

# Indikatoren der Waldverjüngung und ihre Anwendungsbereiche

Petia Simeonova Nikolova<sup>1,\*</sup>, Barbara Allgaier Leuch<sup>1</sup>, Monika Frehner<sup>2</sup>, Thomas Wohlgemuth<sup>1</sup>, Peter Brang<sup>†</sup>

<sup>1</sup> Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf (CH)

<sup>2</sup> Forstingenieurbüro Frehner (CH)

<sup>†</sup> 1963–2022

## Abstract

Bei der Waldbewirtschaftung geht es darum, gewünschte Leistungen mit möglichst wirksamen und kostengünstigen Eingriffen bereitzustellen. Von besonderer Bedeutung sind dabei Eingriffe, die über den Erfolg der Waldverjüngung bestimmen. Entsprechend wird die Verjüngung bei der Planung und Kontrolle von waldbaulichen Eingriffen, in der Waldplanung wie auch in der Jagdplanung regelmässig beurteilt. Allerdings sind Erfassung und Beurteilung der Verjüngung mit einigen Herausforderungen verbunden. In diesem Beitrag stellen wir fünf Indikatoren für die Beurteilung der Verjüngungssituation vor: die Verjüngungsdichte, der Verjüngungsdeckungsgrad, die Distanz zwischen Verjüngungsansätzen, der Flächenanteil ohne Verjüngung sowie die Verjüngungsfläche. Wir diskutieren ihre Eigenschaften und zeigen ihren Einsatzbereich in der Praxis auf. Die verschiedenen Indikatoren unterscheiden sich insbesondere darin, ob sie mithilfe von Messungen oder von Schätzungen erfasst werden, was Folgen für den Erhebungsaufwand und die Reproduzierbarkeit hat. Bei der Planung und Kontrolle von waldbaulichen Eingriffen ist in vielen Fällen eine gutachtliche Beurteilung der Verjüngung durch okulare Schätzung ausreichend. Wo die Verjüngungssituation jedoch unklar ist oder kontrovers beurteilt wird, werden gemessene Daten benötigt. Für den auf Messwerten beruhenden Indikator Verjüngungsdichte sind die Zielvorstellungen (Sollwerte, Bandbreiten) erst noch zu konsolidieren.

**Keywords:** forest regeneration, regeneration indicators, stem density, management options

**doi:** 10.3188/szf.2024.0108

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

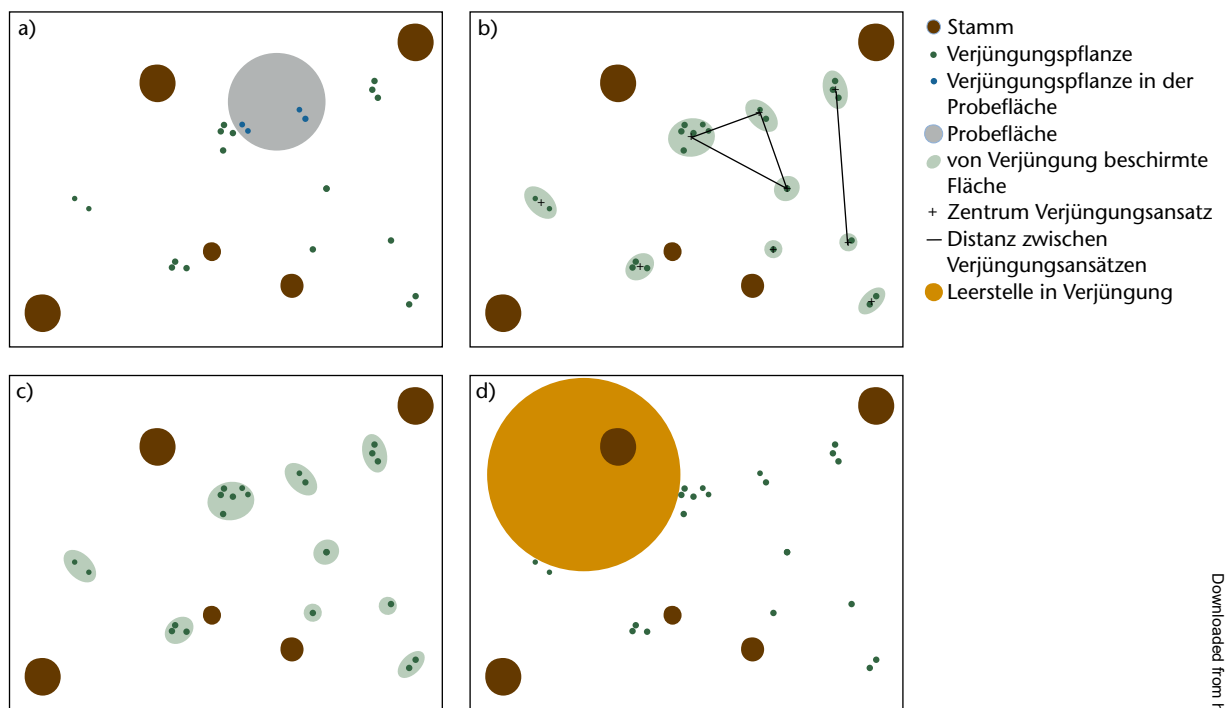
Bei der Waldbewirtschaftung wird das Ziel verfolgt, gewünschte Waldleistungen mit möglichst wirksamen und kostengünstigen Eingriffen bereitzustellen. Von grosser Tragweite sind Verjüngungseingriffe, d.h. waldbauliche Eingriffe, die über die nächste Baumgeneration bestimmen. Mit ihnen wird der Waldboden auf lange Sicht in bestimmte Baumarten investiert, mit Folgen für die zukünftigen Waldleistungen und für die langfristige Resilienz der Wälder. Wegen des Klimawandels vergrössert sich die Tragweite dieser waldbaulichen Entscheide noch, denn der gebietsweise erforderliche Baumartenwechsel muss vorab im Rahmen der Waldverjüngung erfolgen (Brang et al 2016). Im naturnahen Waldbau werden die Wälder üblicherweise natürlich verjüngt – durch Ansamung oder vegetative Vermehrung. Dabei treten die jungen Bäume (im Folgenden als «Verjüngung» bezeichnet) räumlich und zeitlich sehr variabel auf: Ihr Deckungsgrad kann von 0 bis 100% reichen, ihre Stammzahl (Dichte) von wenigen 100 bis über 100 000 pro Hek-

tare. Grosse Mengen an Verjüngung treten oft in Wäldern tiefer und mittlerer Höhenlagen auf, während die Verjüngung in Hochlagen oft spärlich ist – dies vor allem deshalb, weil sie nicht flächig aufkommt, sondern hauptsächlich auf günstigen Kleinstandorten.

Doch soll die Verjüngung langfristig zu Beständen heranwachsen, die die gewünschten Waldleistungen liefern, muss sie in bestimmter Menge (als Deckungsgrad oder Stammzahl), Qualität (Baumartenzusammensetzung, Schäden inkl. Wildeinfluss) und räumlicher Verteilung vorhanden sein. Entsprechend wird die Verjüngung bei der Planung und Kontrolle von waldbaulichen Eingriffen, in der Waldplanung wie auch in der Jagdplanung regelmässig beurteilt. Allerdings sind Erfassung und Beurteilung der Verjüngung mit einigen Herausforderungen verbunden.

Im vorliegenden Artikel stellen wir fünf Indikatoren zur Beurteilung der aktuellen Verjüngungssituation vor, diskutieren ihre Vor- und Nachteile

Downloaded from <http://meridian.allenpress.com/szf/article-pdf/175/3/108/3364461/2235-1469-175-3-108.pdf> by Lib4RI user on 02 May 2024



**Abb 1** Schematische Darstellung von Verjüngungsindikatoren: a) Verjüngungsdichte, abgeleitet aus in Probeflächen (grauer Kreis) erfassten Verjüngungspflanzen (in Dunkelblau) oder aus Distanzen zwischen einem Probeflächenzentrum und den  $k$  nächsten Bäumchen ( $k \geq 2$ ; nicht dargestellt); b) mittlere Distanz zwischen Verjüngungsansätzen (Verjüngungsansätze in Hellgrün), abgeleitet aus den geschätzten Distanzen zwischen den Verjüngungsansätzen/-trupps (vier Distanzen in Schwarz dargestellt, diese sollen länger als 5 m bei den Verjüngungsansätzen oder 17 m bei den -trupps sein); c) Verjüngungsdeckungsgrad, geschätzt anhand der von Verjüngung überbeschirmten Flächen (hellgrüne Ellipsen); d) Flächenanteil ohne Verjüngung (als orangefarbener Kreis dargestellt), der anhand von Probeflächen einer bestimmten Grösse (das gesamte Viereck) geschätzt wird. Nicht dargestellt ist der Indikator Verjüngungsfläche.

und zeigen anhand von Beispielen ihren Einsatzbereich in der Praxis auf. Wir fokussieren dabei nicht auf die Methoden zur Beurteilung des Qualitätsmerkmals Schäden und/oder Willeinfluss, da diese in anderen Publikationen erörtert sind (Rüegg et al 2010, Fehr et al 2019, Kupferschmid et al 2019, Zürcher-Gasser et al 2023). Wir möchten mit diesem Beitrag Möglichkeiten aufzeigen, wie der schon seit Längerem angedachte 14. Nachhaltigkeitsindikator «Verjüngungssituation» für den Schweizer Wald (Gollut & Rosset 2018) ausgestaltet werden kann.

## Indikatoren und Informationsgehalt

Die Waldverjüngung wird in unterschiedlichen Anwendungssituationen beurteilt: bei der Festlegung der waldbaulichen Eingriffe in verjüngungsrelevanten Beständen<sup>1</sup>, bei der Ableitung von Handlungsprioritäten auf den Ebenen Waldkomplex, Betrieb, Region oder Kanton sowie bei der jagdlichen Planung. In allen Entscheidungssituationen bilden Zielvorstellungen die Grundlage zur Abschätzung, ob die aktuelle Verjüngung hinreichend ist oder nicht (Sollwerte) oder ob sie sich im Rahmen gewisser «typischer Grenzen» bewegt (Bandbreiten). Sollwerte für Deckungsgrade sind zum Beispiel in der Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald NaiS» (NaiS; Frehner et al 2005) ent-

halten. Oft wird die Verjüngung von Auge bzw. gutachtlich eingeschätzt, zum Beispiel von den Forstdiensten beim Anzeichnen von waldbaulichen Eingriffen oder bei der Wirkungsanalyse auf Weiserflächen (Schwitter 2023). In anderen Fällen, insbesondere bei Vergleichsstudien, grossflächigem Waldmonitoring oder problematischen Waldsituationen, werden dagegen gemessene und einwandfrei reproduzierbare Daten benötigt (z.B. Erfassung von Stammszahlen in Stichprobefahren, Rüegg et al 2010). Zudem sind nicht in allen Entscheidungssituationen die gleichen Informationen zur Waldverjüngung erforderlich. Daher werden die Methoden zur Beurteilung der Verjüngungssituation in zwei Typen aufgeteilt: 1) solche, die auf Schätzungen bauen, und 2) jene, bei denen die Verjüngungssituation mithilfe von Messungen oder Zählungen erhoben wird.

Heute werden verschiedene Indikatoren zur Beurteilung der Verjüngungssituation verwendet: die Verjüngungsdichte, die Distanz zwischen Verjüngungsansätzen, der Verjüngungsdeckungsgrad und der Flächenanteil ohne Verjüngung. In Femelschlagwäldern wird zudem die Verjüngungsfläche als Indikator verwendet, vor allem auf Betriebsebene. Im Folgenden stellen wir die fünf Indikatoren mit

1 Jungwüchse und Verjüngungsbestände in gleichförmigen Hochwäldern, Überführungsbestände, Dauer- und Plenterwälder, Störungsflächen

ihren Erhebungsverfahren sowie ihren Eigenschaften vor (Tabelle 1, Abbildung 1).

Verjüngungsdichte

Die Verjüngungsdichte (Stammzahl pro Hektare) wird quantitativ meist über Stichprobenverfahren ermittelt (mit Probeflächen auf einem rechtwinkligen Raster oder entlang von Transekten), wobei die Bäumchen auf konzentrischen Probekreisen nach Baumart und Grössenklasse ausgezählt werden (Abbildung 1a). Als Radien werden 0.9 m bis 4 m im Landesforstinventar verwendet (Düggelin et al 2019), 2.5 m oder 4 m als Standard bei vielen WSL-Verjüngungserhebungen (z.B. Schönenberger 2002, Duc & Brang 2003, Kramer et al 2014, Kalt et al 2021), oder 2 m und 5 m für Indikatorflächen (Rüegg et al 2010). Angaben zur Verjüngung werden nach Grössenklasse und/oder Baumart als Mittelwerte und Variationsmasse der Stichprobe berechnet und auf Stammzahl pro Hektar hochgerechnet. Die Stichprobendichte wird von der räumlichen Gliederung bestimmt, für die eine Aussage getroffen wird (z.B. Schweiz, Produktionsregion, Kanton, Bestand). Die Verjüngungsdichte dient der quantitativen Einordnung der Baumverjüngung bezüglich ihrer Grössenverteilung und ihrer Artenzusammensetzung. Die Beurteilung und Überwachung der zeitlichen Entwicklung von Verjüngungsdichten erfolgt über wiederholte Erhebungen von permanenten Probeflächen, ein häufig in Indikatorflächen angewendetes Vorgehen (Rüegg et al 2010). Während bei geringen Verjüngungsdich-

ten die verwendeten Probekreise oft zu klein sind, um ausreichende Angaben zu erhalten (Problem von 0-Werten), gestaltet sich die Erhebung bei hoher Verjüngungsdichte sehr zeitaufwendig. Bei grossen Probekreisen ist die Aufnahme zudem fehleranfällig, da Bäumchen leicht übersehen oder doppelt gezählt werden. Eine fallweise Variation der Probeflächengrösse (z.B. grosse Fläche bei lückiger Verjüngung und kleine Flächen/Sektoren bei dichter Verjüngung) kann sich nachteilig auf die Hochskalierung der Verjüngungsdichten auf die Hektare auswirken (Schwyzer & Lanz 2010).

Eine Alternative stellt die k-Baum-Stichprobe dar (Huber et al 2018, Kupferschmid & Gmür 2020). Bei dieser Methode wird die Distanz einer fixen Anzahl Bäume zum Probekreiszentrum gemessen. Die Methode ist effizient bei grossen Verjüngungsdichten, wo die Suche nach Verjüngungspflanzen einer gewissen Grösse und Baumart relativ unproblematisch ist. Die Suche nach spärlich vorkommenden Baumarten kann aber viel Zeit in Anspruch nehmen, weil die Suchdistanz mit der abnehmenden Häufigkeit ansteigt. Deswegen werden die maximalen Suchradien oft vordefiniert. Die Verjüngungsdichte lässt sich gut mit quantitativen Verbissindikatoren kombinieren (Rüegg et al 2010, Kupferschmid & Gmür 2020).

Distanz zwischen Verjüngungsansätzen

Der Indikator Distanz zwischen Verjüngungsansätzen ist eine Variante des Indikators Verjün-

Merkmale	Verjüngungsindikator			
	Verjüngungsdichte	Distanz zwischen Verjüngungsansätzen <sup>a</sup>	Verjüngungsdeckungsgrad	Flächenanteil ohne Verjüngung
Erfassungsmethode	Messung SPI (Probekreise, k-Baum-Methode)	Schätzung (okular) Messung (Distanzmessung)	Schätzung (okular) Messung (digital <sup>b</sup> , SPI)	Schätzung (okular) Messung (digital <sup>b</sup> , SPI)
Einheit	N/ha	m	%	%
Einsatz	bei flächiger und geklumpter Verjüngung	bei geklumpter Verjüngung	bei flächiger und geklumpter Verjüngung	bei flächiger und geklumpter Verjüngung
Präzision	hoch	hoch/niedrig <sup>c</sup>	niedrig	niedrig (Schätzung/Messung digital <sup>b</sup> ) hoch (Messung SPI)
Nachweisbarkeit von Veränderungen	genau	ungenau	ungenau	ungenau (Schätzung/Messung digital <sup>b</sup> ) genau (Messung SPI)
Erhebungskosten	hoch	niedrig (Schätzung), mittel (Messung)	niedrig (Schätzung) mittel (Messung SPI)	niedrig (Schätzung) mittel (Messung digital <sup>b</sup> , SPI)
Bestimmung der Grössenklassen	ja	möglich	nein (Schätzung) ja (Messung SPI)	nein (Schätzung/Messung digital <sup>b</sup> ) möglich (Messung SPI)
Bestimmung der Baumarten	ja	möglich	möglich (Schätzung) ja (Messung SPI)	nein (Schätzung, Messung digital <sup>b</sup> ) möglich (Messung SPI)
Bewertung des Wildtiereinflusses	Messung	Schätzung	Schätzung (okular) Messung (SPI)	Schätzung (okular)

**Tab 1** Merkmale der Verjüngungsindikatoren, die auf Ebene Bestand oder Verjüngungsfläche verwendet werden können. Nicht dargestellt ist der Indikator Verjüngungsfläche, dieser wird nur grossräumig angewandt; SPI = Stichprobeninventur. <sup>a</sup> Distanz zwischen zwei Verjüngungsansätzen/-trupps soll >5 m bzw. 17 m sein. <sup>b</sup> Digitale Methoden dürften mit der Entwicklung an Präzision und Genauigkeit gewinnen. <sup>c</sup> Bei sehr wenig Verjüngung hoch, sonst eher niedrig, da Distanzen unregelmässig.





**Abb 2** Ist genug Verjüngung im Schutzwald? Die Antwort ist wichtig für Mensch und Infrastruktur. Hier im Bild: Schutzwald in der Region Pfäfers (SG). Foto: Peter Brang

gungsdichte. Grundsätzlich wird mit dem Indikator in der subalpinen und der obersubalpinen Stufe gearbeitet, auf denen sich die Naturverjüngung in kleinen Gruppen auf besonders günstigen Kleinstandorten mit genügend Licht- und Wärmezufuhr einstellt (Buchli 1997). In der Wegleitung NaiS wird der Indikator auch hochmontan verwendet. In tieferen Lagen (kollin, submontan, untermontan und obermontan) wird er in der Form Distanz zwischen Verjüngungstrupps (2 bis 5 Aren) eingesetzt. Damit ein Verjüngungsgrüppchen als Verjüngungsansatz gilt, muss sein Zentrum einen Abstand von mindestens rund 5 m zum Zentrum des nächsten Verjüngungsgrüppchen aufweisen (horizontal gemessen, Abbildung 1b). Bei Verjüngungstrupps beträgt die entsprechende Distanz mindestens rund 17 m. In der Praxis wird die Distanz zwischen den vorkommenden Verjüngungsansätzen/-trupps von Auge geschätzt und daraus der Mittelwert gebildet. Die Distanzen können auch gemessen werden (z.B. mit einem Vertex). Der Indikator taugt bei stark geklumpfter Verjüngung mit minimalem Aufwand für grobe Aussagen zur Verjüngungsstruktur (Menge und Baumartenzusammensetzung). Zeitliche Veränderungen in der Verjüngung lassen sich dagegen kaum nachweisen. Die Distanz zwischen Verjüngungsansätzen/-trupps lässt sich mit gutachtlicher Beurteilung des Wildeinflusses kombinieren (Fehr et al 2019, Zürcher-Gasser et al 2023). Eine Übersetzung dieses Ansatzes in Stammzahlen fehlt.

### Verjüngungsdeckungsgrad

Beim Indikator Verjüngungsdeckungsgrad wird der Anteil der Bodenoberfläche, der von Ver-

jüngung überschirmt ist, von Auge geschätzt (Abbildung 1c). Die Schätzung erfolgt entweder während der Begehung eines Bestandes oder einer Verjüngungsfläche im Rahmen der Planung oder der Wirkungskontrolle von Eingriffen oder innerhalb von systematisch gelegten Probeflächen im Rahmen von Waldinventuren (z.B. dem LFI; Düggelin et al 2019). Etwas aufwendiger ist die quantitative Aufnahme des Deckungsgrades als Präsenz/Absenz von Verjüngungspflanzen an systematisch gelegten Transsektpunkten innerhalb einer Untersuchungsfläche (Brang et al 2017). Der Indikator wird in NaiS in tieferen Lagen für Bäumchen zwischen 40 cm Höhe und 12 cm Brusthöhendurchmesser (BHD; submontan bis hochmontan; Frehner et al 2005) zusätzlich zur Distanz zwischen Verjüngungstrupps oder Verjüngungsansätzen angegeben. Dies gilt für Fälle, in denen die Verjüngung nicht geklumpt vorhanden ist (z.B. im Dauerwald). Zudem wird er in wissenschaftlichen Arbeiten (Brang et al 2017) und im Schweizerischen Landesforstinventar (LFI) verwendet (Düggelin et al 2019). Der Verjüngungsdeckungsgrad ist rasch ermittelt und liefert ohne Hochrechnung eine Angabe für den jeweiligen Bestand oder die jeweilige Verjüngungsfläche. Die Schätzungen sind aber wenig präzise, gerade wenn Bäumchen mit einer Höhe von < 40 cm miterfasst werden. Entsprechend wird der Verjüngungsdeckungsgrad im LFI in Prozentklassen analog zu pflanzensoziologischen Vegetationsehebungen geschätzt (Düggelin et al 2020). Der im LFI verwendete Indikator Verjüngungsdeckungsgrad gibt keine Auskunft über die Baumartenzusammensetzung in der Verjüngung. Nach Hauptbaumarten aufschlüsseln lässt sich da-

gegen den Indikator Deckungsgrad der gesicherten Verjüngung, also der Verjüngung ab 130 cm Höhe. Allerdings ist das Schätzen der Baumartenanteile am Deckungsgrad schwierig und schlecht reproduzierbar. Die zeitlichen Veränderungen in der Verjüngung können mit diesem Indikator nur unpräzise erfasst werden – selbst unter Verwendung von an Transektpunkten geschätzten Deckungsgraden. Der Verjüngungsdeckungsgrad lässt sich mit der gutachtlichen Beurteilung des Wildeinflusses kombinieren und im Fall einer Stichprobeninventur auch mit quantitativen Indikatoren zum Wildeinfluss. Eine Übersetzung dieses Ansatzes in Stammzahlen fehlt.

### **Flächenanteil ohne Verjüngung**

Der Indikator Flächenanteil ohne Verjüngung fokussiert auf Leerstellen in einzelnen Beständen oder Verjüngungsflächen (Abbildung 1d). Die Leerstellen können gutachtlich abgeschätzt oder – präziser – in einem Stichprobennetz mit Probeflächen einer bestimmten Grösse (z.B. 50 m<sup>2</sup>) erfasst oder mit einem GPS eingemessen werden. Die erfassten Leerstellen müssen nicht absolut frei von Verjüngungspflanzen sein, sondern können auch ohne Pflanzen einer erwünschten Dimension oder Baumart sein. Das Verfahren scheint gut geeignet zu sein für relativ dichte Verjüngungen. Die zeitlichen Veränderungen in der Verjüngung (gutachtliche Schätzung der Grösse und der Position von Leerstellen) können mit diesem Indikator rasch, aber nur unpräzise erfasst werden. Der Indikator Flächenanteil ohne Verjüngung wird teilweise bei der Wirkungsanalyse im Schutzwald angewendet (z.B. auf der Weiserfläche Plumperwald SG; Samuel Zürcher, mündliche Auskunft), ist aber unspezifisch und schlecht reproduzierbar. Er lässt sich gut mit gutachtlicher Beurteilung des Wildeinflusses kombinieren.

### **Verjüngungsfläche**

In gleichförmigen Hochwäldern, die im Femelschlagbetrieb bewirtschaftet werden, gibt der Indikator Verjüngungsfläche auf Ebene Forstbetrieb (oder Region) Informationen darüber, ob die Verjüngungshiebe während der letzten Jahrzehnte in dem Sinn ausreichend waren, dass sie langfristig zu einer wenig schwankenden Holznutzung führen. Dabei wird entweder die Fläche der Jungwüchse und Dickungen oder jene der in den letzten Jahren verjüngten Bestände (d.h. die Verjüngungsfläche) mit der vom Forstbetrieb bestimmten nachhaltigen Verjüngungsfläche verglichen. In der praktischen Anwendung gibt der Vergleich zwischen der effektiven und der nachhaltigen Verjüngungsfläche Hinweise darauf, ob ein eher zu grosser oder zu kleiner Teil der Waldfläche verjüngt worden ist. Keine Auskunft gibt der Indikator dagegen darüber, ob die Verjüngung innerhalb der Jungwaldflächen in genügender Menge und Qualität aufkommt. Auf Bestandesebene

und in Dauer- und Plenterwäldern ist dieser Indikator deshalb nicht anwendbar.

## **Beispiele für die Anwendung der verschiedenen Verjüngungsindikatoren**

Je nach Anwendungssituation eignen sich die verschiedenen Verjüngungsindikatoren unterschiedlich gut. Hier zeigen wir beispielhaft drei Anwendungssituationen.

### **1. Zu verjüngender Einzelbestand**

Bei der Festlegung von waldbaulichen Eingriffen in Plenter- und Dauerwäldern, in Überföhrungsbeständen sowie in zu verjüngenden Femelschlagwäldern wird die Vorverjüngung angesprochen. Dazu reicht in der Regel eine okulare Einschätzung der Menge im Ausgangszustand (Distanz zwischen Verjüngungsansätzen oder Verjüngungsdeckungsgrad), weil die Vorverjüngung ohnehin als Folge des Eingriffs durch Nachverjüngung ergänzt wird. Wichtig sind dabei auch die okulare Beurteilung, welche Baumarten zu welchem Anteil bereits vorhanden sind, und die Einschätzung der Schäden und Gefährdungen inklusive des Huftiereinflusses. Hierbei ist auch die Baumartenzusammensetzung im Anwuchs (10–39 cm Höhe) wichtig, weil sich an ihr das Verjüngungspotenzial ablesen lässt.

Die Kontrolle des Eingriffserfolgs sollte dort stattfinden, wo sich die Nachverjüngung aufgrund der Licht-/Wärmeverfügbarkeit, des Mikrostandorts und der Dauer seit dem Eingriff einstellen konnte. Wo sich die Verjüngung rasch und reichlich entwickelt, dürften auch für die Erfolgskontrolle gutachtliche Verfahren genügen. Dabei kann in Beständen mit flächiger Verjüngung der Verjüngungsdeckungsgrad und bei stark geklumpter Verjüngung die Distanz zwischen Verjüngungsansätzen geschätzt werden. Zusätzlich ist auch die Qualität der Verjüngungspflanzen (Schäden, Verbiss) gutachtlich zu beurteilen. In Gebirgswäldern kann der Verjüngungsprozess bei fehlender Vorverjüngung und wenigen günstigen Mikrostandorten Jahrzehnte dauern (Brang et al 2017). Falls in solchen Wäldern die Verjüngungssituation grossräumig ungenügend ist und zur Sicherung von Waldleistungen über technische Massnahmen, Verbissschutz und/oder Pflanzung entschieden werden muss, ist es angezeigt, mit Stichprobeninventuren die Verjüngungsdichte zu erfassen. Das kann in Probeflächen mit fixem Radius oder mittels k-Baum-Methode geschehen. Im Rahmen der Stichprobenerhebung wird oft auch der Wildeinfluss quantitativ erfasst. Dies empfiehlt sich insbesondere für wichtige Schutzwälder, in denen über längere Zeiträume sichtbare Verjüngungsprobleme bestehen (Abbildung 2). Auch auf Weiserflächen (Schutzwald)





**Abb 3** Im Projekt «Gebirgswaldverjüngung» (Brang & Nikolova 2020) werden die Stammzahl, der Deckungsgrad und die demografische Entwicklung von Verjüngungspflanzen, die älter als ein Jahr sind, bestimmt. Andrea Uselli erfasst die Höhe einer Verjüngungspflanze bei Rougemont (VD). Foto: Carole Spori

oder anderweitigen Flächen, die zur Beobachtung der Verjüngung eingerichtet wurden, empfehlen wir, die Verjüngung quantitativ zu erheben, um die Genauigkeit zu erhöhen und die Reproduzierbarkeit zu sichern.

## 2. Grossflächige Beurteilung der Verjüngungssituation

Im Waldmonitoring (z.B. LFI, Waldinventur Aargau) wird die Verjüngungssituation grossräumig beurteilt: für eine Region, eine Höhenstufe oder einen Kanton mit Unterteilungen wie Waldregionen und Forstkreisen. Um Veränderungen quantifizieren zu können, müssen die Daten möglichst reproduzierbar erfasst sein. Entsprechend drängen sich Stichprobenverfahren mit der Beurteilung der einzelnen Jungwaldpflanzen auf (siehe Abschnitt «Verjüngungsdichte»: Probekreise oder k-Baum-Methode). Das Stichprobenetz ist so zu gestalten, dass es Aussagen für die gewünschte regionale Gliederung ermöglicht. Eine Antwort auf die Frage, ob es in einem bestimmten Bestand genügend Verjüngung hat, erlaubt die mit diesem Stichprobenetz berechnete Verjüngungsdichte nicht. Dies, weil die auf einer einzelnen Probefläche angetroffene Verjüngung in der Regel nicht repräsentativ für die Verjüngungssituation im betrachteten Bestand ist. Anhaltspunkte geben kann dagegen der Verjüngungsdeckungsgrad, der für den Bestand, in dem die Probefläche liegt, ermittelt wird. Dieser Indikator beruht aber auf Schätzungen, mit den bekannten Nachteilen hin-

sichtlich Reproduzierbarkeit. Entsprechend sind im grossflächigen Waldmonitoring verschiedene Indikatoren (insbesondere Verjüngungsdichte, Verjüngungsdeckungsgrad und Verjüngungsfläche) zu kombinieren und ihre jeweiligen Vorteile zu nutzen.

Beim grossflächigen Waldmonitoring kann die Verjüngungssituation im gesamten Wald oder nur in denjenigen Beständen, in denen die Verjüngung eine besondere Rolle spielt (z.B. Dauerwälder, Störungsflächen, Jungwüchse/Dickungen), analysiert werden. Während mit den erstgenannten Analysen die nachhaltige Entwicklung beurteilt werden kann, erlauben die zweitgenannten den Vergleich der Verjüngungsdaten mit auf den Standort und die Bestandesstruktur abgestimmten Richt- oder Sollwerten. Allerdings sind für die Verjüngungsdichte noch keine konsolidierten Richt- und Sollwerte vorhanden.

Bei Waldmonitorings mit Stichprobeninventuren werden in der Regel nicht nur Daten zur Verjüngung, sondern zu allen Bäumen erfasst. Diese können unter anderem Aufschluss über das Vorhandensein von Samenbäumen geben. Solche Informationen sind im Kontext der Anpassung der Wälder an den Klimawandel mittels standortgerechter Baumarten und Provenienzen von besonderer Relevanz.

## 3. Jagdliche Planung

Bei der Beurteilung des Wildeinflusses in einem Wildraum, in einer Region oder einem Kanton als Entscheidungsgrundlage für die jagdliche Planung

werden mehrheitlich gutachtliche Verfahren eingesetzt (z.B. im Kanton St. Gallen<sup>2</sup>). Dabei beurteilen die Forstdienste, ob mit der vorhandenen Verjüngung das Waldbauziel erreicht werden kann. In Gebieten mit vorhandener oder vermuteter Beeinträchtigung der Verjüngung durch Wildtiereinfluss werden oft Stichprobeninventuren zur Ermittlung der Verjüngungsdichte und der Verbissintensität durchgeführt (Rüegg et al 2005, Kupferschmid et al 2019). Stichprobeninventuren ermöglichen bei der Erfassung von Informationen zum Mikrostandort auch qualifizierte Aussagen darüber, welche ökologischen Faktoren die Verjüngungsdichte und die Baumartenzusammensetzung beeinflussen. Damit lässt sich auch der Huf-tiereinfluss quantitativ einordnen. Die von Kupferschmid et al (2019) und von Kupferschmid & Gmür (2020) vorgeschlagenen Indikatoren liefern etwa relevante Zusatzinformationen zur Verbissintensität. Dazu gehören Verbissstärke, verbissbedingter Höhen(zuwachs)verlust, Durchwuchszeit oder allenfalls verbissbedingte Mortalität.

## Schlussfolgerung und Ausblick

Bei der waldbaulichen Beurteilung von einzelnen Beständen im Rahmen der Waldbewirtschaftung ist in vielen Fällen die gutachtliche Einschätzung der Verjüngung ausreichend. Der Verjüngungsdeckungsrad, die Distanz zwischen den Verjüngungsansätzen oder der Flächenanteil ohne Verjüngung können in der Praxis relativ einfach und effizient gutachtlich beurteilt werden. Die Schätzverfahren sind subjektiv und hängen stark von der Instruktion und der Erfahrung der jeweiligen Personen und Teams ab. Somit dürften diese Einschätzungen nur ausreichen, solange die Verjüngungsabläufe unproblematisch sind. Wo die Verjüngungssituation jedoch unklar ist oder kontrovers beurteilt wird, werden gemessene Daten benötigt. Handlungsbedarf besteht deswegen bei der Entwicklung von Zielvorstellungen für die mithilfe von Messungen und Zählungen ermittelte Verjüngungsdichte. Ein Vorteil der quantitativen Informationen ist es auch, dass sie mit digitalen Ansätzen (z.B. Fotos, Laserscanningdaten) ergänzt werden können.

Die WSL führt derzeit mehrere Projekte zur Waldverjüngung durch. Im langfristig ausgelegten Projekt «Gebirgswaldverjüngung» (Brang & Niko-lova 2022; Abbildung 3) werden umfangreiche Daten zur Waldverjüngung erfasst. Es dient auch als

Plattform, um die oben genannten methodischen Aufgaben zu testen und zu validieren. Im Projekt «Benchmarks»<sup>3</sup> sollen Richtwerte der Verjüngungsdichte für die wichtigsten Waldstandorte berechnet und als Bandbreiten dargestellt werden. Solche Forschungsprojekte ermöglichen es, die Kenntnisse über Verjüngungsabläufe zu verbessern und robuste Handlungsempfehlungen für die forstliche Praxis zu erarbeiten.

Eingereicht: 30. Januar 2023, akzeptiert (mit Review): 5. März 2024

## Dank

An den verstorbenen Peter Brang, unter dessen Leitung diese Auslegeordnung der einzelnen Verjüngungsindikatoren im Rahmen des Projekts «Gebirgswaldverjüngung Phase I» (2018–2020) erstellt wurde (Brang & Nikolova 2022). Die Autoren haben den vorliegenden Artikel in seinem Sinne zusammengestellt. Er ist eine Hommage an Peters grossen Beitrag zur Verjüngungsforschung. An die Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz, die das Projekt finanziert (WHFF-Projekt 2018.04). An Peter Bebi, Andrea Kupferschmid, Riet Gordon, Viola Sala und Jürg Hassler für die hilfreichen Hinweise und Diskussionen.

## Literatur

- BRANG P, KÜCHLI C, SCHWITTER R, BUGMANN H, AMMANN P (2016)** Waldbauliche Strategien im Klimawandel. In: Pluess A, Augustin S, Brang P, editors. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 341–366.
- BRANG P, NIKOLOVA PS, 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 p. + Anhang. doi: 10.3929/ethz-b-000184480
- BRANG P, NIKOLOVA PS (2020)** Konzeptpapier zu Verjüngungsindikatoren und -sollwerten. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL. 29 p.
- BRANG P, NIKOLOVA PS (2022)** Forschungsprojekt Gebirgswaldverjüngung: Grundlagen zur verbesserten Beurteilung und gezielteren Beeinflussung der Verjüngung im Gebirgswald. Schlussbericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 19 p. + Anhang. [www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=70885&Load=true](http://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=70885&Load=true) (8.3.2024)
- BUCHLI J (1997)** Beurteilung des minimal notwendigen Verjüngungsanteils in subalpinen Schutzwaldkomplexen anhand eines Fallbeispiels in Sedrun. Diplomarbeit. Zürich: ETH Zürich, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum. 85 p. + Anhang.
- DUC P, BRANG P (2003)** Die Verjüngungssituation im Gebirgswald des Schweizerischen Alpenraumes. Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald 130: 31–50.
- DÜGGELIN C, KELLER M, CIOLDI F (2019)** Field Assessment. In: Fischer C, Traub B, editors. Swiss National Forest Inventory – Methods and Models of the Fourth Assessment. Cham: Springer, Managing Forest Ecosystems 35. pp 159–186.
- DÜGGELIN C, ABEGG M, BISCHOF S, BRÄNDLI UB, CIOLDI F ET AL (2020)** Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der fünften Erhebung 2018–2026. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL, WSL Ber 90. 274 p.
- FEHR M, ZÜRCHER GASSER N, SCHNEIDER O, BURGER T, KUPFERSCHMID AD (2019)** Gutachtliche Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung (Essay). Schweiz Z Forstwes 170: 135–141. doi: 10.3188/szf.2019.0135

2 [www.sg.ch/umwelt-natur/wald/-rund-um-den-st-galler-wald/waldfunktionen/waldbiodiversitaet/wald-wild-lebensraum0/ergebnisse-der-lebensraumbeurteilung-2021-2022.html](http://www.sg.ch/umwelt-natur/wald/-rund-um-den-st-galler-wald/waldfunktionen/waldbiodiversitaet/wald-wild-lebensraum0/ergebnisse-der-lebensraumbeurteilung-2021-2022.html) (3.3.2024)

3 [www.wsl.ch/de/projekte/benchmarks-berechnung-von-referenzwerten-fuer-die-verjuengung-in-gebirgs-waeldern-der-schweiz/](http://www.wsl.ch/de/projekte/benchmarks-berechnung-von-referenzwerten-fuer-die-verjuengung-in-gebirgs-waeldern-der-schweiz/) (4.3.2024)



- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005)** Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 30 p. + Anhang.
- GOLLUT C, ROSSET C (2018)** Etat de la planification forestière dans les cantons en 2017. Rapport final. Zollikofen: Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL), division Sciences forestières. 75 p.
- HUBER MO, SCHWYZER A, KUPFERSCHMID AD (2018)** A comparison between plot-count and nearest-tree method in assessing tree regeneration features. *Curr Trends For R* 4: 11. doi: 10.29011/2638-0013.100022
- KALT T, NIKOLOVA PS, GINZLER C, BEBI P, EDELKRAUT K, BRANG P (2021)** Kurzes Zeitfenster für die Fichtennaturverjüngung in Gebirgsnadelwäldern. *Schweizer Z Forstwes* 172: 156–165. doi: 10.3188/szf.2021.0156
- 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. *For Ecol Manage* 331: 116–128. doi: 10.1016/j.foreco.2014.08.002
- KUPFERSCHMID AD, BRANG P, BUGMANN H (2019)** Abschätzung des Einflusses von Verbiss durch wildlebende Huftiere auf die Baumverjüngung. *Schweiz Z Forstwes* 170: 125–134. doi: 10.3188/szf.2019.0125
- KUPFERSCHMID AD, GMÜR PA (2020)** Methoden zur Einschätzung des Verbisseinflusses: Vergleich der Messungen an den k nächsten Bäumchen mit Zählungen im Probekreis. *Schweiz Z Forstwes* 171: 69–78. doi: 10.3188/szf.2020.0069
- MOSER B, TEMPERLI C, SCHNEITER G, WOHLGEMUTH T (2010)** Potential shift in tree species composition after interaction of fire and drought in the central Alps. *Eur J For Res* 129: 625–633. doi: 10.1007/s10342-010-0363-6
- RÜEGG D, SIGNY J-M, DEMIERRE P (2005)** Verjüngungskontrolle im Kanton Freiburg: Wald und Wild nahe beim Ziel. *Wald Holz* 4/04:53–55
- RÜEGG D, BURGER T, BRANG P, ODERMATT O (2010)** Methoden zur Erhebung und Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung. In: BAFU, editor. *Wald und Wild – Grundlagen für die Praxis. Wissenschaftliche und methodische Grundlagen zum integralen Management von Reh, Gämse und Rothirsch und ihrem Lebensraum*. Bern: Bundesamt für Umwelt. pp. 67–91.
- SCHWITTER R (2023)** Wirkungsanalyse auf Weiserflächen. Grundlagen – was ist das, und wozu dient sie? BAFU-Projekt Inwertsetzung der waldbaulichen Erfahrungen aus den NaiS-Weiserflächen, 2019–2023, In: Rüsch C, Schwitter R, Zürcher S, editors. *Inwertsetzung der waldbaulichen Erfahrungen aus den NaiS-Weiserflächen. Projekt im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, 2019–2023*.
- SCHWYZER A, LANZ A (2010)** Verjüngungserhebung im schweizerischen Landesforstinventar. *Grüne Reihe* (2010): 42–67.
- ZÜRCHER-GASSER N, FREHNER M, BURGER T, ZÜRCHER S, JENAL C, KUPFERSCHMID AD (2023)** Gutachtliche Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung unter Einbezug des Klimawandels. *Schweiz Z Forstwes* 174 (5): 270–273. doi: 10.3188/szf.2023.0270

## Indicateurs de la régénération de la forêt et leurs domaines d'application

L'objectif de la gestion forestière est de fournir les prestations souhaitées par des interventions aussi efficaces et économiques que possible. Les interventions qui déterminent le succès de la régénération de la forêt revêtent une importance particulière. C'est pourquoi la régénération est régulièrement évaluée lors de la planification et du contrôle des interventions sylvicoles, de la planification forestière et de la planification de la chasse. Toutefois, la saisie et l'évaluation de la régénération sont liées à quelques défis. Dans cet article, nous présentons cinq indicateurs pour l'évaluation de la situation de la régénération, discutons de leurs avantages et inconvénients et montrons leur domaine d'application dans la pratique: la densité de la régénération, le degré de recouvrement de la régénération, la distance entre les cellules de régénération, la part de surface sans régénération ainsi que la surface de régénération. Les différents indicateurs se distinguent notamment par le fait qu'ils sont saisis à l'aide de mesures ou d'estimations, ce qui a des conséquences sur le temps de relevé et la reproductibilité. Lors de la planification et du contrôle des interventions sylvicoles, une évaluation experte de la régénération par estimation oculaire suffit dans de nombreux cas. Toutefois, lorsque la situation de la régénération n'est pas claire ou fait l'objet d'une évaluation controversée, des données mesurées sont nécessaires. Pour l'indicateur densité de régénération basé sur des valeurs mesurées, les objectifs (valeurs cibles, fourchettes) doivent encore être consolidés.

## Indicators of forest regeneration and their application

The aim of forest management is to provide the needed services with efficient and cost-effective interventions. In particular, the success of forest regeneration is of utmost importance. Accordingly, regeneration is regularly assessed in the planning and monitoring of silvicultural interventions, and in forest and hunting planning. However, recording and assessing regeneration poses several challenges. In this article, we present five indicators for assessing regeneration situations, discuss their characteristics and give examples for their application in practice: 1) regeneration density, 2) degree of regeneration cover, 3) distance between regeneration groups, 4) area without regeneration, and 5) successfully regenerated area. The indicators differ in whether they are measured or estimated, with consequences for the sampling effort and data reproducibility. In the planning and monitoring of silvicultural interventions, an expert assessment of regeneration by means of ocular estimation is sufficient in many cases. But, where the regeneration situation is unclear or controversial, measured (quantitative) data is required. For the indicator regeneration density based on measured values, however, target values (or benchmarks) still need to be consolidated.