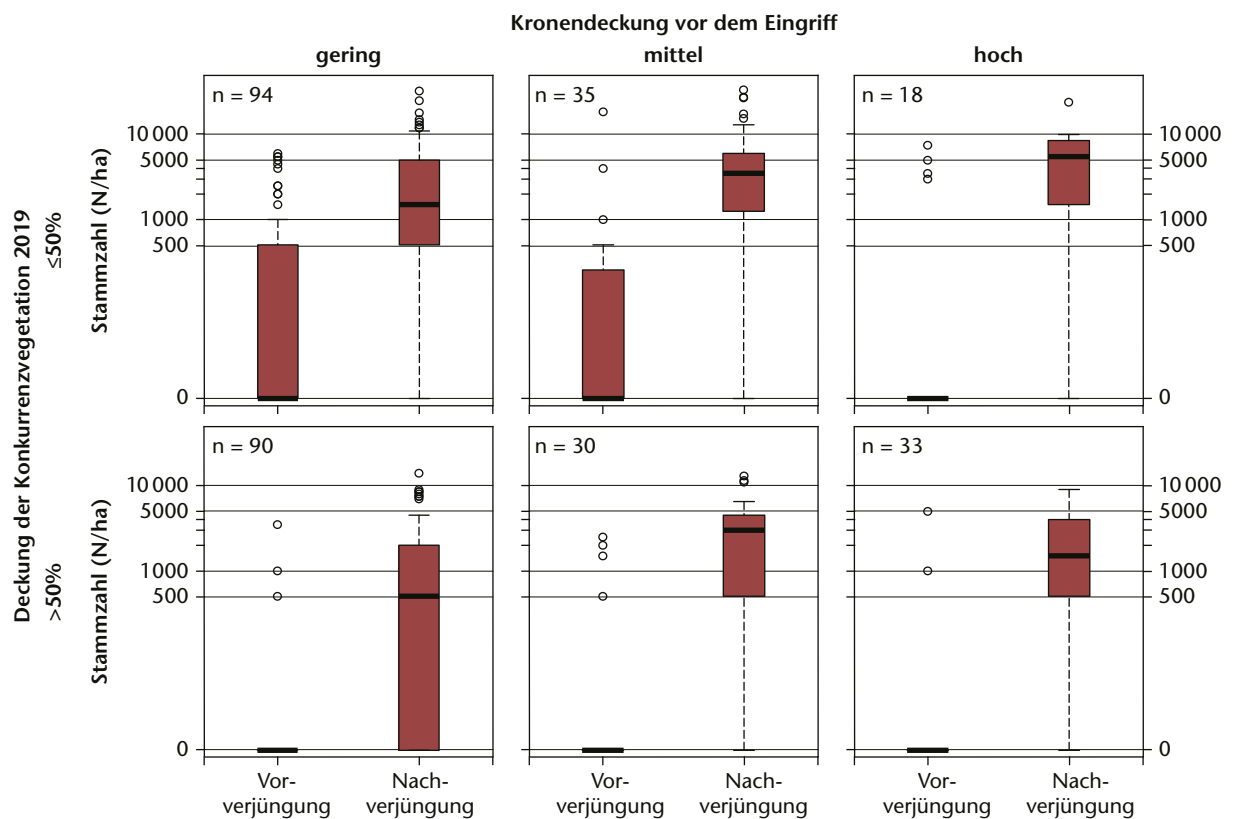


Abb 5 Dichte der Vor- und der Nachverjüngung der Fichte aufgeteilt nach der errechneten Kronendeckung vor dem Eingriff und dem Deckungsgrad von Konkurrenzvegetation (Hochstauden, Reitgras, Himbeere, Farne) im Jahr 2019. Die Kronendeckung ist unterteilt in gering ($\leq 40\%$), mittel ($40\text{--}70\%$) und hoch ($>70\%$). n = Anzahl Probeflächen nach Kategorie.

ler Grössenklassen (Tabelle 3), oft auf die Hälfte oder noch weniger (Abbildung 5). Dass die Effekte der Bodenbedeckung je nach Grössenklasse bei unterschiedlichen Bodendeckungstypen signifikant waren, dürfte teils auf die mit 300 Probekreisen geringe Stichprobe, die sich bei Aufteilung der Verjüngung auf Grössenklassen noch wesentlich verringert, zurückzuführen sein. Zudem wurden bei den Inventuren nur die Bodendeckungstypen pro Probekreis erfasst und nicht die Deckung am unmittelbaren Wuchsort der Verjüngungspflanzen. Dies könnte auch erklären, weshalb kein negativer Effekt von Reitgras auf den Anwuchs und den Aufwuchs gefunden wurde, im Gegensatz zu anderen Studien (z.B. Brang et al 2017). Auf Baumstümpfen traten mehr Anwuchspflanzen, auf liegendem Moderholz zusätzlich tendenziell mehr Aufwuchspflanzen auf als auf sonstigen Substraten (Tabelle 3). Dabei handelte es sich vorwiegend um Holz, das aus der Zeit vor dem Schlagen der Lücken stammte, denn das dabei entstandene Moderholz dürfte 13–29 Jahre nach dem Holzschlag erst gerade für die Ansamung geeignet geworden sein (Bače et al 2012). Ähnlich wie in früheren Studien (Sorg 1980, Kramer et al 2014, Brang et al 2017) wirkten Moose verjüngungsfördernd, Reitgras, Farne, Hochstauden und Himbeeren jedoch verjüngungsmindernd. Solche Konkurrenzvegetation bildet nach einem Holzschlag oft relativ dauerhafte Stadien, und es gibt – ausser beim Störungszeiger Himbeere – wenig Evidenz dafür, dass sich das

Artenspektrum an einem Ort im Laufe der Zeit stark ändert. Nach dem Schlagen der Lücken dürfte vielmehr, wie auf Sturmflächen (Brang et al 2015, Heinrich 2001, Wohlgemuth et al 2002), die Deckung bereits vorhandener Arten stark zugenommen haben. Die Präsenz von Vorverjüngung der halbschattentoleranten Fichte (Tjoelker et al 2007) belegt, dass sie sich, besonders nach Auflichtungen oder natürlichen kleinflächigen Störungen ($50\text{--}200\text{ m}^2$; Brang 1998, McCarthy 2001), im Bestand einstellen kann. Allerdings war dieser Effekt in Probekreisen mit viel verjüngungshemmender Vegetation nur gering (vgl. Kramer et al 2014); Vorverjüngung kam hier, im Gegensatz zu Probekreisen mit wenig solcher Vegetation, nur vereinzelt vor (Abbildung 5).

Mit unserem konzeptuellen Modell (Abbildung 1) postulierten wir zudem, dass eine hohe Kronendeckung das Aufkommen von Konkurrenzvegetation nach einem Holzschlag verlangsamt, weshalb dann vorübergehend Bedingungen herrschen, die die Nachverjüngung begünstigen. Unsere Studie erlaubt es nicht, diese langsamere Entwicklung der Konkurrenzvegetation bei vorherigem hohem Kronenschluss zu belegen, weil seit dem Holzschlag zu viel Zeit verstrichen ist. Doch sprechen die mehrfach (ca. dreimal) höheren Dichten der Nachverjüngung bei hoher vorheriger Kronendeckung (Abbildung 5) für unsere Vermutung, sowohl bei geringer als auch bei hoher Deckung der Konkurrenzvegetation. Dies ist ein klarer Hinweis für eine kurze Phase

hoher Verjüngungsgunst nach einem Holzschlag (Window of opportunity). In Gebirgswäldern mit relativ geringer Kronendeckung sind diese günstigen Bedingungen oft nicht primär mit höherem Lichteinfall verbunden, sondern mit der temporären Reduktion der unterirdischen Konkurrenz nach dem Absterben von Wurzeln der geschlagenen Bäume (Casper und Jackson 1997). Nach dem Holzschlag werden am Waldrand und in den Lücken auch mehr Nährstoffe im Oberboden verfügbar, da sich Rohhumusdecken abbauen (Brang 1998, McCarthy 2001). Der Zusammenhang zwischen hoher Kronendeckung vor dem Holzschlag und dichter Nachverjüngung war bei hoher Deckung der Konkurrenzvegetation zwar auch vorhanden, aber die Nachverjüngung war insgesamt viel spärlicher (Abbildung 5). Dieser Effekt ist bekanntermassen standortspezifisch, weil stark deckende Pflanzenarten an gewissen Standorten, z.B. an solchen mit Hochstaudenfluren (Ott et al 1997), häufiger auftreten als an anderen.

Die Dichte der Verjüngungspflanzen in verschiedenen Grössenklassen dürfte voneinander abhängen. In Tannen-Fichten-Beständen im Schwarzwald kulminierte die Dichte der verjüngten Bäumchen bei einer Höhe von rund 0.5 Meter (Dănescu et al 2018) und nahm bei grösseren Bäumchen wegen zunehmender Konkurrenz wieder ab. Die Anwesenheit von Vorverjüngung bedeutete in unserer Studie auch wenig Anwuchs, aber mehr Aufwuchs, wenn diese Effekte auch nicht signifikant waren. Wir vermuten, können aber nicht belegen, dass die Anwesenheit von Vorverjüngung nach dem Schlag in der unmittelbaren Umgebung der verjüngten Bäumchen für die Nachverjüngung günstige Kleinstandorte schafft, zum Beispiel wegen früherer Ausaperung im Frühjahr.

Zu den komplexen Wirkungen von Konkurrenzvegetation und Auflichtungen auf die Fichtenverjüngung kommt der Wildhuftiereinfluss hinzu, der die Aufwuchs- und Nachwuchsdichte signifikant reduzierte (vgl. Kupferschmid & Bugmann 2005a, 2005b). Die nur 2019 erfasste Verbissintensität dürfte somit auch den Verbisseinfluss auf die Verjüngung während der letzten 30 Jahre zumindest grob abbilden. Dafür spricht auch der positive Effekt der Vogelbeerenpräsenz, die von Wildverbiss stark betroffen ist (Motta 2003), auf die Dichte des Fichtenauf- und -nachwuchses. Die Vogelbeere ist oft die einzige Laubbaumart, die sich in Fichtenwäldern verjüngt, und deshalb eine wichtige Begleitbaumart der Fichte nach starken Eingriffen oder Störungen (Leder 1997, Heurich et al 2012).

Eine retrospektive Studie wie die hier präsentierte kann die Entwicklung der Verjüngung in den untersuchten Lücken nicht nachzeichnen, sondern zeigt nur das Endresultat. Die Analyse der Luftbilder erlaubte immerhin, jedem Probekreis einen Deckungswert im Jahr 1985 zuzuordnen. Einige der

Einflussfaktoren erfassten wir mit unserer Methode nur relativ ungenau. In Beständen mit geringem Deckungsgrad werden zum Beispiel Seitenlichteffekte nicht berücksichtigt, da der Kronendeckungsgrad nur die vertikale Projektion der Baumkronen darstellt. Auch die Trennung zwischen Vor- und Nachverjüngung ist fehleranfällig, besonders weil bei vielen Verjüngungspflanzen der Entscheid knapp war. Wir wissen auch nicht, wie viel Vorverjüngung beim Schlagen der Lücken beschädigt wurde. Vorsicht bei der Interpretation der Daten ist auch wegen der geringen Anzahl Lücken angebracht, auch wenn sich die statistische Analyse auf die Probekreise innerhalb der Lücken und damit auf eine grössere Stichprobe gestützt hat.

Folgerungen für den Waldbau

Da viele der Erkenntnisse im Licht bisheriger Studien plausibel sind (Brang 1998, Duc & Brang 2013, Hirsiger et al 2013, Imbeck & Ott 1987, Sorg 1980, Streit et al 2009), wagen wir es, Folgerungen für die waldbauliche Behandlung von Fichten- und Fichten-Tannenwäldern zu ziehen. Wir tun dies auch, weil wir nicht einfach grosse Schlagflächen untersucht haben und über feinere waldbauliche Eingriffe nichts aussagen können. Denn der Einbezug der Bestandesgeschichte vor dem Schlagen der Lücke hat es ermöglicht, die frühere waldbauliche Praxis (inkl. des Schlages kleinerer Lücken) für jede der 300 untersuchten Probeflächen grob abzuschätzen und deren Einfluss zu prüfen.

Wichtig ist, bei der Bewirtschaftung einen Unterschied zu machen zwischen verjüngungsfreudigen und -trägen Standorten beziehungsweise Kleinstandorten. An verjüngungsfreudigen Standorten – bei wenig ausgeprägter Konkurrenzvegetation – begünstigen Eingriffe die Vorverjüngung, aber auch die Nachverjüngung wird oft gelingen, egal wie geschlossen ein Bestand vor dem Schlag gewesen ist. Daher ist der waldbauliche Spielraum bezüglich Lückengrösse relativ gross. An verjüngungsträgen Standorten hingegen, d.h. an solchen, an denen sich die Konkurrenzvegetation stark entwickeln kann, begünstigt ein verminderter Kronendeckungsgrad vor dem Schlag das Auftreten von Vorverjüngung wenig, vermindert aber das von Nachverjüngung (Abbildung 5).

In der Praxis heisst das zwar nicht, dass an Standorten mit ausgeprägter Konkurrenzvegetation die Verjüngung nicht im Rahmen der Gebirgspflenterung mit Lücken und Schlitten eingeleitet werden soll, aber diese Vorverjüngung dürfte danach vor allem auf alten Baumstümpfen, altem liegendem Moderholz, umgekippten Wurzeltellern und an anderen Kleinstandorten mit exponierter Mineralerde aufkommen (Motta et al 2006), während sich die verjüngungshemmende Vegetation rasch ausbreitet. Daher sind Moderholz und Baumstümpfe hier be-

sonders wichtig. In Asthaufen stellt sich hingegen keine Verjüngung ein; Äste sollten deshalb an ohnehin ungünstigen Kleinstandorten deponiert werden (vgl. Bottero et al 2013).

Dass wir in unserer Studie keinen Effekt der Offenheit des Bestandes auf die Vorverjüngung gefunden haben, mag mit dem Fehlen von genügend Moderholz und stark gedrängten Fichtenwaldstrukturen vor dem Eingriff zusammenhängen. Dass Vorverjüngung an Standorten mit viel Konkurrenzvegetation nicht leicht zu erzielen ist, zeigt auch die Untersuchung von Verjüngungsschlitten in der Surselfa in Graubünden (Hirsiger et al 2013), in denen die Verjüngungsdichten 15 bis 20 Jahre nach den Eingriffen immer noch relativ gering und kaum höher waren als in den 30 von Brang et al (2017) untersuchten grossen Verjüngungslücken. Untersuchungen, die auch sehr dichte subalpine Waldstrukturen einschliessen, weisen im Vergleich zu unserer Studie auf einen stärkeren Zusammenhang zwischen Bestandesdichte und Vorhandensein von Vorverjüngung hin (Bebi et al 2001, Guetg 2020).

Da es an Standorten mit starker Konkurrenzvegetation beim jetzigen Kenntnisstand ungewiss ist, wie Vorverjüngung der Fichte mit hinreichender Gewissheit erzielt werden kann, schlagen wir für solche Standorte vor, zuerst einen «Moderholzschatz» durchzuführen, d.h. Moderholz bereitzustellen, und erst etwa 20 Jahre später die Verjüngung einzuleiten. An Standorten mit Verjüngungsschwierigkeiten (aber auch an anderen) dürfte die Verjüngung auch bei Präsenz der Tanne wesentlich leichter gelingen, denn die Tanne ist schattentoleranter als die Fichte (Grassi & Bagnaresi 2001), weniger auf Moderholz angewiesen und vermag sich auch bei starker Vegetationskonkurrenz zu behaupten. ■

Eingereicht: 11. März 2020, akzeptiert (mit Review): 30. Juni 2020

Literatur

- ACKERMANN J, ADLER P, BAUERHANS C, BROCKAMP U, ENGELS F ET AL (2012) Das digitale Luftbild. Ein Praxisleitfaden für Anwender im Forst- und Umweltbereich. Göttingen: Beiträge Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Band 7. 86 p.
- BAČE R, SVOBODA M, POUSKA V, JANDA P, ČERVENKA J (2012) Natural regeneration in Central-European subalpine spruce forests: Which logs are suitable for seedling recruitment? For Ecol Manage 266: 254–262.
- BAFU, BFE, SECO, EDITORS (2017) Ressourcenpolitik Holz. Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz. Bern: Bundesamt Umwelt. 44 p.
- BEBI P, KIENAST F, SCHÖNENBERGER W (2001) Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests' dynamics and protective function. For Ecol Manage 145: 3–14.
- BEBI P, BUGMANN H, LÜSCHER P, LANGE B, BRANG P (2016) Auswirkungen des Klimawandels auf Schutzwald und Naturgefahren. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, editors. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 269–286.
- BOTTERO A, GARBARINO M, LONG JN, MOTTA R (2013) The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on montane spruce forest regeneration in the western European Alps. For Ecol Manage 292: 19–28.
- BRANG P (1998) Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. Can J For Res 28: 626–639.
- BRANG P, HILFIKER S, WASEM U, SCHWYZER A, WOHLGEMUTH T (2015) Langzeitforschung auf Sturmflächen zeigt Potenzial und Grenzen der Naturverjüngung. Schweiz Z Forstwes 166: 147–158. doi: 10.3188/szf.2015.0147
- BRANG P, NIKOLOVA P, GORDON R, ZÜRCHER S (2017) Auswirkungen grosser Verjüngungslücken im Gebirgswald auf Verjüngung und Holzzuwachs. Schlussbericht des Projektes Eingriffstärke und Holzzuwachs im Gebirgswald. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 48 p.
- BROOKS ME, KRISTENSEN K, VAN BENTHEM KJ, MAGNUSSON A, BERG CW ET AL (2017) glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. The R Journal 9: 378–400.
- CASPER BB, JACKSON RB (1997) Plant competition underground. Annu Rev Ecol Syst 28: 545–570.
- DĂNESCU A, KOHNLE U, BAUHUS J, WEISKITTEL A, ALBRECHT AT (2018) Long-term development of natural regeneration in irregular, mixed stands of silver fir and Norway spruce. For Ecol Manage 430: 105–116.
- DUC P, BRANG P (2013) Die Verjüngungssituation im Gebirgswald des Schweizerischen Alpenraumes. In: Müller F, editor. Maria-brunner Waldbautage 2002. Ist die natürliche Verjüngung des Waldes gesichert? Wien: Bundesforschungsanstalt Wald, BFW-Berichte 130. pp. 31–49.
- FORRESTER D, NITZSCHE J, SCHMID H (2019) The experimental forest management project: An overview and methodology of the long-term growth and yield plot network. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute WSL. 81 p.
- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen im Schutzwald. Bern: Bundesamt Umwelt.
- GRASSI G, BAGNARESI U (2001) Foliar morphological and physiological plasticity in *Picea abies* and *Abies alba* saplings along a natural light gradient. Tree Physiol 21: 959–967.
- GUETG M (2020) Dynamik in einschichtigen, dichten Beständen. Zürich: ETH Zürich, Masterarbeit. 66 p.
- HEURICH M, BAIERL F, ZEPPENFELD T (2012) Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald in den Jahren 2006 bis 2011. Ergebnisse der Luftbildauswertung und Hochlageninventur. Grafenau: Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Ber 8. 36 p.
- HEURICH M, EDITOR (2001) Die Waldentwicklung nach Windwurf in den Hochlagen des Nationalparks Bayerischer Wald. Grafenau: Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, wissenschaftliche Reihe 14. pp. 49–98.
- HIRSIGER E, GMÜR P, WASEM P, WUNDER J, BRANG P (2013) 10 Jahre Erfolgskontrolle in schlitzförmigen Lücken. Wald Holz 13 (3): 29–32.
- IMBECK H, OTT E (1987) Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung. Davos: Eidgenöss. Institut Schnee- und Lawinenforschung, Mitteilungen 42. 202 p.
- KALT T (2019) Der Einfluss von Standortseigenschaften und Bestandesgeschichte auf die Naturverjüngung in Gebirgswäldern. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL, Bachelorarbeit. 51 p.
- KRAMER K, BRANG P, BACHOFEN H, BUGMANN H, WOHLGEMUTH T (2014) Site factors are more important than salvage logging for tree regeneration after wind disturbance in Central European forests. Forest Ecol Manage 331: 116–128.

- KUPFERSCHMID AD, BUGMANN H (2005A) Effects of microsites, logs and ungulate browsing on *Picea abies* regeneration in a mountain forest. For Ecol Manage 205: 251–265.
- KUPFERSCHMID AD, BUGMANN H (2005B) Erratum to «Effect of microsites, logs and ungulate browsing on *Picea abies* regeneration in a mountain forest» (For Ecol Manage 205 [2005] 251–265). For Ecol Manage 210: 477.
- LEDER B (1997) Die Vogelbeere – eine unterschätzte Baumart unserer Mittelgebirge. Weihenstephan: Bayer Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, LWF Wissen 17. 21–44 p.
- MCCARTHY J (2001) Gap dynamics of forest trees: A review with particular attention to boreal forests. Environ Rev 9: 1–59.
- MOTTA R (2003) Ungulate impact on rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) height structure in mountain forests in the eastern Italian Alps. For Ecol Manage 181: 139–150.
- MOTTA R, BERRETTI R, LINGUA E, PIUSSI P (2006) Coarse woody debris, forest structure and regeneration in the Valbona Forest Reserve, Paneveggio, Italian Alps. For Ecol Manage 235: 155–163.
- OTT E, FREHNER M, FREY HU, LÜSCHER P (1997) Gebirgsnadelwälder: ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt. 287 p.
- SCHÖNENBERGER W, BRANG P (2004) Silviculture in mountain forests. In: Burley J, Evans J, editors. Encyclopedia of Forest Sciences. Amsterdam: Elsevier. pp. 1085–1094.
- SORG J-P (1980) Végétation et rajeunissement naturel dans la pessière subalpine de Vals (GR). Birmensdorf: Eidgenöss. Forschungsanstalt WSL, Mitteilungen 56: 1–115.
- STREIT K, WUNDER J, BRANG P (2009) Slit-shaped gaps are a successful silvicultural technique to promote *Picea abies* regeneration in mountain forests of the Swiss Alps. For Ecol Manage 257: 1902–1909.
- TJOELKER MG, BORATYNSKI A, BUGALA W, EDITORS (2007) Biology and ecology of Norway spruce. Dordrecht: Springer, Forestry Science 78.
- VILHAR U, ROŽENBERGAR D, SIMONČIČ P, DIACI J (2015) Variation in irradiance, soil features and regeneration patterns in experimental forest canopy gaps. Ann For Sci 72: 253–266.
- WOHLGEMUTH T, KULL P, WÜTHRICH H (2002) Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. For Snow Landsc Res 77: 2.

Courte fenêtre temporelle pour la régénération de l'épicéa dans les forêts de conifères de montagne

Au cours des 30 dernières années, les forêts de conifères des montagnes suisses ont été rajeunies par endroits par des coupes à blanc plutôt que par de petites trouées, comme c'est habituellement le cas dans le jardinage de montagne. L'évolution de telles trouées après 13 à 29 ans a été étudiée dans dix coupes à blanc du sud-est de la Suisse et du Tessin à l'aide d'analyses de photos aériennes et d'inventaires par échantillonnage. Des photographies aériennes historiques ont été utilisées pour documenter l'histoire des peuplements et l'ouverture de la canopée avant la coupe. Des inventaires par échantillonnage ont été utilisés pour étudier la régénération actuelle des arbres et les microstations, y compris la couverture végétale. La densité de la régénération entre 10 cm de hauteur et 12 cm de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) était en moyenne de 5450 tiges/ha, dont 71% d'épicéas. Cette valeur moyenne élevée est due aux placettes d'échantillonnage présentant une régénération très dense. La plupart de la régénération de l'épicéa s'est produite après l'abattage; 30% du rajeunissement établi (130 cm de hauteur à 12 cm de DHP) était préexistante. La régénération préexistante était plus dense dans les placettes d'échantillonnage où le peuplement précédent avait déjà été éclairci. Les densités de régénération postérieure les plus élevées ont été observées dans les zones où le couvert de la canopée était moyen ou élevé avant l'abattage. La végétation concurrentielle a réduit la densité de la régénération préexistante et postérieure. La présence de bois pourri et de souches était associée à une densité de régénération plus élevée, tandis que l'abroussement par les ongulés sauvages était associé à une densité plus faible. Lorsqu'il y a peu de végétation concurrentielle, une phase favorable à la régénération se produit immédiatement après la coupe d'une grande trouée, pendant laquelle la régénération réussit souvent. En revanche, sur les sites qui tendent à former une végétation concurrentielle dense, la régénération s'installe lentement et repose sur le bois en décomposition et les souches.

Short time window for natural regeneration of spruce in coniferous mountain forests

Over the past 30 years, in a few places, Swiss coniferous mountain forests have been regenerated with clear-felling and not with small openings, as it is common with group selection management in mountain forests. The development of such openings after 13 to 29 years was examined in ten clear-cuts in south-eastern Switzerland and Ticino with aerial photo analysis and sampling inventories. Historical aerial photographs were used to assess stand history and crown cover before the harvest. The density of regeneration and the local site conditions including the cover of ground vegetation were recorded using sampling inventories. The density of the regeneration (trees between 10 cm tall and 12 cm diameter at breast height [dbh]) averaged 5450 stems/ha, of which 71% were Norway spruce. This high mean value came about through plots with very dense regeneration. Most of the spruce regeneration originated from post-harvest establishment, but 30% of the regeneration in the size class 130 cm to 12 cm dbh had established before harvesting. The pre-harvest regeneration was denser in plots in which the pre-existing stand had been thinned already. The highest densities of regeneration occurred in stands with medium to high crown cover before the harvest. Competing vegetation reduced the density of pre- and post-harvest regeneration. The presence of rotting wood and tree stumps was associated with a higher regeneration density, while browsing by ungulates was associated with a lower one. If there is little competing vegetation, the creation of a large opening is followed by a phase of favourable regeneration conditions during which regeneration is often successful. In contrast, on sites that tend to develop dense competing vegetation, regeneration establishes only slowly, and is dependent on rotting wood and tree stumps.

Projekt Gebirgswaldverjüngung

Dokumentation der Flächenauswahl



Alice Zaugg, Andrea Lässig, Petia Nikolova, Peter Brang

Oktober 2020



**Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und
Landschaft, Birmensdorf**

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts Gebirgswaldverjüngung wurden zehn Versuchsflächen ausgewählt, in denen die demografische Entwicklung der Naturverjüngung langfristig untersucht werden soll. In diesem Bericht werden die Auswahlkriterien und das Entscheidungsverfahren sowie dessen Ergebnisse erläutert. Es wurden je eine Fläche in den Kantonen BE, LU und UR sowie je zwei Flächen in den Kantonen GR, SG und VD ausgewählt. Bei den ausgewählten Flächen handelt es sich um Tannen-Fichtenwälder in der hochmontanen Stufe zwischen 860 und 1600 m ü. M. Sie sind von Ost über Nord bis West exponiert. Die Versuchsflächen decken zudem einen breiten Klimagradierten ab. So sind nicht nur feuchtere Flächen in den nördlichen Randalpen vertreten, sondern auch eher trockene, kontinental getönte Flächen in den Zwischenalpen. Die vertretenen Waldstandorte reichen vom feuchten und sauren Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald (46) bis zum trockenen und basischen Erika-Fichtenwald mit Tanne (53*Ta). Am häufigsten ist jedoch der typische Hochstauden Tannen-Fichtenwald (50) zu finden. In zwei Fällen wurde zwar eine grundsätzlich geeignete Fläche gefunden, aber es sollen noch Alternativen geprüft werden.

Dank

Wir sind allen Revierförstern, Betriebsleitern, Kreisförstern und den weiteren Stabsmitarbeitern der kantonalen Forstdienste zu grossem Dank verpflichtet. Sie haben sich sehr für das Projekt interessiert, wertvolle Hinweise gegeben, sich mit den Waldeigentümern abgesprochen und viele geeignete Versuchsflächen vorgeschlagen. Wir bedauern, dass wir nicht überall eine Versuchsfläche anlegen können.

Zitiervorschlag

Zaugg A, Lässig A, Nikolova P, Brang P. 2020. Projekt Gebirgswaldverjüngung: Dokumentation der Flächenauswahl. Interner Bericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 9 S. + Anhang.

Titelbild: Tannen-Fichtenbestand in einer möglichen Versuchsfläche oberhalb Surava (Graubünden).

1 Einleitung

Im Projekt «Gebirgswaldverjüngung» sollen bessere Grundlagen für waldbauliche Entscheidungen zur Förderung der Verjüngung geschaffen werden. Ein Projektmodul sieht vor, zehn Versuchsflächen (VF) in Tannen-Fichtenwäldern und Fichtenwäldern anzulegen, in denen die Entwicklung der Naturverjüngung langfristig demografisch untersucht wird. In der laufenden Projektphase 2018-2020 wurden diese 10 VF gewählt.

2 Vorgehen

Die sieben am Projekt beteiligten Kantone Bern, Graubünden, Luzern, St. Gallen, Uri, Waadt und Wallis wurden Ende April 2020 aufgefordert, potenzielle Flächen zu melden. Dazu dienten eine Beschreibung der Anforderungen (Anhang 1) und ein Meldeformular (Anhang 2). Insgesamt gingen 40 Vorschläge ein. Bei einer Vorauswahl wurden Flächen ausgeschieden, die die Anforderungen an die Grösse (minimal 1,5 ha¹) oder die Homogenität (s. unten) nicht erfüllten. Vom 2.6.2020 bis 19.10.2020 wurden die verbleibenden 18 VF besichtigt, um deren Eignung zu beurteilen, wobei auch die Anordnung der Teilflächen bereits geprüft wurde. Zu jeder potenziellen VF wurde ein Protokoll der Besichtigung erstellt (Anhang 3). Um die Inventurmethode der Verjüngung ab Juli 2020 testen zu können, wurden die VF Flüelen (UR) und Lauterbrunnen (BE) vorausgewählt.

Die Flächenwahl wurde am 23.10.2020 im Projektteam diskutiert. Dabei wurden folgende Kriterien angewendet:

Homogenität: Jede VF sollte weitgehend homogen sein bezüglich Bestandesstruktur, Relief, Exposition und Standortstyp.

Baumartenzusammensetzung: Da der Fokus dieses Projekts auf Fi-Ta-Wäldern liegt, sollten auch diese Baumarten gut vertreten sein. Tannenverjüngung war besonders deshalb erwünscht, weil das Design auch die Unterscheidung des Verbisseeinflusses auf die Verjüngung vorsieht und die Tanne hiervon oft stark betroffen ist. Zur Untersuchung des Einflusses des Tannenanteils auf die Tannenverjüngung wurde, über alle VF gesehen, ein Gradient im Tannenanteil im Altbestand angestrebt. Ein starkes Vorkommen von weiteren Baumarten wie Lärche, Esche oder Bergahorn in der Verjüngung war nicht erwünscht. Grund dafür war, dass dies nur in einer oder in wenigen VF auftrat, womit die betroffenen VF Unikate gewesen wären, ohne Replikation in anderen VF.²

Einfachheit des Designs: Die Flächenform der VF sollte möglichst wenig von einem Quadrat abweichen, und die Teilflächen sollten wenn möglich direkt aneinander angrenzen.

Realisierbarkeit der waldbaulichen Behandlungen: Eine Entnahme von 20 bis 30% des Holzvorrats sollte waldbaulich sinnvoll sein. Damit fielen Bestände weg, die vor kurzem behandelt worden oder die sehr labil sind.

Begehrbarkeit und Erschliessung: Die VF sollten gut erreichbar und begehrbar sein, um die Einrichtungs- und Inventurarbeiten zu erleichtern. Die Begehrbarkeit bedeutete konkret, dass sehr steile VF nach Möglichkeit vermieden wurden.

Umweltgradient: Die ausgewählten VF sollten einen grossen Umweltgradienten der Fi-Ta-Wälder in den Schweizer Alpen abdecken³. Dies sollte dadurch erreicht werden, dass sie sich bzgl. Standortregion (nach Frehner et al. 2005/2009), Höhenlage und Exposition unterscheiden. Wenn möglich sollten auch viele Standortstypen in den Fi-Ta-Wäldern berücksichtigt werden.

¹ Dieses Kriterium wurde gegenüber den den Kantonen mitgeteilten Anforderungen verschärft, weil genügend grosse VF gemeldet wurden.

² VF mit grossem Lärchenanteil und guter Lärchenverjüngung sowie ohne Tannenbeimischung wurden erst ausgeschlossen, als sich erwies, dass genügend VF mit Tanne gemeldet wurden.

³ Der Jura wurde nicht ausgeschlossen, es wurde dann aber keine VF aus dem Jura gemeldet.

Von den Kantonen gewünschte Anzahl VF: Die Kantone teilten mit, wie viele VF sie wünschen, was u.a. mit der Finanzierung begründet war. Der Grundsatz war, pro Kanton mindestens eine VF einzurichten.

Verbiss: Die VF sollten sich in der Stärke des Verbisseeinflusses unterscheiden. Dieses Kriterium war sekundär und kam schliesslich bei der Flächenwahl nicht zum Tragen, denn der Verbisseeinfluss war unterschiedlich.

Vorverjüngung: Die Anforderung lautete, dass ein Teil der VF Vorverjüngung von Fichte, Tanne und Laubbäumen aufweisen sollte. Diese Anforderung war erfüllt und kam bei der Flächenwahl nicht zum Tragen.

Nicht zum Tragen kam das Kriterium des Interesses des zuständigen Betriebsleiters, weil das Interesse überall gross war. Die Zustimmung des Waldeigentümers ist nicht überall geklärt, aber nirgends ein Problem, so lange die Kosten des Projekts gedeckt sind. Es erwies sich nicht möglich, bereits früher durch die Forschung genutzte Flächen oder Weiserflächen, Beobachtungsflächen oder Marteloskope auch für dieses Projekt zu nutzen, weil dort einige der oben genannten Anforderungen nicht erfüllt waren.

Beim Standortgradienten wurde schliesslich auf VF in den kontinentalen Zentralalpen verzichtet. Diese wären wegen des Fehlens der Tanne und der oft guten Lärchenverjüngung mit den übrigen VF schlecht vergleichbar bzw. Unikate gewesen.

3 Gewählte Versuchsflächen

Die Anwendung der Kriterien auf die 18 besichtigten VF, von denen jede für sich alleine geeignet war, ergab schliesslich folgende 10 VF, alphabetisch nach Kantonen geordnet (s. Abbildung 1):

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| – Lauterbrunnen BE | – Wildhaus-Alt St. Johann SG |
| – Albula GR | – Flüelen UR |
| – Sagogn GR | – Ormont-Dessus VD |
| – Marbach-Escholzmatt LU | – Rougemont VD |
| – Pfäfers SG | – Visp VS |

Bei 2 VF (Flüelen und Lauterbrunnen) sind die genauen Grenzen bereits festgelegt. Bei 6 VF ist die Lage ungefähr bestimmt. Bei den restlichen 2 VF (Albula, Marbach-Escholzmatt) sind weitere Abklärungen nötig, und Alternativen werden geprüft.

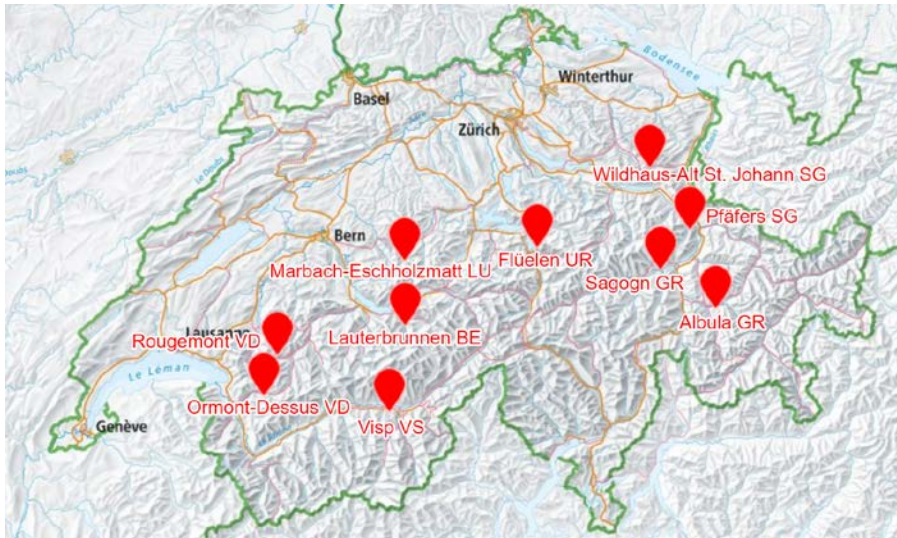


Abbildung 1. Geografische Verteilung der ausgewählten Flächen. Kartendaten: map.geo.admin.ch, geodata © swisstopo.

Die ausgewählten VF decken ein breites Spektrum an Waldstandorten ab (Abbildung 2). Die angegebenen NaiS-Standortstypen sind erste Einschätzungen der Autoren und werden im Verlauf des Projekts verifiziert. Am meisten vertreten ist der typische Hochstauden Tannen-Fichtenwald (50), ein in den Rand- und Zwischenalpen häufiger Standortstyp.

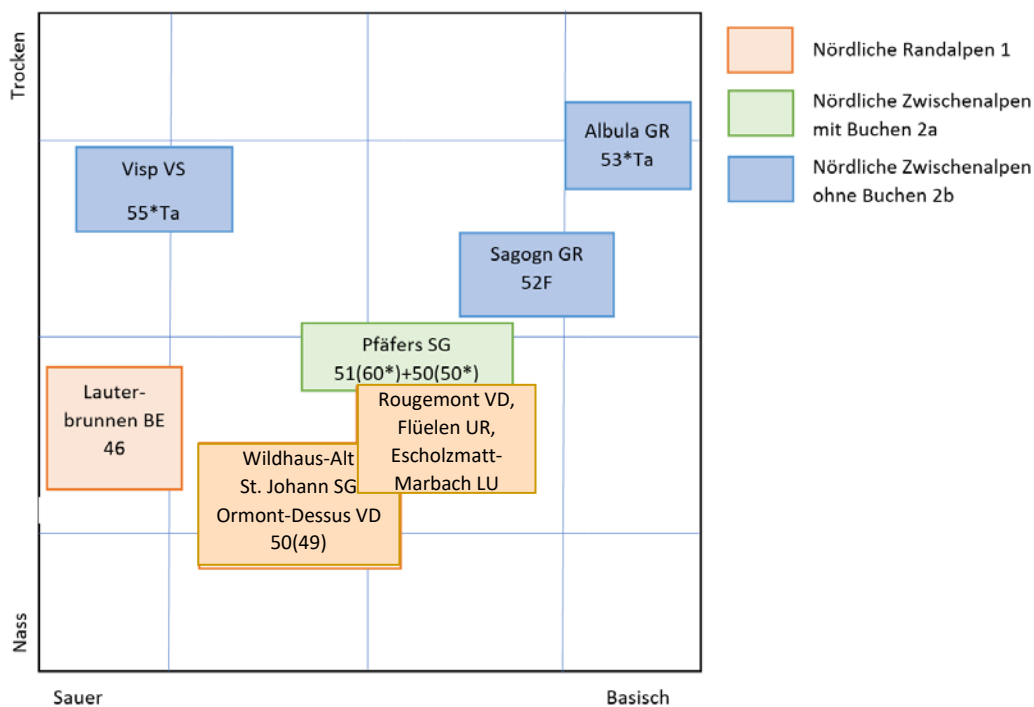


Abbildung 2. Lage der 10 Versuchsflächen im Ökogramm der hochmontanen Höhenstufe. Die Farben bezeichnen die Standortsregion. Die Zahlen bezeichnen den Standortstyp gem. den Ergebnissen des Projekts NaiS-LFI (Frehner et al. 2020).

Die Begründungen für den Entscheid für oder gegen die vorgeschlagenen VF sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Begründung des Entscheides für oder gegen die 18 besichtigten Versuchsflächen. Die Standortsangaben umfassen den NaiS-Standortstyp, die Exposition, die Höhenlage (m ü.M.) und den Basengehalt des Grundgesteins.

Flächenname und Kanton	Begründung	Standortsangaben
Gewählte Flächen		
Lauterbrunnen BE	Die VF wurde u.a. wegen Exposition (Ost) und des Standorttyps (typischer Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald, auf saurem Grundgestein) gewählt, die beide in anderen VF nicht vertreten waren. Der Tannenanteil ist gering. Diese VF wurde wie die in Flüelen früh vorausgewählt, um die Inventurmethode in einer weiteren VF mit teils spärlicher Naturverjüngung testen zu können.	46 O 1495 sauer
Albula GR	Hier ist der genaue Standort der VF noch offen. Die Region deckt ein eher kontinentales Klima ab und weist trockene Waldstandorte mit Tanne auf, weshalb eine VF in der Region erwünscht ist. Die bei Surava besichtigte VF ist grundsätzlich geeignet, wegen des etwas starken Expositionsunterschieds innerhalb der VF aber nicht ganz ideal.	53*Ta N 1300 gemischt
Sagogn GR	Diese Fläche liegt unter 900 m ü.M. und damit am warmen Ende des Klimagradienten aller VF. Zudem erfüllt sie alle anderen Auswahlkriterien.	52F NO 860 basisch
Escholz matt-Marbach LU	Diese VF weist wie die in Wildhaus-Alt St. Johann SG nur wenige adulte Tannen auf. Die VF ist nicht durchgehend homogen, was die Bestandesdichte und das Relief betrifft. Die VF ist grundsätzlich möglich, es soll jedoch noch nach Alternativen gesucht werden. Wenn möglich sollte diese Fläche in südexponierter Lage sein und nicht im Standortstyp 50 liegen.	50(49) NW 1550 basisch
Pfäfers SG	Diese VF ist als einzige Fläche nach Westen exponiert. Zudem liegt sie in den Zwischenalpen mit Buche und damit klimatisch zwischen den randalpinen und den mässig kontinentalen VF. Die grosse Hangneigung wird daher in Kauf genommen. Für die Lage einer Teilfläche ist noch zwischen zwei Optionen zu wählen.	51(60*), 50(50*) W, 1530 basisch
Wildhaus-Alt St. Johann SG	Diese VF liegt wie andere im Standortstyp 50 und erfüllt alle Kriterien, weist allerdings adulte Tannen nur am unteren Rand auf. Doch damit lässt sich ein Gradient des Tannenvorkommens bilden. Zudem ist der Bestand zu den anderen VF noch relativ jung.	50 N 1365 basisch
Flüelen UR	Diese VF erfüllt alle Auswahlkriterien. Der Bestand ist homogen und die Tanne ist vorhanden. Die VF wurde früh als einzige im Kanton UR mögliche VF und als eine mit reichlicher Naturverjüngung vorausgewählt, um mit der Inventur und der damit verbundenen Methodenentwicklung starten zu können.	50 NW 1485 basisch
Ormont-Dessus VD	Diese VF erfüllt die Kriterien unter den im Standortstyp 50 vorgeschlagenen VF insgesamt am besten, z.B. was den hohen Tannenanteil und die Homogenität betrifft. Die grosse zur Verfügung stehende Fläche erlaubt es, die Teilflächen ideal zu platzieren.	50(49) NW 1480 basisch
Rougemont VD	Diese VF ist unter den im Kanton VD vorgeschlagenen VF am zweitbesten geeignet. Sie hat einen hohen Tannenanteil und eher wenig Verbiss und ist mit 1600 m ü. M. sehr hoch gelegen.	50 NW 1600 basisch
Visp VS	Diese VF deckt ein kontinentales Klima mit sehr wenig Niederschlag ab, liegt relativ tief (hohe Temperaturen) und hebt sich damit klimatisch von den anderen deutlich ab. Zudem eignet sich diese VF besser als die anderen im Wallis vorgeschlagenen VF, da sie bzgl. Relief und Bestandesstruktur homogen ist und wenig Lärche aufweist.	55*Ta N 1120 sauer

Flächenname und Kanton	Begründung	Standorts- angaben
Nicht gewählte Flächen		
Lauterbrunnen II BE	Die Fläche wies viel groben Kalk-Blockschutt auf, war also standörtlich speziell und bzgl. Relief insgesamt wenig homogen. Tannen waren selten. Zudem verjüngten sich v.a. Laubbäume stark.	48, 53, 53*Ta O, 1560 basisch
Rüschegg BE	Diese Fläche wies im Vergleich zur gewählten VF Lauterbrunnen gewisse Schwächen auf. Sie lag knapp in der obermontanen Stufe, Relief und Bestandesstruktur waren weniger homogen und Tannen fehlten.	46 (49, 50) NW 1300 sauer
Schiers GR	Diese Fläche ist für sich genommen zwar geeignet. Sie wurde ausgeschlossen, da die zwei VF bei Albula und Sagogn im Kanton GR wegen ihrer extremen Lage auf den Standortsgradienten für das Projekt wertvoller sind. Der Standortstyp 50 ist hingegen in anderen VF schon gut abgedeckt. Zudem liegt die Fläche tw. im Privatwald, was bei der langen Vertragsdauer evtl. problematisch sein könnte.	50 SW 1370 basisch
Trimmis GR	Diese Fläche ist für sich genommen mässig geeignet. Für die Fläche hätte die im Vergleich zu anderen VF grosse Meereshöhe gesprochen. Gegen sie sprechen die Grünerlenvorkommen im nordöstlichen Teil der Fläche. Sie wurde auch ausgeschlossen, da die zwei VF bei Albula und Sagogn im Kanton GR wegen ihrer extremen Lage auf den Standortsgradienten für das Projekt wertvoller sind.	50*, 60*, 57C NO 1715 basisch
Rhäzüns GR	Diese Fläche wurde wegen der für das Projekt wertvolleren VF Albula und Sagogn im Kanton GR ausgeschlossen. Gegen sie sprach zudem die etwas grosse Distanz zur Waldstrasse.	51 O 1330 basisch
Schwarzenberg LU	Auf dieser Fläche kamen Tannen nicht vor, hingegen viele Laubbäume (Bergahorn). Die Verjüngung bestand fast ausschliesslich aus Laubbäumen.	50* NW 1410 basisch
Brig VS	In dieser Fläche ist bereits viel Lärchen-Naturverjüngung vorhanden, welche bei einem Eingriff noch mehr profitieren dürfte. Für dieses Projekt ist ein hoher Lärchenanteil aber unerwünscht, weil der Fokus auf Tanne und Fichte liegt. Deshalb ist diese VF ungeeignet.	55* N 1300 sauer
Leysin VD	In dieser Fläche gibt es viel Naturverjüngung von Laubbaumarten, was für dieses Projekt nicht erwünscht ist, da der Fokus auf der Tanne und Fichte liegt. Deshalb ist diese Fläche ungeeignet.	53Ta SW 1695 basisch

4 Wertung der getroffenen Auswahl

Die Flächenwahl ist zwar nicht definitiv abgeschlossen (s. Kap. 3), doch an der Abdeckung der Umweltgradienten dürfte sich nur noch wenig ändern. Sechs VF liegen in den nördlichen Randalpen, eine in den Zwischenalpen mit Buche und drei in den Zwischenalpen ohne Buche (Abbildung 2). Die Höhenlage der gewählten VF reicht von 860 bis 1'600 m ü. M. (Abbildung 3), wobei die zwei tief gelegenen VF unter 1300 m nach Nord exponiert sind. Insgesamt sind die VF von Ost über Nord bis West exponiert, während im Sektor Südost bis Südwest keine VF liegt. Dass weder südexponierte VF noch tief gelegene VF in den Randalpen gefunden wurden, hängt vom Vorkommen der Tanne bzw. den Auswahlkriterien ab. Eine Berücksichtigung tief gelegener VF in den Randalpen wäre möglich gewesen; diese wären aber in der obermontanen Stufe gelegen und hätten, zumindest auf basischer Unterlage, starke Laubbaum-Naturverjüngung aufgewiesen. Der Fokus auf Standorte mit Tannen und Fichten führte zur Bandbreite von Standortbedingungen in den nun gewählten VF.

Mit der getroffenen Auswahl sind in Tannen-Fichtenwäldern verbreitete Standortstypen abgedeckt (in Klammern Anteil der Standortstypen im Schweizer Wald nach Frehner et al. 2020): 50 (13,2%), 50* (4,9%), 46 (9,5%), 51 (8,1%), 52 (7,7%). Nicht abgedeckt sind Tannenwälder der Südalpen (47, 6,0%). Sieben VF liegen auf basischem Substrat, drei auf saurem bzw. gemischtem. Zu berücksichtigen ist, dass auch auf basischem Substrat in Tannen-Fichtenwäldern auf Erhebungen saure Kleinstandorte vorkommen.

Eine besondere Schwierigkeit bei der Flächenwahl stellte die gleichzeitige Anforderung der guten Erschliessung und der weit zurückliegenden Nutzung dar, denn in erschlossenen Wäldern wird i.d.R. nach Bau der Erschliessung Holz genutzt.

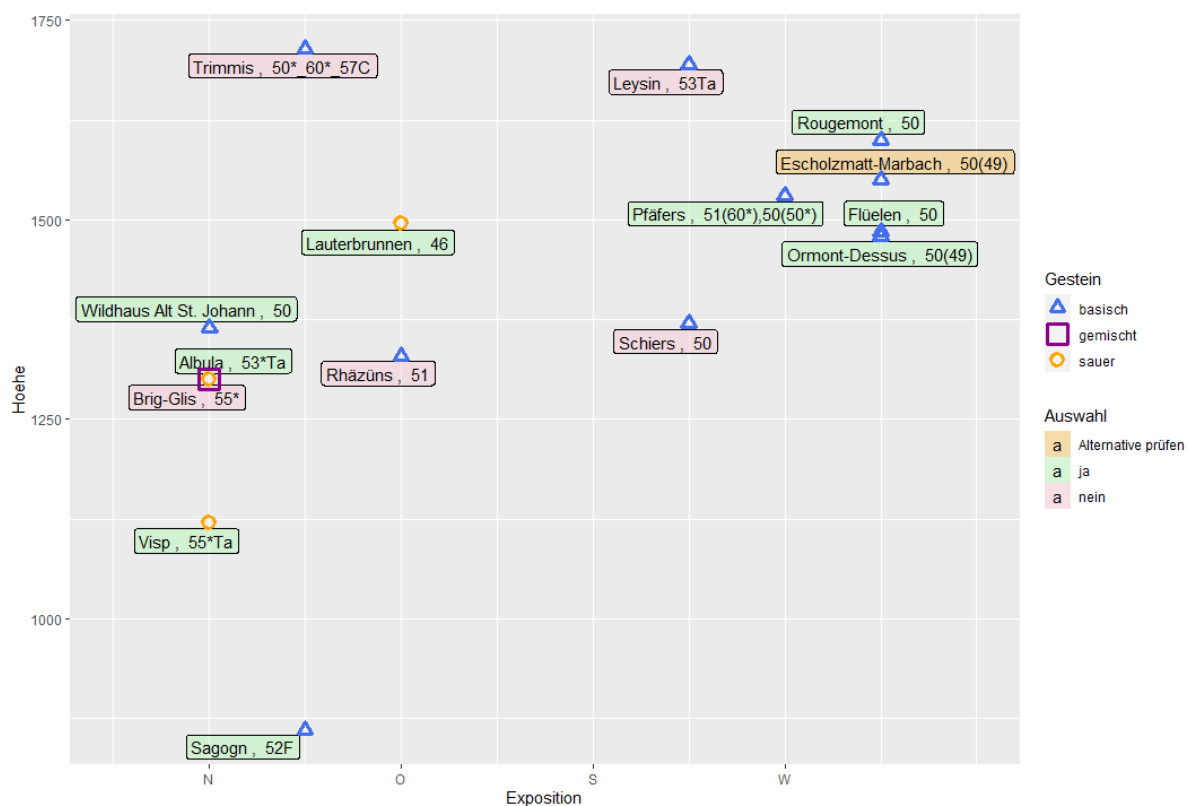


Abbildung 3. Höhenlage, Exposition, Waldstandort und Gestein der ausgewählten Flächen (grün), nicht ausgewählten Flächen (rot) und wo noch Alternativen geprüft werden sollten (orange). Die Flächen Lauterbrunnen II, Rüschegg und Schwarzenberg sind nicht dargestellt. Anmerkung: Die Fläche Schiers ist NW- und nicht SW-exponiert.

5 Literatur

Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R. 2005/09. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, Bundesamt für Umwelt.

Frehner M, Dionea SA, IWA – Wald und Landschaft AG. 2020. NaiS-LFI: Zuordnung der LFI-Stichprobenpunkte zu Waldgesellschaften. Erläuternder Schlussbericht.

Anhang

- 1 Anforderungen an Versuchsflächen
- 2 Meldeformular für Versuchsflächen
- 3 Protokoll der Besichtigung (Beispiel der Fläche Flüelen UR)

Gesucht: 10 Versuchsflächen für waldbauliche Experimente in Fichten- und Fichten-Tannenwäldern

Peter Brang, Petia Nikolova, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 30. März 2020

Bitte kontaktieren Sie uns bei Fragen:

peter.brang@wsl.ch, 044 739 24 86 (Büro) oder 077 409 77 82 (Mobil)

petia.nikolova@wsl.ch, 044 739 23 50 (Büro) oder 076 689 76 81 (Mobil)

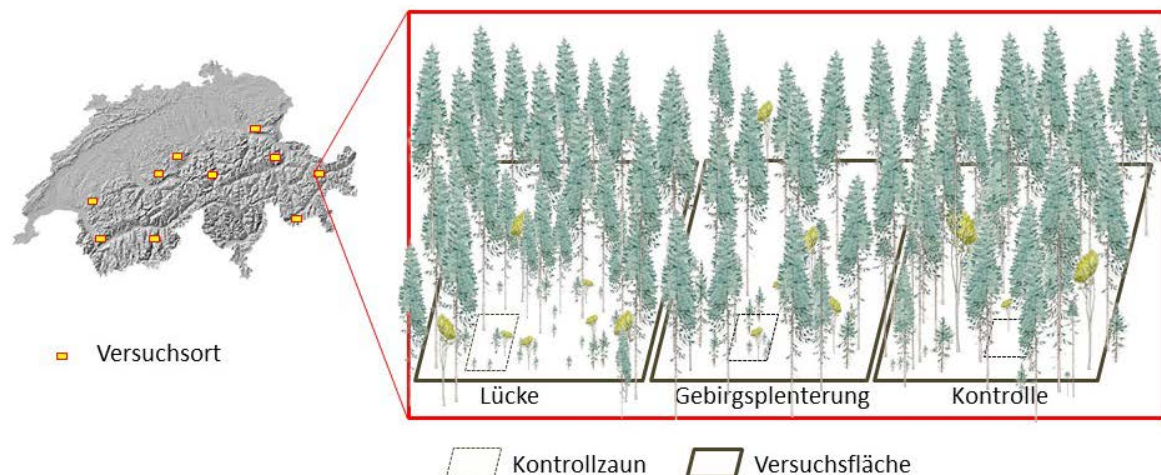


Abbildung 1. Idealisiertes Design der waldbaulichen Experimente. Es umfasst 10 Versuchsorte, an jedem Versuchsort 3 unterschiedlich behandelte Teilflächen und in jeder Teilfläche einen Kontrollzaun. Die Versuchsorte auf der Karte entsprechen einer möglichen Verteilung und werden in Absprache mit den kantonalen Waldämtern bestimmt.

Hintergrund

Die Waldverjüngung von heute ist der Schlüssel zu den Waldleistungen von morgen. Daher ist sie in der Mehrzahl der waldbaulichen Eingriffe in der Gebirgswaldpflege handlungsbestimmend. Allerdings bestehen in ihrem Bereich grosse Kenntnislücken, weshalb die WSL seit 2018 das Projekt «Gebirgswaldverjüngung» durchgeführt, das der Wald- und Holzforschungsfonds und sechs Gebirgswaldkantone finanzieren. Das BAFU hat klares Interesse an einem Folgeprojekt bekundet.

Ein wichtiger Teil des laufenden Forschungsprojekts sind 10 waldbauliche Langzeit-Experimente in Fichten- und Fichten-Tannenwäldern. Es ist geplant, die Versuchsflächen noch 2020 auszuwählen und in 3 Flächen Pilotinventuren durchzuführen und diese auszuwerten. In den 10 Versuchsflächen sollen Bestand und Verjüngung detailliert wissenschaftlich über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren untersucht werden. Teilflächen sollen unterschiedlich behandelt werden, um die Wirkung der Eingriffe festzustellen. Zudem sollen Kontrollzäune erlauben, den Wildhuftiereinfluss auf die Waldverjüngung zu erfassen.

Dieses Dokument informiert dazu, die Praxispartner über die Anforderungen an die gesuchten Flächen zu informieren. Wir lancieren damit die Flächensuche und sind für Ihre Meldungen geeigneter Objekte dankbar. Da wir uns verpflichtet haben, bis Herbst 2020 alle Flächen gesucht und in 3 Flächen eine Pilotinventur durchgeführt zu haben, wären wir froh um baldige Rückmeldungen.

Anforderungen an Versuchsflächen

Jede der gesuchten Waldflächen soll folgende Anforderungen erfüllen:

Obligatorische Anforderungen:

1. Grösse: 1,3-1,5 ha, so dass sich darin drei Teilflächen von ca. 0,4-0,5 ha unterbringen lassen.
2. Waldtyp: Die ganze Fläche sollte im hochmontanen oder subalpinen Fichtenwald oder im hochmontanen Fichten-Tannenwald liegen.
3. Homogenität des Waldstandorts: Der Waldstandort sollte weitgehend homogen sein, was den Standortstyp und die Exposition betrifft.
4. Hangneigung: Die Hangneigung soll zwischen 20% und 80% liegen und auf der ganzen Fläche homogen sein ($\pm 20\%$).
5. Struktur des Ausgangsbestands: Die aktuelle Bestockung sollte auf der ganzen Fläche möglichst homogen sein, was Entwicklungsstufe, Baumartenzusammensetzung und die vorhandene Verjüngung betrifft. Die jetzige Entwicklungsstufe soll zwischen schwachem Baumholz und Altholz liegen. Der Deckungsgrad darf unterschiedlich sein (zwischen 50 und 80%), auch kleine Lücken (200-500 m²) sind kein Problem. Die Bestockung sollte so stabil sein, dass nach Eingriffen ein Zusammenbruch wenig wahrscheinlich ist. Flächen, auf denen in den letzten 3 Jahren ein Eingriff oder eine Störung stattgefunden hat, sind ungeeignet.
6. Erreichbarkeit: Die Fläche sollte erschlossen sein (Strasse nicht weiter als 200 m entfernt).
7. Eingriffe: Der Bewirtschafter und der Waldeigentümer sind bereit, die genannten Teilflächen unterschiedlich zu behandeln. Die geplanten Behandlungen sind: 1) Kleine und mittlere Lücken (NaiS-konform), Entnahme ca. 30%; 2) nur kleine Lücken und Stabilitätspflege, Entnahme ca. 20%; 3) kein Eingriff (Kontrolle).
8. Interesse des zuständigen Betriebsleiters: Der Betriebsleiter ist am Versuch interessiert.
9. Zustimmung des Waldeigentümers: Der Waldeigentümer verpflichtet sich, die Fläche während 30 Jahren der Forschung zur Verfügung zu stellen und Eingriffe darauf auszurichten.

Wünschbare Anforderungen:

10. Flächen mit Samenbäumen von Tanne oder Laubbaumarten (auf der Fläche oder in der nahen Umgebung).
11. Bereits früher durch die Forschung genutzte Flächen oder Weiserflächen, Beobachtungsflächen oder Marteloskope, soweit die oben dargestellten Behandlungen erlaubt sind.
12. Wildhuftiereinfluss: Dieser sollte sich in den letzten 10 Jahren nicht stark verändert haben.

Anforderungen an das Flächennetz

Notabene: Diese Anforderungen sind für die einzelne Fläche *nicht* relevant, aber für die Auswahl der Flächen durch die WSL wichtig.

1. Gradient von Klima, Exposition, Höhenlage und Wildhuftiereinfluss. Die Diversität der Standortverhältnisse soll wie folgt möglichst abgedeckt werden:
 - a. Standortsregion: von den nördlichen Randalpen über die Zwischenalpen bis zu den kontinentalen Zentralalpen
 - b. Exposition: Süd- und Nordexposition bevorzugt, andere Exposition möglich
 - c. Höhenstufe: hochmontan oder subalpin, wobei der Fokus in der hochmontanen Stufe liegt (auch weil dann die grössere Chance besteht, Flächen mit Tanne zu finden)
 - d. Wildhuftiereinfluss: von stark bis gering

Es ist klar, dass mit 10 Flächen nicht alle Situationen abgedeckt werden können.

2. Mindestens die Hälfte der Flächen sollen die Naturverjüngung der Tanne zulassen (Samenbäume vorhanden).
3. Ein Teil der Flächen soll Vorverjüngung von Fichte, Tanne und Laubbaumarten aufweisen, ein Teil keine.
4. Die am Projekt beteiligten Kantone erhalten bei der Auswahl der Flächen Priorität. Konkret bedeutet dies bzgl. Anzahl Flächen pro Kanton (*subalpin* in Grauschrift, weil v.a. Flächen in der hochmontanen Stufe gesucht sind):

Standortsregion	Höhenstufe	Mögliche Anzahl Flächen pro Kanton						
		VD	BE	LU	SG	GR	UR	VS
Randalpen	Hochmontan	X	X	X	X		X	
	<i>Subalpin</i>	X	X	X	X		X	
Zwischenalpen	Hochmontan				X	X	X	X
	<i>Subalpin</i>				X	X	X	X
Kontinentale Hochalpen	Hochmontan					X		X
	<i>Subalpin</i>					X		X
Total		1	1	1	1-2	1-3	1	1-3

Aufgrund der Beteiligung der Kantone werden 3-5 Flächen in den Randalpen liegen und je 2-3 in den Zwischenalpen und den kontinentalen Hochalpen.

Einschränkungen der Bewirtschaftung

Die Versuche sind für den Waldeigentümer mit Einschränkungen verbunden. Die WSL schliesst mit ihm eine Vereinbarung ab, die die gegenseitigen Pflichten regelt. Die Bewirtschaftung ist, in Absprache mit dem kantonalen Forstdienst, mit der WSL zu vereinbaren. Bei Zwangsnutzungen ist die WSL zu informieren.

Finanzierung der Holzschläge und Kontrollzäune

Die WSL geht davon aus, dass die Holzschläge und die Kontrollzäune über kantonale Finanzierungsinstrumente finanziert werden können. Falls diese Annahme falsch ist, bitten wir um Rücksprache.

Vorgehen und Zeitplan

Wir planen folgendes Vorgehen:

Arbeitsschritt	Termin (Ende)
Anfrage an Kantone	31.03.2020
Erste Rückmeldung möglicher Flächen an WSL	20.05.2020
Beginn der Prüfung der erste Fläche durch die WSL inkl. Besichtigung	05.06.2020
Beginn der Einrichtung der ersten Fläche	15.06.2020
Abschluss der Flächenselektion	30.09.2020
Abschluss der Pilotinventuren in den ersten 3 Flächen	30.09.2020
Grunddokumentation pro Fläche	31.03.2021
Einrichtung der restlichen 7 Flächen, Inventuren	30.09.2021
Planung der Holzschläge	30.09.2021
Auswertung Ausgangszustand	31.03.2022
Durchführung der Holzschläge	30.06.2022
Erstellen von Kontrollzäunen	30.09.2022
Zweitinventur nach dem Holzschlag	30.11.2022
Drittinventur der Verjüngung	30.09.2023
Auswertung und Berichterstattung	31.12.2023

Format der Meldung von Flächen

Bitte füllen Sie die beiliegende Excel-Tabelle aus und mailen Sie sie an petia.nikolova@wsl.ch. Bitte legen Sie einen Planausschnitt bei. Falls viele Flächen in Frage kommen, treffen Sie eine Vorselektion und melden Sie nur doppelt bis drei Mal so viele Flächen wie für Ihren Kanton gesucht sind.

Meldeformular für Versuchsflächen im Projekt Gebirgswaldverjüngung

Kontaktperson beim Kanton →

Bitte für jede Fläche eine Spalte ausfüllen.

Bei Fragen bitte Petia Nikolova (044 739 23 50) oder
Peter Brang (044 739 24 86) kontaktieren.

Vorname:	
Name:	
Institution:	
Telefon:	
E-Mail:	

Information	Mustereingabe*	1. mögliche Fläche	2. mögliche Fläche	3. mögliche Fläche	4. mögliche Fläche
Kanton	LU				
Gemeinde	Kriens				
Waldeigentümer/in	Gemeinde Kriens				
Forstbetrieb	Forstbetrieb Hirschthal				
Zuständiger Betriebsleiter	Wolf Forster				
Höhenlage von-bis [m ü.M.]	1480-1510				
West-Ostkoordinate	2.647.800				
Süd-Nordkoordinate	1.241.300				
Maximal mögliche Flächengrösse [ha]	1,7				
Exposition [Auswahlliste]	SW				
Hangneigung [%]	50%				
Vorherrschender Standorttyp/Waldgesellschaft [Nr. gemäss kantonalem Schlüssel]	47M				
Weitere vorkommende Standorttypen/Waldgesellschaften [Nr. gemäss kantonalem Schlüssel]	47*				
Bodeneigenschaften soweit bekannt (z.B. Kalkgehalt; Gründigkeit; Skelettgehalt; Bodentyp)	nicht bekannt				
Standörtliche Homogenität					
Ist die ganze Fläche im gleichen Standorttyp [Nr. gemäss kantonalem Schlüssel]?	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]
Wie gross sind die Expositionsunterschiede in der TP [Gon]?	fast, im Norden 11				
Wie gross sind die Neigungsunterschiede in der TP [%]?	<10 Gon				
Jetziger Bestand					
Baumartenzusammensetzung	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]
Mittleres Alter [Jahre] oder Angabe "ungleichaltrig"	80Fi 20 Ta (Bah)				
	90-110				

Entwicklungsstufe	Mittleres Baumholz					
Vertikale Struktur	Zweischichtig					
Falls Lücken vorhanden sind: Wie gross, wie viele	1 Windfalllücke, 10 Aren					
Deckungsgrad [%]	70%					
Jahr des letzten Eingriffes	2004					
Bestandsgeschichte	Bis 1950 beweidet, danach ca. alle 15 Jahre durchforstet. Windfall von Lothar (1999)					
Verjüngung						
Deckungsgrad [%]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]	[keine Eingabe]
Baumartenzusammensetzung	20%					
Höhenbereich [cm]	30Fi 20Ta 50BAh (Vobe)					
Wildhuftiereinfluss: Beschreibung	0-200					
	Fi wächst gut auf, Ta stark verbissen, wächst nur vereinzelt über den Äser					
Weitere Informationen	Weiserfläche NaiS					

* Bei der Mustereingabe handelt es sich um fiktive Angaben

Projekt Gebirgswaldverjüngung

Begehungen Versuchsflächen Selektion

Fläche 5 in Flüelen (UR 1)

Koordinaten: 1 195 990 / 2 693 070

Forstbetrieb: **Gruonwaldkorporation** verantwortlich **Lorenz Jud**

Waldeigentümer: **Gruonwaldkorporation** (Zusammenschluss mehrerer Ortsgemeinden)

Anwesend Begehung:

Datum Begehung: **2. Juni 2020**

Roland Wüthrich (Amt für Forst und Jagd Uri), Jakob Zappe (Praktikant Amt für Forst und Jagd Uri)

Lorenz Jud (Revierförster)

PB, PN, AL (WSL)

Standort	
Höhe	1460-1510 m.ü.M.
Stufe	<i>Hochmontan (Grenze Subalpin)</i>
Standorts-region	<i>Noerdliche Randalpen</i>
Tannen-areal	<i>Hauptareal</i>
Fläche	1.8 ha
Neigung	25-45% mit einer Homogenität von <20% Mikrorelief teilweise sehr heterogen (stark ausgeprägt)
Exposition	NW mit einer Homogenität von <30 Gon
Boden	<i>Flysch, mittelgründig, eher weniger durchlässig.</i>
Standorts-typ	50 und weiter 57C (<i>fast komplett 50</i>) (standörtlich spannend)
Klima	feucht-kühl
Zeiger-arten	<i>Mittlere Standorte: Phegopteris connectilis, Phyteuma spicatum, Prenanthes purpurea, Mittel & Luftfeuchte: Viola biflora Feuchte/Hochstauden: Petasites albus, Saxifraga rotundifolia, Stellaria nemorum Säure: Vaccinium myrtillus, Luzula sylvatica Südwestlicher Ecken der Fläche mit mehr Heidelbeere, Gräser und Hochstauden. Nordwestlich eher Zeiger für mittlere Standorte, weniger Sauer.</i>

Waldbestand	
Arten	80Fi 20Ta (Bah) VoBe sehr präsent und einzelne sehr grosse Bäume bildend! Daneben einzelne Bu.
Mittleres Alter	Ungleichaltrig Einzelne Bäume vermutlich älter als 200 J.
Entwickl. - stufe	Starkes Baumholz Ddom: ca. 50 cm
Vertikale Struktur	zweischichtig In alten Lücken mit teils stufigen Rändern.
DG Lücken	70-80% mit folgenden Lücken: Alte Seillinie im nördlichen Ecken. Lockerer Bestandesteil der Fläche nicht geeignet. Bestand im südwestlichen Teil dichter, eher einschichtig und evtl. jünger. → Auf Plan einzeichnen

Bewirtschaftung	
Letzter Eingriff	Die letzten waldbaulichen Eingriffe auf der Fläche erfolgten mit Seillinien bei der Erstellung der Bachverbauungen im Vorderbach und Hinterbach. Im Jahr 2000 wurden bei der nördlichen Seillinie entlang des Hinterbachs total 450 m ³ herausgenommen. Im Jahr 2002 wurden bei der südlichen Seillinie entlang des Vorderbachs 270 m ³ gefällt. Die vorhandenen Verjüngungsansätze sind grösstenteils auf diese Eingriffe zurückzuführen.
Geschichte	Holznutzung zwischen 1990 und 2005 für Bachverbau, daher einzelne Verjüngungsansätze im südlichen Teil Zwischen 1909 und 1933 wurde auf fast der Hälfte der Waldfläche von 150 ha im Gruonwald der Weidgang aufgelöst und die Flächen wurden mit Fichten, Tannen, Arven, Bergföhren, Weisserlen, Grünerlen, Buchen, Eschen, Bergahornen und Exoten (Douglasien, Sitkafichten und Blaufichten) aufgeforstet. In einer Versuchsfläche erfolgte eine Buchenunterpflanzung, welche jedoch nur schlecht aufgekommen ist. Die Buche ist deshalb auch heute noch einzeln (2-3 Individuen) als Stangenholz zu finden. Die Bestandesgeschichte ist beim Kanton dokumentiert.

Umsetzung	
Zäune	Der Bau und Unterhalt der Zäune fällt finanziell schwer ins Gewicht. RW schätzt 2000.- pro Zaun. Dazu ist eine jährliche Kontrolle und wahrscheinlich mit einem Ersatz alle 10 Jahre zu rechnen. Die meisten Schäden werden an diesem Standort durch den Schneedruck entstehen. Die Standorte der Zäune sollten klein topografisch angepasst werden. Eine Reduktion der Anzahl Zäune wäre erwünscht. Eigene Auswertungen von Kontrollzäunen des Kantons zeigen, dass der Kleinstandort für das Aufkommen mindestens so wichtig ist wie der Verbiss. Die Stammzahl und Artenzusammensetzung der Verjüngung unterscheidet sich innerhalb und ausserhalb der Zäune wenig. Lediglich der Verbiss war natürlich innerhalb reduziert. Regelmässige Defekte an Zäunen sprechen wiederum für mehr Zäune in der Fläche.

Einschränk. Eingriffe	<p>(Durchführung eines Eingriffes nach der Erstaufnahme entweder ab Oktober 2020 oder 1 Jahr später)</p> <p>Die Fläche ist normalerweise von November bis April mit Schnee bedeckt und die Holzabfuhr ist nicht möglich. Üblicherweise wird daher im Herbst geholt. Da der Holzabsatz Corona bedingt schlecht ist (Lieferung nach Airolo) wäre der Eingriff nächstes Jahr evtl. im Frühling 2021 favorisiert. Es wäre finanziell heuer nicht möglich.</p> <p>Im Durchschnitt werden 140 m³/ha entnommen (Bestandesdichte abhängig). Es ist weniger sinnvoll in diesem Bestand einen schwachen und starken Eingriff anhand Volumen oder Deckungsgrad abzuschätzen. In Prozent der Stammzahl wäre das jedoch ungefähr 20-25% für den schwachen und 30-40% Entnahme für den starken Eingriff.</p> <p>Die verkürzten Seillinien können ideal von der Waldstrasse unterhalb eingerichtet werden. Welche Fläche dabei als Kontrolle nicht behandelt wird, ist für die Ausführung nicht relevant. Sie bemühen sich normalerweise die Seillinien schmal zu halten (wenig Bäume zu entfernen) und links und rechts davon kleine Schlitzte zu schlagen.</p> <p>Schutzwaldtechnisch sind nicht zwingend liegende Stämme oder hohe Stöcke nötig. Es ist ein Hochwasser Schutzwald. Bei einem Eingriff würden bestimmt die meisten Fichten aufgerüstet. Da jedoch Totholz für die Verjüngung relevant sein wird, sollen einige Stämme liegen gelassen werden.</p>
Unter- teilung	<p>Nach Seillinienausrichtung.</p> <p>Eine weitere Seillinie, die die Fläche im Norden tangiert (ähnlich wie die alte) wird in den nächsten 3-4 Jahren noch dazu kommen und diesen Teil evtl. noch mehr auflichten. Das wäre evtl. ein Argument, dort die Kontrolle nicht zu platzieren.</p>

Weiteres (z.B. Teilflächenplatzierung, Abmachungen Förster/Eigentümer, ...)	
Interessen	<p>Betriebsleiter/Revierförster:</p> <p>Interesse am Projekt selbst vorhanden. Die Finanzierungsfrage muss vorab geregelt werden, am besten über die Laufzeit des Projektes. Gerne würde er einen seiner Mitarbeiter, wahrscheinlich einen Lehrling, schicken, um bei den Aufnahmen mitzuhelfen. Dadurch ergäbe es für ihn auch mehr Arbeit und der Lehrling bekäme einen Bezug zum Projekt. Die Kosten für den Lehrling sollen teils vom Projekt übernommen werden.</p> <p>Waldeigentümer: Der Vorstand der Korporation ist informiert und hat sich für das Bereitstellen der Fläche ausgesprochen.</p> <p>Ein Vertrag für die gesamte Laufzeit zwischen Eigentümer und WSL ist wünschenswert. Eine Berechnung von Zaunvarianten und ein Beispiel eines Vertrages wird als nächster Schritt erarbeitet, um vom Kanton Uri die Zustimmung zu erhalten. Rückmeldung der WSL sollte noch bis 5.6. erfolgen.</p>
Alternativen	<p>(Flächengrenzen, Erweiterungsmöglichkeiten, andere Flächen)</p> <p>Die Form wird wegen der alten und wahrscheinlich auch wegen der geplanten Seillinie noch etwas angepasst.</p>
Inventur- beginne	<p>(Kann am 1.7. schon mit der Inventur begonnen werden ohne alle Detailfragen geklärt zu haben?)</p> <p>Mit eigenem Risiko ja.</p>

Verjüngung	
DG Verj.	Geschätzter DG 3-5% Sehr unterschiedlich nach Lücken.
Arten Verj.	Fi, Ta, VoBe, BAh
Höhe Verj.	In Lücken v.a. im Südwesten in allen Stufen bis zum Stangenholz.
Wild Verj.	Verbiss und Fegespuren: Fegespuren an Fi Verj. /Stangen gesehen. Die meisten Ta verbissen, VoBe auch verbissen. VoBe kommen aber erstaunlich gut auf.
Hinder- nisse	DG und Typen der Konkurrenzvegetation: In Lücken vor allem Gräser und Farne fast geschlossen, sonst mehrheitlich Hochstauden und Heidelbeere (DG 50%?).
Horiz. Struktur	Fi teilweise auf Moderholz. Vermehrt Verjüngung auf Kuppen. Aber alle Arten eigentlich überall vorhanden.
Dichte	(Ungefähre Dichte der Sämlinge nach Grössenklassen und Arten) Wurde nicht geschätzt, bei Ta-Anwuchs viele 1-jährige (>10'000/ha im unteren Teil). Sonst deutlich unter 5000/ha. Aufwuchs bei der Tanne nur selten.
Samen- bäume	Präsenz von Samenbäumen (Nicht Fi): Ta, Bu, VoBe, BAh
Zapfen	Zapfenbehang 2020 an Fi und Ta im Moment: Fi und Ta tragen zahlreich Zapfen

