

Schutzwaldpflege im Klimawandel

Lukas Glanzmann, Samuel Zürcher, Christian Rüsch



Der menschengemachte Klimawandel verändert die Standortbedingungen im Schweizer Wald innert weniger Jahrzehnte massiv. Veränderungen haben bereits stattgefunden und es wird weiter deutlich wärmer und teilweise trockener. Dies führt auch zu häufigeren und stärkeren Störungen. Deshalb werden sich unter anderem die Baumartenzusammensetzung und die Waldstruktur teilweise grundlegend wandeln. Zusätzlich wirken weitere Faktoren des globalen Wandels auf unseren Wald ein, beispielsweise eingeschleppte Schadorganismen oder grossflächig überhöhte Stickstoffeinträge.

Diese grossen bevorstehenden Veränderungen und die damit verbundenen Unsicherheiten stellen die Schutzwaldpflege vor grosse Herausforderungen. Die Anpassungen der Schutzwälder an die Klimaveränderungen

soll wo immer möglich so erfolgen, dass die Schutzwirkung und andere Waldleistungen ohne Unterbrüche erbracht werden.

Diese Praxishilfe richtet sich an die waldbaulichen Praktiker/-innen. Sie soll mithilfe von strukturierten Leitfragen und Hinweisen die Herleitung von zukunftsgerichteten, an die lokalen Gegebenheiten angepassten Lösungen für die Pflege von Schutzwäldern unterstützen. Das Vorgehen bei der waldbaulichen Entscheidungsfindung orientiert sich stark an der aktualisierten Vollzugshilfe «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald NaiS» 2024 [8] und der Anleitung zum NaiS-Formular [9]. Vieles davon ist jedoch sinngemäss auch für Gebirgswälder ohne explizite Schutzfunktion sinnvoll.

Grundsätze und Leitgedanken

Der Klimawandel macht die Schutzwaldpflege anspruchsvoller. Folgende Leitgedanken sollen bei der Bewältigung der anstehenden Herausforderungen helfen.

- Klimawandel **ist im waldbaulichen Denken allgegenwärtig**. Die erwarteten Veränderungen fliessen in sämtliche Entscheidungsprozesse mit ein. Im Sinne des Vorsorgeprinzips und angesichts der aktuellen globalen Entwicklungen muss von den stärkeren Klimawandel-Szenarien ausgegangen werden.
- Das **«Denken in Szenarien»** gewinnt an Bedeutung. Durch den Klimawandel sind die Unsicherheiten generell grösser geworden. Es gilt jeweils, die nach heutigem Wissensstand wahrscheinlichsten Entwicklungen zu eruieren und die zielführendsten Massnahmen zu finden.
- Eine zentrale Strategie im Umgang mit Unsicherheiten ist die **Risikoverteilung durch Förderung der Vielfalt** (Baumartenvielfalt, Strukturvielfalt, genetische Vielfalt). Diese und weitere Adaptationsprinzipien bezwecken eine Erhöhung von Resistenz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit.
- **Tal- und Kuppenblick:** Oft gibt es in der näheren Umgebung Wälder, welche heute ähnliche Bedingungen vorfinden wie die für Ende dieses Jahrhunderts prognostizierten. Diese liegen typischerweise mind. 600 Höhenmeter tiefer (Talblick). V. a. auf nicht gut wasserversorgten Standorten können dabei die trockeneren Lagen zusätzliche Hinweise liefern (Kuppenblick).
- Es ist mit einer **Zunahme von Störungen** zu rechnen. Auch seltene und «extreme» Störungen müssen fester Bestandteil der waldbaulichen Überlegungen sein.
- **Erweiterter Begriff der Naturnähe.** Die Schutzwaldpflege orientiert sich weiterhin an der natürlichen Waldentwicklung. Durch die Klimaveränderungen unterliegt auch die Naturnähe einem Wandel. In gegenwärtig naturnahen Beständen können Massnahmen zugunsten der zukünftigen Naturnähe sinnvoll sein, beispielsweise durch künstliches Einbringen von zukünftig standortgerechten Baumarten.
- **Vor allem Naturverjüngung – aber nicht nur.** Es kann sinnvoll sein, die Naturverjüngung mit künstlicher Verjüngung zu ergänzen, wenn es gute Gründe dafür gibt und diese den Aufwand rechtfertigen.
- **Schlüsselsituationen konsequent nutzen.** Dies sind Phasen der Waldentwicklung, in welchen die Adaptation an den Klimawandel besonders effizient möglich ist (z. B. Jungwaldflächen, grössere Störungsflächen).
- Koordination: Viele wichtige Entscheidungen müssen auf übergeordneter Ebene getroffen und **über die einzelne Eingriffsfläche hinaus koordiniert** werden (z. B. Priorisierung, Forstschutzstrategie).
- Ein **tragbarer Wildeinfluss ist Voraussetzung** für die natürliche Adaptation an die klimatischen Veränderungen und den Erfolg von Schutzwaldpflegemassnahmen. Heute ist dies in vielen Schutzwäldern nicht gegeben. Der

Wildeinfluss behindert die Adaptation der Baumartenmischung oder blockiert diese ganz. Teilweise sind waldbauliche Massnahmen erst dann wieder sinnvoll, wenn die Wildbestände reduziert worden sind.

- Die **Erfolgskontrolle** ist zentraler Bestandteil des adaptiven Waldbaus.

Waldbauliche Entscheidungsfindung

Das Vorgehen bei der waldbaulichen Entscheidungsfindung im Schutzwald ist auf der nachfolgenden Seite dargestellt. Die Nummerierung der Boxen entspricht gleichzeitig dem Kapitelaufbau dieser Praxishilfe. Die Vorgehensweise richtet sich in den Grundsätzen nach NaiS, mit dem NaiS-Formular werden die gleichen Arbeitsschritte durchlaufen. In der untenstehenden Miniaturansicht des NaiS-Formulars korrespondieren die eingefärbten Partien mit den einzelnen gleichfarbigen Entscheidungsschritten auf Seite 3.

Trotz der Anlehnung an NaiS gehen einige Ausführungen dieser Praxishilfe über die Inhalte von NaiS hinaus. In den nachfolgenden Kapiteln sind diejenigen Textteile, welche sich direkt mit den Erläuterungen in NaiS decken, entsprechend gekennzeichnet.

NaiS-Formular, Vorderseite

NaiS - Formular 2		Herleitung Handlungsbedarf	
Ort	Laubwald	X	Y
1. Standort aktuell (inkl. typischer Regional-Taxen-Buchstaben)		2. Standort Zukunft (eingezeichnete Buchstaben)	
3. Standort aktuell (inkl. typischer Regional-Taxen-Buchstaben)		4. Standort Zukunft (eingezeichnete Buchstaben)	
5. Zustand, Entwicklungsbedeutung und Massnahmen		6. Entwicklungsbedeutung und Massnahmen	
7. Handlungsbedarf		8. Handlungsbedarf	
9. Handlungsbedarf		10. Handlungsbedarf	
11. Handlungsbedarf		12. Handlungsbedarf	
13. Handlungsbedarf		14. Handlungsbedarf	
15. Handlungsbedarf		16. Handlungsbedarf	
17. Handlungsbedarf		18. Handlungsbedarf	
19. Handlungsbedarf		20. Handlungsbedarf	
21. Handlungsbedarf		22. Handlungsbedarf	
23. Handlungsbedarf		24. Handlungsbedarf	
25. Handlungsbedarf		26. Handlungsbedarf	
27. Handlungsbedarf		28. Handlungsbedarf	
29. Handlungsbedarf		30. Handlungsbedarf	
31. Handlungsbedarf		32. Handlungsbedarf	
33. Handlungsbedarf		34. Handlungsbedarf	
35. Handlungsbedarf		36. Handlungsbedarf	
37. Handlungsbedarf		38. Handlungsbedarf	
39. Handlungsbedarf		40. Handlungsbedarf	
41. Handlungsbedarf		42. Handlungsbedarf	
43. Handlungsbedarf		44. Handlungsbedarf	
45. Handlungsbedarf		46. Handlungsbedarf	
47. Handlungsbedarf		48. Handlungsbedarf	
49. Handlungsbedarf		50. Handlungsbedarf	
51. Handlungsbedarf		52. Handlungsbedarf	
53. Handlungsbedarf		54. Handlungsbedarf	
55. Handlungsbedarf		56. Handlungsbedarf	
57. Handlungsbedarf		58. Handlungsbedarf	
59. Handlungsbedarf		60. Handlungsbedarf	
61. Handlungsbedarf		62. Handlungsbedarf	
63. Handlungsbedarf		64. Handlungsbedarf	
65. Handlungsbedarf		66. Handlungsbedarf	
67. Handlungsbedarf		68. Handlungsbedarf	
69. Handlungsbedarf		70. Handlungsbedarf	
71. Handlungsbedarf		72. Handlungsbedarf	
73. Handlungsbedarf		74. Handlungsbedarf	
75. Handlungsbedarf		76. Handlungsbedarf	
77. Handlungsbedarf		78. Handlungsbedarf	
79. Handlungsbedarf		80. Handlungsbedarf	
81. Handlungsbedarf		82. Handlungsbedarf	
83. Handlungsbedarf		84. Handlungsbedarf	
85. Handlungsbedarf		86. Handlungsbedarf	
87. Handlungsbedarf		88. Handlungsbedarf	
89. Handlungsbedarf		90. Handlungsbedarf	
91. Handlungsbedarf		92. Handlungsbedarf	
93. Handlungsbedarf		94. Handlungsbedarf	
95. Handlungsbedarf		96. Handlungsbedarf	
97. Handlungsbedarf		98. Handlungsbedarf	
99. Handlungsbedarf		100. Handlungsbedarf	

NaiS-Formular, Rückseite

Fazit Zielvorstellung unter Berücksichtigung Klimawandel	
Entwicklung des Bestandes und erwartete Störungen (ohne Massnahmen)	
Beschreibung wirksamer Massnahmen und weitere Bemerkungen	

Waldbauliche Entscheidungsfindung

Folgende grundsätzliche Überlegungen sind für die gesamte waldbauliche Entscheidungsfindung zentral:

- ▶ Wie lassen sich Risiken reduzieren? (**Störungsresistenz/-resilienz**)
- ▶ Wie lässt sich die **Anpassungsfähigkeit** an den Klimawandel erhöhen?
- ▶ Was muss bestandesübergreifend und langfristig geplant und koordiniert werden?

➔ Seite 2

1. Anforderungsprofile und langfristiges Waldbauziel

- ☐ Anforderungsprofil unter Berücksichtigung der zukünftigen Veränderungen festlegen.
 - ▶ Wie verändert sich der Standorttyp in Zukunft? (→ TreeApp)
 - ▶ Werden Veränderungen bezüglich der relevanten Naturgefahr(en) erwartet?
- ☐ Geeignete standortgerechte Baumarten auswählen.
 - ▶ Welche Baumarten eignen sich waldbaulich im heutigen und zukünftigen Klima am besten? (→ TreeApp)
- ☐ Waldbauziel konkretisieren und auf andere Waldfunktionen, die Holzerntetechnik und weitere Rahmenbedingungen abstimmen.
 - ▶ Wie beeinflusst der Klimawandel das konkrete Waldbauziel?

➔ Seite 4

2. Waldzustand heute

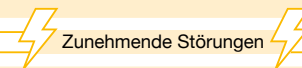
- ☐ Aktuellen Waldzustand beschreiben (Mischung, Struktur/Textur, Stabilitätsträger, Verjüngung).
 - ▶ Welche Eigenschaften des Ausgangsbestandes sind hinsichtlich des Klimawandels von besonderer Bedeutung?

➔ Seite 7

3. Störungen / Extremereignisse

- ☐ Zu erwartende Störungen erkennen und deren Einfluss auf den Bestand herleiten.
 - ▶ Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die zu erwartenden biotischen/abiotischen Störungen?

➔ Seite 10



4. Entwicklung ohne Massnahmen

- ☐ Wahrscheinlichste Bestandesentwicklung unter Berücksichtigung der zu erwartenden Standortveränderungen und Störungen herleiten.
 - ▶ Wie wirken sich die zukünftigen Standortveränderungen sowie Extremereignisse und Störungen auf den Bestand aus?

➔ Seite 10

SOLL-IST-Vergleich



5. Handlungsbedarf und wirksame Massnahmen

- ☐ Wirksame Massnahmen herleiten für Bestandesmerkmale (z. B. Mischung, Aufwuchs), welche das Anforderungsprofil ohne Massnahmen nicht erfüllen werden.
 - ▶ Mit welchen Massnahmen können die Störungsresistenz, Störungsresilienz und die Anpassungsfähigkeit des Bestandes im Klimawandel erhöht werden?

- a) Verjüngungseinleitung
- b) Verjüngungsförderung
- c) Jungwaldpflege
- d) Stabilitätsdurchforstung
- e) Unterstützende Massnahmen

In ungleichförmigen Beständen erfolgen i. d. R. verschiedene Massnahmen gleichzeitig. ➔ Seite 11

6. Umsetzungsentscheid

- ☐ Massnahmenentscheide bestandesübergreifend und langfristig planen und koordinieren (Priorisierung, Waldschutz, künstliche Verjüngung, Neophyten, etc.).
 - ▶ Wie beeinflusst der Klimawandel die Priorisierung sowie die Beurteilung der Verhältnismässigkeit, der Dringlichkeit und des richtigen Ausführungszeitpunktes?

- ☐ Entscheiden, welche wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen umgesetzt werden (Aufwand-Nutzen, Erfolgchancen, Risiken, etc.).
- ☐ Festlegen, wann und wie die Massnahmen umgesetzt werden (Dringlichkeit, Verfahren, etc.).

➔ Seite 15

7. Controlling

- ☐ Klare Ziele formulieren und minimale Dokumentation der Massnahmen gewährleisten als Voraussetzung für die verschiedenen Ebenen der Erfolgskontrolle.

- ▶ Auf welche offenen Fragen im Kontext des Klimawandels sollen Antworten gefunden werden?

➔ Seite 19

1. Anforderungsprofile und langfristiges Waldbauziel

Die Formulierung eines möglichst konkreten waldbaulichen Ziels ist zentral für die zielgerichtete Erbringung von Waldleistungen. Im Schutzwald sind die Zielsetzungen durch die NaiS-Anforderungsprofile weitgehend vorgegeben. Das langfristige Waldbauziel wird für den Einzelfall darauf aufbauend konkretisiert, wobei andere Waldleistungen, die Holzerntetechnik und wirtschaftliche Rahmenbedingungen mitberücksichtigt werden. Das langfristige Waldbauziel muss auf die erwarteten Klimaveränderungen abgestimmt werden. Einerseits verändern sich Rahmenbedingungen wie Standortbedingungen und Störungsregimes. Andererseits wandeln sich auch die Ansprüche an den Wald, oder gewisse Leistungen sind zukünftig nicht mehr realistisch zu erbringen. So kann beispielsweise die Schutzwirkung zukünftiger Flaumeichenwälder gegen grosse Steine, resp. hohe Sturzenenergien, aufgrund der geringeren maximalen Stammdurchmesser nicht mehr gleich gut gewährleistet werden.

Das langfristige Waldbauziel kann für unterschiedlich lange Zeiträume formuliert werden. Zudem muss das Waldbauziel dynamisch sein und sich an neue Erkenntnisse und Bedingungen anpassen können. In gewissen Fällen kann das langfristige Waldbauziel mit der heutigen Ausgangsbestockung (z. B. einem artenreichen Jungwald) erreicht werden. Oft hingegen braucht es eine langfristige schrittweise Annäherung, beispielsweise weil das heutige Klima für gewisse Hauptbaumarten der Zukunft noch zu ungünstig ist (z. B. Eichen in höheren Lagen). Manchmal ist das aus dem NaiS-Anforderungsprofil abgeleitete langfristige Waldbauziel sehr weit weg vom aktuellen Waldzustand und kann über voraussichtlich sehr lange Zeit nicht erreicht werden. In solchen Fällen kann die Formulierung eines mittelfristigen Ziels sinnvoll sein, dessen Erreichen beispielsweise in 50 Jahren als realistisch betrachtet wird (siehe Abb. 11).



Abb. 1: Verjüngungsöffnung mit einer zukunfts-fähigen Baumartenpalette in einem gut strukturierten obermontanen Tannen-Buchenwald.

NaiS-Formular: Gemäss der revidierten Vollzugshilfe NaiS ist der Klimawandel bei der Herleitung des Handlungsbedarfs zu berücksichtigen. Basierend auf den Kenntnissen zum Klimawandel verändern sich auch die NaiS-Anforderungen, indem der zukünftige Standorttyp mit berücksichtigt wird. Die erwarteten Standortveränderungen können mittels Tree App hergeleitet werden (siehe Box Seiten 8/9). Zudem können sich auch die relevanten Naturgefahren ändern. Für die Herleitung von Handlungsbedarf und Massnahmen im NaiS-Formular werden sowohl die Anforderungen im aktuellen als auch im zukünftigen Klima in die Beurteilung einbezogen. Der Waldbau ist grundsätzlich auf die Bedingungen unter dem zukünftigen Klima auszurichten. Dabei ist selbstverständlich zu beachten, dass für den Wald heute noch die Bedingungen des aktuellen Klimas bestimmend sind.

Die Anforderungen ändern sich also – wie oben beschrieben – einerseits aufgrund der Tatsache, dass sich der Waldstandort (und allenfalls auch die Naturgefahr) an einem bestimmten Ort ändert. Andererseits sind im Zuge der Aktualisierung von NaiS auch die Anforderungsprofile pro Standorttyp überarbeitet worden. Die grössten Veränderungen ergaben sich bei der Baumartenmischung. So wird einerseits mehr Vielfalt gefordert, d. h. man ist auch im Minimalprofil nicht mehr mit einer einzigen Hauptbaumart zufrieden (z. B. 100 % Buche auf einem Buchenstandort). Andererseits werden die Bewirtschaftenden aufgefordert, die Mischungs-Anforderungen ausgehend von einer Baumarten-Palette (analog jener der Tree App) selbst zu konkretisieren. Liegt der aktuelle Waldzustand sehr weit weg vom Anforderungsprofil Zukunft und kann dieses voraussichtlich über sehr lange Zeiträume nicht erreicht werden, ist die Umschreibung einer mittelfristigen Zielvorstellung in z. B. 50 Jahren sinnvoll. Auf der Rückseite des NaiS-Formulars können die Überlegungen und Begründungen zur Zielvorstellung festgehalten werden.

► Wie verändert sich der Standorttyp in Zukunft?

- Kenntnisse über den Standort sind wegen des Klimawandels noch wichtiger geworden. Insbesondere die Bodeneigenschaften spielen eine entscheidende Rolle. So konzentriert sich beispielsweise die trockenheitsbedingte Mortalität der Buche in der Schweiz bisher vorwiegend auf Böden mit geringer Bodenwasser-Speicherkapazität [16].
- Von den beiden Klimaszenarien «starker» und «mässiger» Klimawandel ist es gemäss aktuellem Wissensstand wahrscheinlicher, dass das stärkere Szenario eintreten wird (siehe Box Seite 5). Bei der waldbaulichen Beurteilung sollte aus diesem Grund und im Sinne des Vorsorgeprinzips das stärkere Klimaszenario RCP 8.5 mehr Gewicht haben.
- Der zukünftige Standorttyp kann mit dem Ansatz der adaptierten Ökogramme hergeleitet werden. Zusätzlich

ist je nach Standort auch mit Verschiebungen auf der Feuchtigkeitsachse zu rechnen. Dies ist bisher nicht in der Tree App implementiert, sondern muss bei Bedarf gutachtlich erfolgen.

- Die erwarteten Standortverschiebungen werden Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung zur Folge haben. Die Baumartenverschiebungen werden den Klimaveränderungen grundsätzlich hinterherhinken, die Arten werden neu gemischt (sich verändernde Konkurrenzverhältnisse, Ein-/Auswanderung, etc.) und Veränderungen können kontinuierlich oder insbesondere aufgrund von Störungen auch abrupt passieren. In hochmontanen Fichtenwäldern der kontinentalen Gebiete werden beispielsweise eher rasche Baumartenwechsel erwartet, in Arvenwäldern hingegen eher langsame.

► **Werden Veränderungen bezüglich der relevanten Naturgefahr(en) erwartet?**

- Allgemein wird in bisher kältelimitierten Schutzwäldern

die Schutzwirkung vielerorts zunehmen (Waldflächenausdehnung, höhere Wüchsigkeit und dichtere Waldstrukturen auf bisher lockeren subalpinen Standorten). Eher abnehmen wird die Schutzwirkung auf vielen bereits bisher trockenen Waldstandorten (Anstieg der Mortalität, Abnahme von Wüchsigkeit und Bestandesdichte). Zudem wächst der Anteil an Waldflächen, deren Schutzwirkung durch grossflächige Störungen beeinträchtigt wird [3].

- Gerinneprozesse, Murgänge und Rutschungen werden künftig häufiger zu Schäden führen, da Starkniederschläge zunehmen und vermehrt als Regen fallen. Aufgrund von Baumartenwechseln werden sich je nach Situation die Interzeptions- sowie Wurzelwirkung verändern [3].
- Die Schutzwirkung gegen Lawinen wird bis in die heute hochmontane Höhenstufe mittel- bis langfristig an Bedeutung verlieren. Grosse Schneehöhen sind in mittleren Lagen weiterhin möglich, jedoch immer seltener. Im Einzelfall muss geprüft werden, ob diese Schutzwälder nach

Klimawandel und Auswirkungen auf den Wald

Die erwarteten klimatischen Entwicklungen werden durch die aktuellen Schweizer Klimaszenarien beschrieben und hängen massgeblich vom erwarteten zukünftigen Treibhausgasausstoss ab (Emissionsszenarien). Detaillierte interaktive Grafiken und vertiefte Informationen sind beim [National Centre for Climate Services NCCS](#) zugänglich.

Generell wird es wärmer und Hitzetage nehmen zu. Im Sommer wird die mittlere Niederschlagsmenge abnehmen. Aufgrund der Erwärmung steigt gleichzeitig die Verdunstung. Die Anzahl regenfreier Tage im Sommer nimmt zu und Trockenperioden werden länger. Gleichzeitig werden aber auch Starkniederschlagsereignisse häufiger. Im Winter wird mehr Niederschlag erwartet, dieser fällt seltener in Form von Schnee.

Für Hilfsmittel im Wald wie beispielsweise die Tree App werden aktuell meist folgende zwei Klimaszenarien für die Periode 2070-2100 verwendet (im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010, welche einen bereits realisierten Temperaturanstieg von über 1 Grad enthält):

«Mässiger Klimawandel» (RCP 4.5): Im Schweizer Mittel von April bis September ist die Temperatur 3,1 °C höher und der Niederschlag 2 % tiefer.

«Starker Klimawandel» (RCP 8.5): Im Schweizer Mittel von April bis September ist die Temperatur 4,3 °C höher und der Niederschlag 19 % tiefer.

Der Klimawandel verändert die Wachstumsbedingungen im Schweizer Wald (siehe auch [1]). Bis Ende dieses Jahrhunderts werden sich die Höhenstufen selbst bei modera-

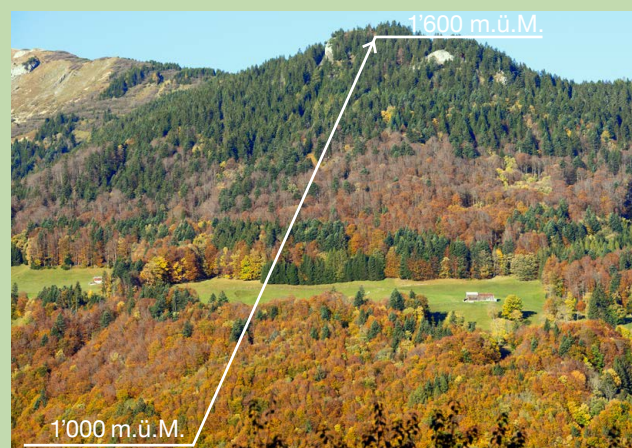


Abb. 2: Aufgrund des Klimawandels verschieben sich die Höhenstufen nach oben; bei einer Erwärmung um 4 °C um rund 600 Höhenmeter.

ten Klimaszenarien um rund 600 Höhenmeter nach oben verschieben. Verschiedene Laubbaumarten der tieferen Lagen werden dann bis in die heutigen Gebirgsnadelwälder hinauf geeignete Klimabedingungen vorfinden und die Baumartenpalette erweitern. Aufgrund der höheren Temperaturen und einer längeren Vegetationsperiode nimmt die Wüchsigkeit in höheren Lagen zu, sofern die Böden gut wasserversorgt sind. Die klimabedingte Waldgrenze wird dort entsprechend ansteigen. Modellerte Höhenstufen-Karten sind sowohl in der [Tree App](#) als auch auf <https://map.geo.admin.ch/> zu finden. Die gebietsweise zunehmende Trockenheit wirkt sich ebenfalls auf die Baumartenzusammensetzung aus. Zudem werden nebst abiotischen Störungen wie beispielsweise Waldbrand auch Waldschäden durch Organismen wie Borkenkäfer zunehmen. Insgesamt ist mit erhöhtem Stress für verschiedene Baumarten zu rechnen.

und nach an Relevanz verlieren oder ob die Schutzwaldpflege auf andere Naturgefahrenprozesse auszurichten ist. Wo die Lawinenschutzwirkung weiterhin wichtig ist, empfiehlt es sich, auch bei der Entwicklung hin zu submontanen oder kollinen Standorttypen einen Anteil immergrüner Nadelbäume von 30 bis 60 Prozent zu erhalten. Ein weiterer Aspekt ist, dass es je nach Höhenlage zu einer mehr oder weniger starken Verschiebung von trockenen zu nassen Lawinenprozessen kommen wird. Dadurch verändert sich auch die Waldwirkung [3]. Die ab 2025 laufende Überarbeitung des NaiS-Anforderungsprofils Lawinen wird hierzu weitere Antworten liefern.

- Bezüglich Steinschlages ist unterhalb der Waldgrenze kein klimawandelbedingter Trend erkennbar. In alpinen Entstehungsgebieten verstärkt der abnehmende Permafrost die Risiken [7].

► Welche Baumarten eignen sich waldbaulich im heutigen und (oder) zukünftigen Klima am besten?

- Mit der Tree App können entsprechende Baumartenempfehlungen generiert werden (siehe Box Seiten 8/9). Wird eine Baumart aufgeführt, bedeutet dies lediglich, dass sie nach heutigen Kenntnissen zukünftig geeignete Klimabedingungen vorfindet, nicht jedoch, dass sie tatsächlich vorkommt oder eine sinnvolle Ziel-Baumart ist.
- Naheliegende Zielbaumarten sind solche, welche heute bereits vorhanden sind und zusätzlich auch mit dem zukünftigen Klima gut zurechtkommen dürften.
- Je mehr zukunftsfähige Baumarten bereits im Bestand vorhanden sind, desto weniger und in geringeren Anteilen wird man noch nicht vorhandene Baumarten ins Waldbauziel integrieren müssen.
- Zukunftsbaumarten, deren Auftauchen in der Naturverjüngung in den nächsten Jahrzehnten erwartet werden kann (u. a. abhängig von: Distanz der Samenbäume, Samenverbreitungspotenzial Wind, Vögel, etc.) sind grundsätzlich zu bevorzugen.
- Das künstliche Einbringen von Zielbaumarten kann sinnvoll sein, wenn diese nicht natürlich verjüngt werden können (z. B. fehlendes Samenangebot). Erste Wahl sind dabei ans zukünftige Klima angepasste einheimische Baumarten. Bringt man Baumarten ausserhalb ihres heutigen Verbreitungsgebietes ein, spricht man von unterstützter Wanderung (assisted migration) [12]. Dies kann auch vertikal in höher gelegene Höhenstufen sein, z. B. Weissstanne in der heute subalpinen Stufe. Mit zunehmender Distanz vom aktuellen Verbreitungsgebiet nehmen die Risiken zu und die Erfolgchancen ab (z. B. aufgrund fehlender Mykorrhiza oder neuer Pathogene). Künstliche Verjüngung ist im Gebirge noch aufwändiger als sonst und soll möglichst im Rahmen einer regionalen/kantonalen Einbringungsstrategie erfolgen (Ausnahme: experimentelle Versuche; siehe Box Seiten 16/17).
- Nebst den erwarteten Standortveränderungen und Waldfunktionen sind auch die erwarteten Störungen/Extremereignisse in die Baumartenwahl einzubeziehen. So sind

störungsanfällige Baumarten höchstens in kleinen Anteilen ins Waldbauziel aufzunehmen – ausser es gibt gute Gründe, sie möglichst lange in höheren Anteilen im Bestand zu erhalten (v. a. Fichte oder Tanne als immergrüne Nadelbäume im Lawinenschutzwald).

- Bei der Baumartenwahl ist auf die Verjüngungsökologie, den Lichtbedarf und die Konkurrenzverhältnisse zu achten. Die Zielbaumarten müssen zum Waldbau passen – und der Waldbau zu den Zielbaumarten.
- Allgemein haben konkurrenzstarke schattentolerante Baumarten im Schutzwald Vorteile, da sie sich eher risikoarm (Naturgefahren, Vegetationskonkurrenz, Austrocknung) in kleinen und mittleren Lücken verjüngen lassen und wenig Pflege benötigen. So bleiben beispielsweise die Buche und die Tanne auch zukünftig an vielen Orten sehr wichtige Baumarten mit vielen Vorteilen.
- Lichtbaumarten wie Eichen und Kirschbaum gewinnen für eine breitere Risikoverteilung generell an Bedeutung. In der kollinen Stufe sowie auf trockenen Standorten sind sie noch wichtiger. Wo vom Standort her nicht notwendig (z. B. auch in Zukunft mittlere Buchenstandorte) sollte ihr Anteil nicht zu hoch sein, denn höhere Anteile haben einen steigenden Aufwand und eine starke Reduktion von Stammzahl und Grundfläche zur Folge. Dies ist insbesondere im Steinschlag-Schutzwald ungünstig. Alternativen sind schattentolerantere, relativ trockenheitsresistente Baumarten wie beispielsweise die Linden.
- Pionierbaumarten wie Birke, Aspe oder Weiden gewinnen mit häufiger werdenden Störungen dank ihren Fähigkeiten der schnellen Besiedelung, ihren grossen Stresstoleranzen, einem raschen Wachstum, etc. an Bedeutung. Eine besondere Rolle spielen sie auch, wenn sie zwischen den heute vorkommenden nicht klimafitten Baumarten und den bis auf weiteres noch nicht integrierbaren Zukunftsbaumarten überbrücken können. So beispielsweise in heute hochmontanen Fichtenwäldern, die bis Ende Jahrhundert in die colline Stufe wechseln. Oder auch wenn bereits grössere Verjüngungsflächen mit Pionierbaumarten vorhanden sind.
- Bei der Überführung in klimafitte laubholzreiche Bestände kann an steilen Hängen (insbesondere Südhängen) ein gewisser Nadelholzanteil hilfreich sein für die Erziehung von Laubbäumen zu möglichst lotrechten Stabilitätsträgern.

► Wie beeinflusst der Klimawandel das konkrete Waldbauziel?

- Nebst dem Einfluss auf die Wahl der Zielbaumarten kann der Klimawandel auch weitere Rahmenbedingungen beeinflussen. So verändern sich teilweise die Holzernteverfahren, z. B. aufgrund nur noch selten gefrierender Böden im Winterhalbjahr.
- Die Standortveränderungen verändern auch das Wuchsverhalten der Bäume, so dass je nachdem auch für die gleiche Baumart das Produktionsziel angepasst werden muss (z. B. Qualität, Dimension).

2. Waldzustand heute

Das Erfassen des aktuellen Waldzustandes ist die Grundlage für alle waldbaulichen Entscheidungen. Genaues Beobachten des Waldzustandes über viele Jahre kann im Kontext des bereits seit einigen Jahrzehnten laufenden Klimawandels wichtige Hinweise liefern. Einerseits für die Formulierung sinnvoller Waldbauziele, andererseits für die Ab-

schätzung der zukünftigen Bestandesentwicklung und die Notwendigkeit von Massnahmen. Allerdings darf aufgrund der Standortveränderungen nicht mehr direkt aus den Erfahrungen der Vergangenheit auf die Zukunft geschlossen werden. Zudem ist immer auch der Blick über den einzelnen Bestand hinaus wichtig.

Adaptationsprinzipien

Der Klimawandel erhöht die Risiken und Unsicherheiten bei der Erbringung von Waldleistungen wie dem Schutz vor Naturgefahren. In Anlehnung an Brang et al. 2016 sollen auch im Schutzwald folgende strategische Stossrichtungen zur Risikoreduktion im Klimawandel verfolgt werden:

- Erhöhung der Störungsresistenz: Die Widerstandsfähigkeit des Waldes gegen Auswirkungen des Klimawandels wird vergrössert.
- Erhöhung der Störungsresilienz: Nach Störungen werden möglichst rasch wieder schutzwirksame Waldzustände erreicht.
- Erhöhung der Anpassungsfähigkeit: Der Waldzustand passt sich laufend den verändernden Klimabedingungen möglichst ohne Defizite in der Schutzwirkung an.

Grundlegende, breit anerkannte Handlungsoptionen sind in den fünf Adaptationsprinzipien zusammengefasst. Hinweise für die waldbauliche Umsetzung dieser Prinzipien sind auf den Seiten 12/13 zu finden. Die Baumartenvielfalt bekommt im Schutzwald eine noch grössere Bedeutung als bisher. Reinbestände sollen deshalb möglichst vermieden werden. Ein stärkeres Augenmerk als bisher liegt auf der genetischen Vielfalt innerhalb von Baumarten, beispielsweise bezüglich klimafitter Provenienzen. Grosse Strukturvielfalt und hohe Störungsresistenz der Einzelbäume (Stabilitätsträger) bleiben weiterhin sehr wichtig. Die Reduktion von Zieldurchmessern (resp. Umtriebszeiten)

kann in gewissen Situationen sinnvoll sein, ist aber oft auch mit Nachteilen oder Risiken verbunden. Detailliertere Ausführungen zu den Adaptationsprinzipien sind in [2] und [5] zu finden.

Die obenstehenden Ausführungen zur Anpassungsfähigkeit beziehen sich in erster Linie auf den Wald als Ganzes hinsichtlich der Erbringung der geforderten Waldleistungen unter sich verändernden Umweltbedingungen. Bei der Anpassung von einzelnen Baumarten gilt es gewisse Unterscheidungen zu beachten [12]. 1) Jeder Baum besitzt ohne genetische Anpassung eine relativ grosse Plastizität in seinem Verhalten, d. h. er kann beispielsweise auf verschiedene Trockenheitsereignisse unterschiedlich reagieren. Mit dem Alter nimmt dieses Reaktionsvermögen ab. 2) Das Verhalten eines Individuums, also z. B. die Reaktion auf Trockenheit wird auch durch die Weitergabe von Umweltinformationen durch die Eltern an die Nachkommen gesteuert (epigenetische Reaktion). So konnte die WSL bei Waldföhren nachweisen, wie in einer Trockenheitsperiode entstandene Nachkommen trockenheitstoleranter waren als die anderen [4]. 3) Im Gegensatz zu den ersten beiden Punkten ist die genetische Anpassung ein längerfristiger Prozess, welcher auf Selektion von Individuen basiert und über mehrere Baumgenerationen erfolgt. Aufgrund der genannten Prozesse darf beispielsweise bei trockenheitsbedingter Mortalität einer Baumart nicht automatisch daraus geschlossen werden, dass diese Baumart an diesem Standort nicht zukunftsfähig ist.



Abb. 3: Waldbauliche Handlungsprinzipien zur Risikoreduktion verändert nach Brang et al., 2016.

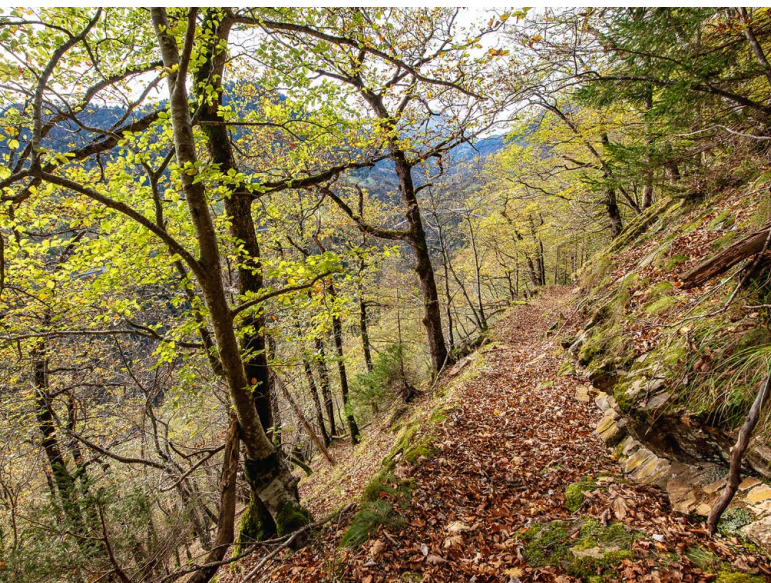


Abb. 4: Auf flachgründigen Standorten wie diesem muss damit gerechnet werden, dass die Buche zunehmend unter Trockenheit leidet und die Konkurrenzverhältnisse sich zugunsten von trockenheitsresistenteren Baumarten wie der Traubeneiche verschieben.

NaiS-Formular: Die Beschreibung des Waldzustandes heute ist – zusammen mit der erwarteten Bestandesentwicklung – Grundlage für die Herleitung des Handlungsbedarfes. Der Vergleich mit den Anforderungsprofilen wird erleichtert, wenn der Waldzustand möglichst konkret, in einer ähnlichen Form wie die Anforderungen und mit allen relevanten Informationen beschrieben wird.

► **Welche Eigenschaften des Ausgangsbestandes sind hinsichtlich des Klimawandels von besonderer Bedeutung?**

- Folgen des bisherigen Klimawandels können bereits beobachtet werden. So ist beispielsweise das Entdecken von (bisher nicht beobachteten) klimafitten Baumarten in der Verjüngung besonders wichtig. Oder Veränderungen in der Vitalität der Bäume können Hinweise liefern, wie diese – abhängig von Baumart, Alter, sozialer Stellung – bisher mit dem Klimawandel und beispielsweise trockenen Sommern umgehen konnten.
- Wichtig ist das Bewusstsein, dass der aktuelle Bestand die bisherige Bewirtschaftung und das vergangene Klima widerspiegelt und bei Schlussfolgerungen hinsichtlich der Zukunft in einem deutlich anderen Klima Vorsicht geboten ist. Denn der bisher beobachtete Klimawandel muss erst als Beginn dessen verstanden werden, was für die nächsten Jahrzehnte bevorsteht. Beispielsweise kann es sein, dass die unter Trockenstress aufwachsende Verjüngung einer jetzt im Baumholz leidenden Baumart/Herkunft deutlich trockenresistenter sein wird, weil sie z. B. mehr in Wurzeln investiert oder weniger hoch wird. Die physiologischen Grenzen können jedoch nicht überschritten werden (siehe Box Seite 7).
- Das Erkennen von klimafitten Samenbäumen (Baumart, Anzahl, Distanz) über den Bestand hinaus und Einschätzen deren Samenverbreitungspotenzials ist sehr wichtig.

Tree App

Die Tree App (www.tree-app.ch) ist ein Hilfsmittel für die Baumartenwahl im Klimawandel, welche kostenlos nutzbar ist. Grundlage für die Baumartenempfehlungen der Tree App ist das Konzept der Adaptierten Ökogramme. Es basiert auf dem bestehenden System der Standortskunde (Region-Höhenstufe-Ökogramm-Standortstyp) und ergänzt dieses mit modellierten Höhenstufenverschiebungen. So kann ausgehend vom bisherigen Standorttyp mittels «Durchstechen» durch die bestehenden Ökogramme für jeden Ort der zukünftig erwartete Standorttyp ermittelt werden (siehe Abb. 5 und für weitere Informationen [10]). Insbesondere für die colline Stufe muss teilweise von zukünftigen Standorttypen ausgegangen werden, welche so in der Schweiz heute noch nicht existieren. Aber auch bei bekannten Standorttypen werden sich die Baumarten und die übrige Vegetation teilweise neu mischen. Das Konzept hat den grossen Vorteil, dass es mit wenig Aufwand eine sehr konkrete Vorstellung der zukünftigen Standortbedingungen liefert.

Die Tree App erstellt für eine bestimmte Kartenposition konkrete Baumartenempfehlungen, basierend auf dem Vergleich von bisherigem und zukünftigem Standorttyp, wobei beide Klimaszenarien einbezogen werden (siehe Abb. 6). Dabei wird unterschieden zwischen «↑ empfohlene Baumarten», «↓ bedingt empfohlene Baumarten», «↓ gefährdete Baumarten», sowie unerwünschten invasiven Baumarten wie z. B. dem Götterbaum. Ausgegangen wird dabei von einem hypothetischen Gleichgewicht der Vegetation unter einem zukünftigen Klima. Der momentane Waldzustand wird dabei nicht berücksichtigt. Auch werden keine Aussagen darüber gemacht, in welchem Tempo und wie die Veränderungen des Waldes ablaufen werden. Die Tree App liefert daher lediglich Entscheidungshilfen. Die lokalen Forstfachleute müssen daraus für den einzelnen Bestand konkrete waldbauliche Ziele und Vorgehensweisen ableiten.

Mit wie viel mehr Trockenheit müssen wir rechnen?

Die höheren Temperaturen führen aufgrund verstärkter Verdunstung bereits bei gleichbleibenden Niederschlägen zu mehr Trockenheit. Gemäss Klimaszenarien müssen wir zusätzlich mit abnehmenden mittleren Sommerniederschlägen sowie längeren Trockenperioden rechnen (siehe Box Seite 5). Eine zunehmende Bodenaustrocknung während der Vegetationszeit wird bei ähnlich bleibenden Winterniederschlägen dazu führen, dass die Bodenwasserspeicher im Frühjahr weniger tiefgründig gefüllt sind und sich im Sommer schneller leeren. Unter anderem aus diesem Grund dürfte in Zukunft die Buche vermehrt auch auf besseren Böden an Wassermangel leiden und daher ausfallen [17].

In der Tree App wird der Zunahme von Trockenheit bei einem Höhenstufenwechsel nach unten ein Stück weit

Rechnung getragen. Dies, weil beispielsweise ein untermontaner Standort grundsätzlich etwas trockener ist als der obermontane Standort an der gleichen Stelle im Ökogramm. Ändert sich die Höhenstufe nicht, geht die Tree App von einem gleichbleibenden Standort aus. Aufgrund der obigen Überlegungen müssen wir jedoch davon ausgehen, dass es in gewissen Fällen zusätzlich auch zu Verschiebungen auf der Feuchteachse des Ökogramms hin zu trockeneren Standorten kommt. Ob und wann dies passiert, hängt stark von den Niederschlagsregimes, den Bodeneigenschaften und vorhandenen Wasserreserven ab und ist schwierig abzuschätzen. Insbesondere auf heute schon

trockenheitsanfälligen Standorten und wenn es gemäss Tree App zu keinem Wechsel der Höhenstufe kommt, sollte man Verschiebungen hin zu einem trockeneren Standort mindestens in Betracht ziehen. Dies kann zur Folge haben, dass man waldbaulich auf die trockenheitsresistenteren Baumarten (z. B. Linde statt Buche) fokussiert, ohne den «Standorttyp Zukunft» anzupassen. Möglich ist auch, gutachtlich einen nächst-trockeneren Standorttyp im Ziel-Ökogramm als «Standorttyp Zukunft» (z. B. Standorttyp 14 statt 10a) zu wählen. Oder man nimmt eine gutachtliche Verschiebung auf eine tiefergelegene Höhenstufe vor (z. B. collin statt submontan).

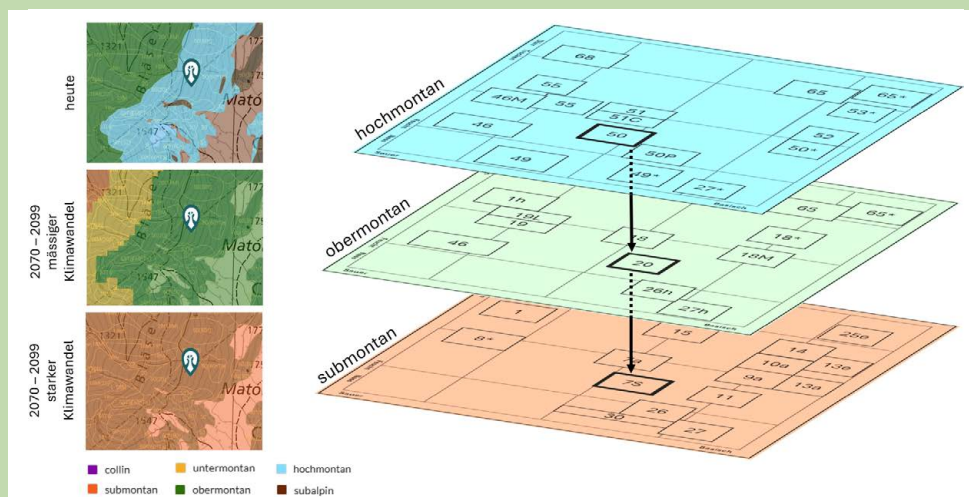


Abb. 5: Basierend auf den modellierten Höhenstufenverschiebungen kann mit dem Konzept der Adaptierten Ökogramme der zukünftige Standorttyp hergeleitet werden. Verändert nach Frehner et al 2018.

Abb. 6: Baumartenempfehlung aus der Tree App für einen heute hochmontanen Hochstauden-Ta-Fi-Wald, der Ende Jahrhundert klimatisch gesehen Buchenwald-Bedingungen vorfinden dürfte. [† = krankheitsgefährdete Baumart; * = Pionierbaumart; ° = gebietsfremde Baumart]

Empfehlung

50 hochmontan
Klima heute

20 obermontan
mässiger Klimawandel

7S submontan
starker Klimawandel

↑

Bergahorn *Esche*[†] *Tanne* *Fichte*
Buche

✓

Grauerle *Hängebirke* *Zitterpappel* *Salweide* *Mehlbeere*
Vogelbeere
Kirschbaum *Sommerlinde* *Bergulme*[†] *Feldahorn* *Spitzahorn* *Schwarzerle* *Hagebuche* *Kastanie*[†] *Stechpalme* *Nussbaum* *Waldföhre* *Traubenkirsche* *Traubeneiche* *Stieleiche* *Eibe* *Winterlinde* *Douglasie* *Roteiche* *Robinie*°

↓

Lärche

⚠

Götterbaum°

☒ In Zukunft zusätzlich passende Baumarten einblenden

☐ Lateinische Artnamen anzeigen

Empfehlung exportieren

- In der Vergangenheit wenig beachtete Bestandeselemente wie z. B. einzelne Individuen der vielerorts klimafitten Pionierbaumart Birke können wichtig sein für die Klimaanpassung.
- Es ist wichtig, chancenreiche Schlüsselsituationen (z. B. artenreiche Jungwälder), aber auch Risikobestände (z. B. grossflächige Reinbestände einer wenig zukunftsfähigen Baumart) zu erkennen.
- Die Beurteilung des Wileinflusses pro Baumart ist wichtig, weil viele klimafitte Baumarten besonders verbissanfällig sind.

3. Störungen / Extremereignisse

Nebst den Standortveränderungen können Störungen und Extremereignisse die Bestandesentwicklung entscheidend und oft in sehr kurzer Zeit beeinflussen. Generell ist aufgrund der Klimaveränderung mit einer Zunahme von Störungen und Extremereignissen zu rechnen. Zunehmen werden insbesondere komplexe Extremereignisse, bei denen mehrere Prozesse kaskadenartig zusammenwirken (z. B. erhöhtes Murgang- oder Steinschlagrisiko nach einem Waldbrand) [7].



Abb. 7: Das Risiko von grossflächigen Störungen mit drastischen Folgen für die Schutzwirkung nimmt insbesondere auch in den natürlicherweise von der Fichte dominierten Wäldern der kontinentalen Alpentäler weiter zu. Im Bild grossflächige Borkenkäferschäden als Folge des Sturmes Vaia mit nachfolgenden Schneebruchereignissen im Gadertal Südtirol.

NaiS-Formular: Störungen und Extremereignisse werden im NaiS-Formular berücksichtigt. Dabei ist folgende Unterscheidung wichtig: 1) Störungen, mit welchen in einem bestimmten Bestand zu rechnen ist (z. B. Buchdruckerbefall in einem Fichten-Reinbestand); 2) Nicht im Voraus lokalisierbare Extremereignisse wie Orkane (z. B. Vivian, Lothar) oder Waldbrände. Erstere werden bei der Abschätzung der Entwicklung ohne Massnahmen (Pfeile) einbezogen, letztere hingegen nicht (siehe nachfolgendes Kapitel).

► Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die zu erwartenden biotischen/abiotischen Störungen?

- Die erwartete Zunahme von Häufigkeit und Intensität der verschiedenen Störungen ist lokal/regional unterschiedlich zu beurteilen (z. B. Buchdrucker in fichtendominierten inneralpinen Tälern oder im Mittelland).
- Mit zunehmenden Trockenheitsereignissen muss grundsätzlich überall gerechnet werden, das Ausmass und die Folgen hängen aber stark vom Standort (v. a. Wasserspeicherkapazität der Böden) und Bestand ab.
- Es ist vermehrt auch mit Schäden durch gebietsfremde Organismen (Pilzkrankheiten, Schadinsekten, Neophyten, etc.) zu rechnen.
- Das Durchdenken von Szenarien mit seltenen starken und nicht absehbaren Extremereignissen ist wichtig, auch wenn für die Bestandesentwicklung ohne Massnahmen auf der Vorderseite des NaiS-Formulars nicht von solchen ausgegangen wird.
- Kleinflächige «Störungen» (Ausfall von Einzelbäumen oder z. B. kleinere Käferester) können auch vorteilhaft sein, weil sie die natürliche Adaptation unterstützen.

4. Entwicklung ohne Massnahmen

Die Abschätzung der Bestandesentwicklung ist Voraussetzung für die Herleitung von Massnahmen. Solange die Entwicklung zielkonform abläuft, erübrigen sich Massnahmen. Mit der Klimaveränderung läuft die Waldentwicklung anders ab als bisher. Einerseits aufgrund der standörtlichen Veränderungen, andererseits aufgrund der zu erwartenden zunehmenden Störungen und Extremereignisse. Die Abschätzung der erwarteten Bestandesentwicklung und somit auch der zukünftigen Schutzwirkung ist mit dem Klimawandel insgesamt schwieriger und unsicherer geworden.

NaiS-Formular: Die erwartete Bestandesentwicklung wird im NaiS-Formular mithilfe von Pfeilen für die nächsten 10, resp. 50 Jahre dargestellt. Als Referenz für die Positionierung des aktuellen Zustandes und des 10-Jahre-Pfeils zwischen Minimal- und Idealprofil gelten die Anforderungen des heutigen Standortes, für den 50-Jahre-Pfeil die Anforderungen des zukünftigen Standortes. Dabei werden für einen bestimmten Bestand absehbare Störungen miteinbezogen, nicht lokalisierbare Extremereignisse wie beispielsweise Orkane hingegen nicht (siehe Kapitel 3). Für die Darstellung der Bestandesentwicklung unter einem weiteren Störungsszenario kann auch ein zweiter Pfeil verwendet werden. Die Rückseite des NaiS-Formulars bietet Platz, die Überlegungen und Annahmen bezüglich der Störungen festzuhalten. Hier soll auch auf Extremereignisse eingegangen werden, welche bei den Pfeilen nicht berücksichtigt werden.



Abb. 8: Spätfrost an der heutigen oberen Verbreitungsgrenze der Buche setzt dem Tempo bei der Baumartenanpassung Grenzen. Durch den Klimawandel verursachter früherer Blattaustrieb könnte die Problematik teilweise verschärfen.

► **Wie wirken sich die zukünftigen Standortveränderungen sowie Extremereignisse und Störungen auf den Bestand aus?**

- Der Talblick (tiefer gelegene Standorte) gibt Hinweise für die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung. Zusätzlich ist teilweise und u. a. abhängig von den Bodeneigenschaften auch mit Verschiebungen in Richtung trockenerer Standorte zu rechnen (Kuppenblick).
- Bestände können sich einerseits langsam im Zuge von Standortveränderungen verändern, andererseits aber auch abrupt bei Extremereignissen, Störungen oder wenn gewisse Kippunkte erreicht sind.
- Entscheidend ist die Beurteilung, wie die vorhandenen Baumarten mit den zukünftigen Bedingungen zurechtkommen: Wer profitiert, wer verliert? Zugunsten oder zulasten welcher Baumarten verändern sich die Konkurrenzverhältnisse?
- Mit welchen Baumarten (zukünftig) in der Naturverjüngung gerechnet werden kann, hängt u. a. von Faktoren wie der Anzahl und Distanz vorhandener Samenbäume, dem Samenverbreitungspotenzial, dem Keimbett und dem Wilddruck ab.
- Die Störungsanfälligkeit eines Bestandes hängt nebst Struktur und Stabilität auch davon ab, wie stark die vorhandenen Baumarten gefährdet sind.

- Teilweise sind bereits heute Anzeichen für eine erhöhte Störungsanfälligkeit einzelner Entwicklungsstufen erkennbar. So sind bis jetzt junge Buchen viel weniger von Sommertrockenheit betroffen als alte.
- Nebst neuartigen Störungen muss auch mit bisherigen Ereignissen wie beispielsweise Nassschnee in mittleren Lagen oder Spätfrost bis auf weiteres gerechnet werden.

5. Handlungsbedarf und wirksame Massnahmen

Wenn das Waldbauziel ohne Massnahmen nicht erreicht wird und es wirksame Massnahmen gibt, besteht Handlungsbedarf. Dabei ist es oft effizienter, gute Waldzustände aktiv zu erhalten als abzuwarten, bis sich diese stark verschlechtert haben. Umgekehrt können weiterhin auch Wälder, in denen seit Jahrzehnten keine Eingriffe mehr stattgefunden haben, keinen Handlungsbedarf aufweisen.

Im Kontext des Klimawandels gibt es oft die Möglichkeit, Waldzustände mit wenig Aufwand zu verbessern, indem beispielsweise Zukunftsbaumarten gezielt gefördert werden. Je präziser der Handlungsbedarf hergeleitet und begründet wird, desto zielgerichteter können wirkungsvolle Massnahmen definiert werden. Die Wirksamkeit von Massnahmen ist teilweise unsicherer und schwieriger abzuschätzen als bisher, weil man nicht ohne weiteres auf bisherige Erfahrungen zurückgreifen kann, resp. diese nur bedingt auf die Zukunft übertragbar sind.

NaiS-Formular: Handlungsbedarf besteht dann, wenn das Minimalprofil Zukunft ohne Massnahmen nicht erreicht werden kann und es wirksame und verhältnismässige Massnahmen gibt. Der Entscheid basiert auf dem Vergleich der erwarteten Bestandesentwicklung der nächsten 50 Jahre mit dem Minimalprofil.

► **Mit welchen Massnahmen können insbesondere die Störungsresistenz, Störungsresilienz und die Anpassungsfähigkeit des Bestandes im Klimawandel erhöht werden?**

Im Schutzwald werden immer mehr oder weniger kleinräumig ungleichaltrige Strukturen angestrebt. In solchen ungleichförmigen Wäldern erfolgen i. d. R. verschiedene Massnahmen kombiniert und gleichzeitig. Die Aufgabe der Waldbauer/-innen ist es, sinnvolle Massnahmen am richtigen Ort zur richtigen Zeit auszuführen.

Auf der nachfolgenden Doppelseite befindet sich für die Bereiche Verjüngungseinleitung, Verjüngungsförderung, Jungwaldpflege und Stabilitätsdurchforstung eine Hilfestellung für die konkrete Umsetzung der oben genannten strategischen Stossrichtungen. Farblich werden die Hinweise und Empfehlungen pro Massnahmenbereich den fünf Adaptationsprinzipien (siehe Box Seite 7) zugeordnet.

Waldbauliche Umsetzung der fünf Adaptationsprinzipien:

Erhöhung der Baumartenvielfalt, Erhöhung der Strukturvielfalt, Erhöhung der genetischen Vielfalt, Erhöhung der

Über die Verjüngung zu mehr Baumartenvielfalt

Naturverjüngung bietet weiterhin zahlreiche Vorteile

- Voraussetzung für Naturverjüngung sind genügend Samenbäume von Zukunftsbaumarten in Samenverbreitungsdistanz.
- Das Beachten der verjüngungsökologischen Ansprüche der einzelnen Baumarten ist zentral (z. B. Lichtbedarf).
- Variieren der Lichtdosierung (Öffnungsgrößen, Verjüngungsfortschritt) erhöht die Baumartenvielfalt.
- Gewisse Zukunftsbaumarten (z. B. Waldföhre) haben spezielle Anforderungen an das Keimbett (z. B. Mineralboden → Schürfungen).

Mögliche Zielkonflikte bei der Verjüngung von Lichtbaumarten

- Lichtbaumarten v. a. dort verjüngen, wo bezüglich Naturgefahrenprozesse mehr Handlungsspielraum besteht (z. B. flachere Lagen).
- Sorgfältiges Abwägen der Vorteile mit möglichen Risiken (Vegetationskonkurrenz, Austrocknung, etc.).
- Mehrstufiges Vorgehen mit Erweiterungen von Öffnungen kann Risiken senken.

Künstliche Verjüngung als mögliche Ergänzung

- Künstliche Verjüngung kann v. a. sinnvoll sein, wenn wichtige Zukunftsbaumarten fehlen oder der Erfolg der natürlichen Verjüngung in geforderter Zeit fraglich ist.
- Frühes punktuell Einbringen von Zukunftsbaumarten im Sinne von Samenbäumen schafft Potenzial für zukünftige Naturverjüngung.

Verjüngung legt Basis für genetische Vielfalt

- Eine genügend grosse Anzahl Mutterbäume ist Voraussetzung für genetische Vielfalt.
- Räumlich vielfältig verzahnte und zeitlich unterschiedlich gestaffelte Verjüngungsaktivitäten mit hohem Anteil Naturverjüngung fördern die genetische Anpassungsfähigkeit.
- Ergänzend zur Naturverjüngung können an wärmere und trockenere Bedingungen angepasste Provenienzen sinnvoll sein (Aufwand-Nutzen-Abwägung).

Konzentrierte Eingriffe bewahren Strukturen

- Je nach Risiken und Anpassungspotenzial des Bestandes ist eine frühe Verjüngung im noch jungen Baumalter sinnvoll.
- Gezielte Eingriffe zugunsten der Z-Bäume ohne flächige Durchforstungen bewahren verjüngungsökologisch unterschiedliche Bedingungen für die zukünftige Verjüngung (z. B. dunkle Bereiche ohne Vorverjüngung von Schattenbaumarten für die zukünftige Verjüngung von Lichtbaumarten).

Stabilitätsträger brauchen genügend Platz

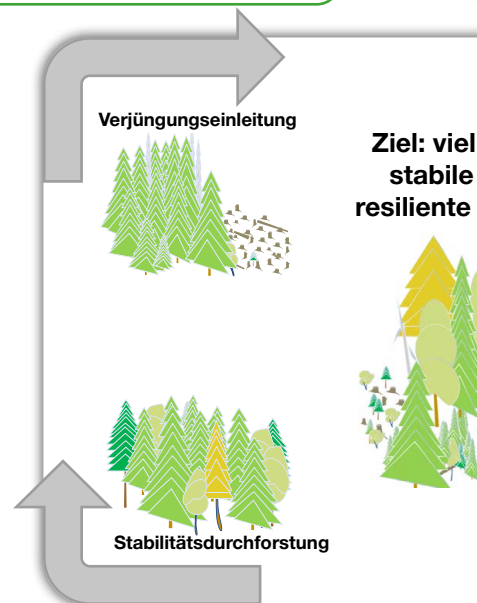
- Ab der Stangenholzstufe ist es entscheidend, für eine gute Stamm- und Kronenentwicklung der Stabilitätsträger (Einzelbäume/Kleinkollektive) zu sorgen.
- Grosse Abstände zwischen den Z-Bäumen und eine konsequente Förderung ermöglichen eine höhere individuelle Stabilität.

Reduktion des Zieldurchmessers durch frühzeitiges Verjüngen

- Je weiter entfernt der Ausgangsbestand vom langfristigen Waldbauziel ist, desto schneller muss tendenziell der Anpassungsprozess ablaufen.
- In Ausgangsbeständen mit kurzer verbleibender Lebensdauer oder hohen Ausfallrisiken (Störungsanfälligkeit) der Bäume ist eine frühzeitige Verjüngungseinleitung besonders wichtig.
- Ein Anteil alter Bäume bleibt weiterhin wichtig (genetische Vielfalt, Struktur, Biodiversität, etc.) und soll erhalten werden.

Verjüngungsverfahren bestimmt Strukturvielfalt

- Überführung in ungleichaltrige Strukturen bedingt frühen Beginn eines gestaffelten Verjüngungsvorgehens.
- Variation beim Verjüngungsverfahren schafft vielfältige Strukturen.
- Strukturelemente wie z. B. Überhälter erhöhen die Strukturvielfalt.



Baumartenvielfalt bis ins Baumholz sichern

- Eine gute Entwicklung der Zukunftsbaumarten muss auch im Baumholz mit gezielten Eingriffen gewährleistet sein.
- Eingriffe zwischen Jungwaldpflege und der Holzernte hiebsreifer Dimensionen sind oft sehr wichtig für den Erhalt von Zukunftsbaumarten.
- Auch in älteren Beständen sind oft noch entwicklungsfähige Individuen wichtiger konkurrenzschwacher Mischbaumarten zu finden, welche mindestens als Samenbäumen dienen können.

Verkürzung der «Umtriebszeit» durch Intensivierung der Durchforstungen

- Für eine rascheres Durchmesserwachstum zugunsten der Schutzfunktion (Schutzwirksamkeit, Stabilität) kann es sinnvoll sein, die Durchforstungen zu intensivieren.

Störungsresistenz der Einzelbäume, Reduktion der Umtriebszeit bzw. des Zieldurchmessers

Zukunftsbaumarten sichern

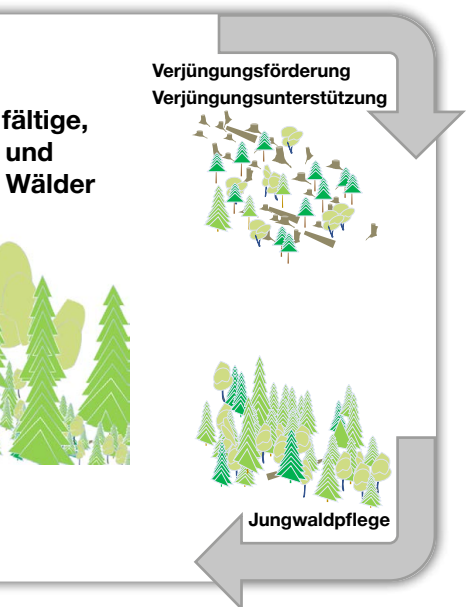
- Der Erhalt von Zukunftsbaumarten, welche nur spärlich in der Verjüngung vertreten sind, ist oft sehr wichtig.
- Pionierbaumarten gehören oft zu den Zukunftsbaumarten und sollen bei Bedarf entsprechend gefördert werden.
- Auch Baumarten, welche sich erst im zukünftigen Klima richtig wohl fühlen werden, sollen bei realen Erfolgschancen als künftige Samenbäume gefördert werden.
- Viele Zukunftsbaumarten sind (Halb-)Lichtbaumarten und benötigen während ihrer Entwicklung eine Erhöhung der Lichtmenge.
- Viele Zukunftsbaumarten sind anfällig gegen Wildschäden und müssen je nachdem geschützt werden.
- Ist die Verjüngung durch limitierende Faktoren gefährdet, können unterstützende Massnahmen wie Gleitschneeschutz notwendig sein.

Verjüngungsflächen sind Teil der Strukturvielfalt

- Vorhandene Verjüngungsansätze müssen rechtzeitig gefördert werden, damit sie nicht wieder verschwinden oder lichtbedürftigere Baumarten absterben (z. B. Erweiterung von Öffnungen).

Genetische Vielfalt erhalten

- Stammmzahlreiche Verjüngungen sollen erhalten bleiben, sie bieten eine breitere Basis für die natürliche Selektion (und somit auch für die Anpassung).



Baumartenvielfalt im Jungwald erhalten

- Jungwälder sind oft artenreich (v. a. grösserflächige) – Die Suche nach Zukunftsbaumarten (inkl. Pioniere!) lohnt sich.
- Die Förderung der Z-Bäume (vitalsten Einzelbäume/Kleinkollektive pro Zielbaumart) erfolgt konzentriert und baumartenspezifisch (Zeitpunkt, Eingriffsstärke).
- Einige Zukunftsbaumarten sind (noch) konkurrenzschwach und müssen rechtzeitig und gezielt gefördert werden.
- Notwendige Wildschadenverhütungsmassnahmen müssen weitergeführt werden.
- (Heute noch) sehr konkurrenzschwache Zukunftsbaumarten sollen vor allem an besonders geeigneten Stellen (z. B. Waldrand) zu Samenbäumen heranwachsen.

Strukturen im Jungwald erhalten und fördern

- Strukturierende Elemente wie Überhälter, Vorwüchse, Vorwälder (Birke, Vogelbeere, etc.), Sträucher und Blößen sind strukturfördernd und sollen belassen oder gefördert werden.
- Homogenisierende Massnahmen wie flächige Pflege sind zu unterlassen.
- Grössere Abstände zwischen den Z-Bäumen sind strukturfördernd.
- Die Kammerung oder Rottenpflege in nadelholzdominierten Beständen schafft zusätzliche Strukturen und ermöglicht bei der zukünftigen Verjüngung eine weiterführende vertikale Strukturierung mit geringen Risiken.

Jungwälder sind genetisch vielfältig

- Für gewisse Baumarten (-mischungen) bieten sich lange Selbstdifferenzierungsphasen mit starker natürlicher Selektion an.
- In stammzahlreichen Partien (z. B. Füllbestand zwischen Z-Bäumen) bleibt längere Zeit ein grosser Gen-Pool heute konkurrenzstarker Baumarten erhalten – auch deshalb nicht Erdünnern.
- Aus Pflanzung oder Saat hervorgegangene Jungbäume tragen lokal seltenes Genmaterial und sollen entsprechend gefördert werden.

Stabilitätsträger zeigen sich im Jungwald

- Störungsresistente Einzelbäume/Kleinkollektive/Rotten mit hoher Lebenserwartung sind sehr wichtig für die Bestandesstabilität.
- Grössere Abstände zwischen den Z-Bäumen (max. 60 Z-Bäume pro Hektare) ermöglichen grössere individuelle Stabilität und ermöglichen langfristigen Erhalt der talseitigen Stützbäume.
- Klimawandelbedingt können bei der Rottenpflege teilweise breitere Gassen sinnvoll sein (zunehmende Wüchsigkeit sofern gut wasserversorgt).



Abb. 9: Diese vitale Eichenverjüngung im vom kontinentalen Klima geprägten Wald läutet die Umwandlung des hochmontanen Fichtenwaldes in einen zukünftig collinen Laubmischwald ein.

Trotz der zunehmenden Unsicherheiten ist es wichtig, klare Entscheidungen zu treffen und diese konsequent umzusetzen. So muss man sich beispielsweise bei der Auswahl der Z-Bäume auf eine beschränkte Anzahl Bäume einer bestimmten Baumartenpalette festlegen und diese gezielt und

konsequent fördern. Will man möglichst viele Z-Bäume oder gar «Reserve-Bäume» als Absicherung für mögliche zukünftige Ausfälle «mitnehmen», läuft man Gefahr, am Ende keine vitalen Stabilitätsträger oder Samenbäume zu erhalten. Dasselbe gilt auch für Pflanzungen, bei denen man sich für eine oder wenige Baumarten entscheiden muss, weil die Erfahrungen zeigen, dass mit kleinflächigen «Buntmischungen» die Ziele oft nicht erreicht werden. Auf die künstliche Verjüngung wird separat auf den Seiten 16/17 eingegangen.

Die Verjüngung von Lichtbaumarten erfordert eine entsprechend höhere Lichtdosierung (Öffnungsgrösse, Hiebsfortschritt) und i. d. R. auch gezielte Jungwaldpflegemassnahmen. Das Ziel des Schutzes vor Naturgefahren darf dabei nicht in den Hintergrund geraten. Mit zunehmenden Öffnungsgrössen steigen gleichzeitig die Risiken von Vegetationskonkurrenz (z. B. Waldrebe), Neophyten und je nach Standort Trockenheit. Die Problematik verschärft sich, wenn die Baumartenverjüngung nach dem Verjüngungsschlag durch zu hohen Wildeinfluss verzögert wird. Ein etappiertes Vorgehen mit Erweiterungen von Öffnungen kann entsprechende Risiken senken. Um die Zielkonflikte mit der Schutzwirkung möglichst gering zu halten, sollen Öffnungen hangparallel oder diagonal zum Hang angelegt und die jeweils grössten Öffnungen an aus Naturgefahren-sicht weniger kritischen Stellen gewählt werden (z. B. flachere Partien).

Die Reduktion von Zieldurchmesser und Umtriebszeiten als Adaptationsprinzip kann Sinn machen. Beispielsweise für junge, von heutigen Hauptbaumarten wie der Fichte oder Buche dominierte Bestände, welche zunehmenden Risiken ausgesetzt sind. Das Prinzip muss jedoch differenziert be-

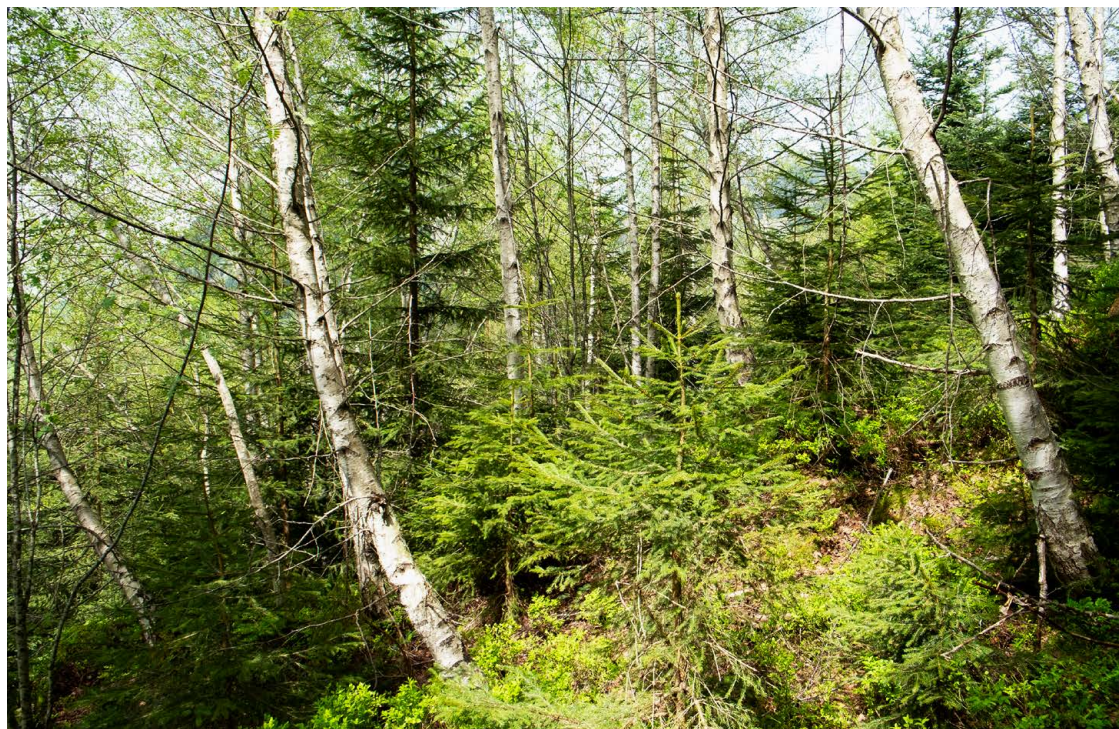


Abb. 10: Im Kontext des Klimawandels spielen klimafitte Pionierbaumarten wie die Birke eine noch wichtigere Rolle als bisher.

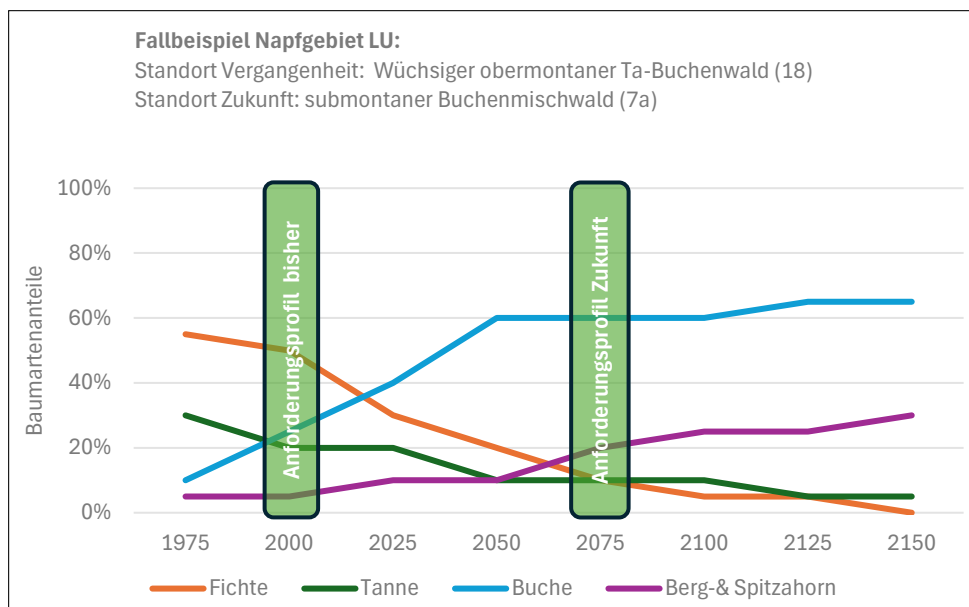
trachtet werden. So erfüllen dicke Bäume weiterhin wichtige Funktionen für die Schutzwirkung, genetische Vielfalt, Strukturvielfalt und Biodiversität. Entsprechend sollen sie in genügenden Anteilen erhalten werden (Überhälter, Habitatbäume, etc.). Ebenso dürfen mit dem Argument, den Anpassungsprozess zu beschleunigen oder Störungen zu verhindern, die Schutzwaldanforderungen nicht missachtet werden. Auch wenn bewusst stehen gelassene Bäume oder Gruppen beispielsweise vom Buchdrucker befallen werden, spielen diese für die vorübergehende Schutzwirkung und Waldverjüngung oft eine wichtige Rolle. Hinzu kommt, dass eine intensivierte Schutzwaldpflege in nicht kostendeckend bewirtschaftbaren Schutzwäldern oft auch höhere Kosten für die Allgemeinheit bedeuten und womöglich dadurch andere – noch schlechter erschlossene – Schutzwälder ungerechtfertigterweise vernachlässigt werden.

6. Umsetzungsentscheid

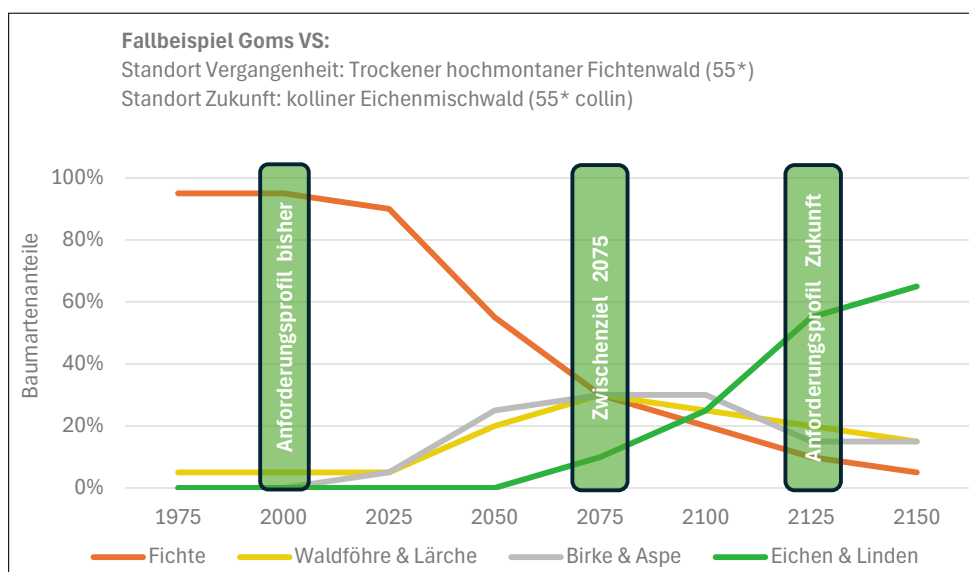
Für den Massnahmenentscheid müssen bestandesübergreifende Grundlagen (siehe Box Seite 18) wie regionale/kantonale Strategien, Priorisierung oder Feinerschlusskonzepte berücksichtigt werden.

► Wie beeinflusst der Klimawandel die Priorisierung sowie die Beurteilung der Verhältnismässigkeit, der Dringlichkeit und des richtigen Ausführungszeitpunktes?

Die Priorisierung der Schutzwälder nach deren Wichtigkeit (Schadenpotenzial, Gefahrenpotenzial, Waldwirkungen) ist eine wichtige Grundlage für waldbauliche Entscheidungen. Es ist davon auszugehen, dass die Schutzwaldpflege mit dem Klimawandel aufwändiger wird und die Bedeutung der Priorisierung auch im Zusammenhang mit den erwarteten Extremereignissen zunimmt.



Beispiel Napfgebiet LU: Die Erhöhung der Laubholzanteile und -vielfalt ist in wenigen Jahrzehnten und mit geringen Risiken möglich, das NaiS-Anforderungsprofil Zukunft ist innert 50 Jahre erreichbar.



Beispiel Goms VS: Der Wechsel von Fichten- zu Eichenmischwald ist ohne starke Einbussen in der Schutzwirkung nur sehr langfristig möglich und mit erheblichen Risiken verbunden: Die Störungsanfälligkeit der Fichte steigt markant und Baumarten wie die Eiche sind heute noch kaum überlebensfähig. In solchen Fällen wird empfohlen, ein realistisches Zwischenziel (z. B. für 50 Jahre) zu definieren. Hier ist dies ein Fichten-Pionierbaumarten-Mischwald mit einzelnen Eichen- und Linden-Samenbäumen.

Abb. 11: Die notwendige Anpassung der Baumartenmischung erfolgt je nach Situation unterschiedlich stark und schnell. Teilweise ist es sinnvoll, eine mittelfristige waldbauliche Zielvorstellung in Richtung des erst langfristig erreichbaren Anforderungsprofils zu definieren.

Künstliche Verjüngung als ergänzendes Instrument

► Braucht es zukünftig mehr künstliche Verjüngung?

- Im Vergleich zu den letzten 20 Jahren dürfte der Anteil künstlicher Verjüngung aufgrund des Klimawandels zukünftig steigen. Dies insbesondere in Waldgebieten, in denen Samenbäume der Ziel-Baumarten fehlen.
- Die Naturverjüngung wird und soll jedoch weiterhin der «Normalfall» sein, weil sie in aller Regel grosse Vorteile bietet und die Finanzierung künstlicher Verjüngung im grossen Stil im Gebirgswald unrealistisch ist.
- Künstliche Verjüngung ist als Ergänzung zur Naturverjüngung prüfenswert, wenn die üblichen waldbaulichen Massnahmen nicht ausreichen. Dabei müssen die potenziellen Vorteile sorgfältig dem insbesondere im Gebirgswald zumeist sehr grossen Aufwand (v. a. Wildschutzmassnahmen, langfristiger Pflegebedarf) und den erwarteten Erfolgchancen gegenübergestellt werden.

► In welchen Fällen ist künstliche Verjüngung sinnvoll?

- Einbringen von Ziel-Baumarten, welche aktuell aufgrund von fehlendem Samenangebot nicht oder in ungenügendem Ausmass in der Naturverjüngung zu erwarten sind. Dies wird aufgrund des Klimawandels häufiger der Fall, weil teilweise die zukünftigen Zielbaumarten nur weit entfernt vorhanden sind (z. B. Linden oder Spitzahorn in bisher fichtendominierten Alpentälern). Mit zunehmender Distanz zum aktuellen Verbreitungsgebiet nehmen die Risiken bei der künstlichen Einbringung einer Baumart tendenziell zu und sind bei nicht-einheimischen Baumarten deutlich grösser als bei einheimischen.
- Beschleunigung der Verjüngungsentwicklung: Beispielsweise kann nach grösseren Windwürfen auf verjüngungsgünstigen Standorten mit Pflanzungen mehrere Jahre Zeit gewonnen werden.
- Notlösung bei übermässigem Wildeinfluss: Nicht selten können in der Naturverjüngung vorhandene Zielbaumarten nur mit Wildschutzmassnahmen aufkommen. Eine Ergänzung der Wildschutzzäune mit künstlicher Verjüngung kann in diesen Fällen sinnvoll sein, da die Zusatzaufwände gering sind und die Lebensdauer der Zäune bestmöglich genutzt werden soll.
- Erweiterung der genetischen Vielfalt bereits vorhandener Baumarten, indem beispielsweise Provenienzen von trockeneren und wärmeren Standorten hinzugefügt werden. In diesem Zusammenhang bestehen jedoch noch zu grosse Unsicherheiten, um dazu klare Empfehlungen abzugeben.

Neben der **Pflanzung** kommt auch die **Direktsaat** in Frage.

Pflanzung

Anzahl, Anordnung und Mischung

- Aus genetischen Überlegungen braucht es für ein zukünftig gutes Samenangebot ein Minimum an fruktifizierenden Individuen: kleinräumig mindestens 15 Samenbäume mit weiterer Vernetzung. Für eine gesunde Population sind langfristig mindestens 500 fruktifizierende Individuen notwendig, die über die Bestäubung miteinander vernetzt sind [13]. Dies muss jedoch nicht innert weniger Jahre erreicht werden. Oft ist die Art zudem bereits in der Region vorhanden. ► Eine bestandesübergreifende Koordination von Pflanzungen ist wichtig.
- Einzelbaumweise «Buntmischungen» mehrerer Baumarten sind nicht sinnvoll. Geeignet sind z. B. Trupp-Pflanzungen mit einer Baumart oder mit mehreren bewusst gewählten Baumarten (z. B. Begleitbaumart) ► Die zukünftigen Licht- und Platzbedürfnisse sowie Konkurrenzverhältnisse sind zu beachten.
- Gastbaumarten nur als Mischbaumarten und kleinflächig.

Provenienzwahl

- Die Mischung verschiedener Herkunft reduziert Risiken und erhöht die genetische Vielfalt. Tendenziell scheint es sinnvoll, Herkunft aus wärmeren und trockeneren Standorten zu wählen. Diesbezüglich sind jedoch noch viele Fragen offen.



Abb. 12: Diese junge Buche wurde 2017 ausserhalb des heutigen Buchenareals in der hochmontanen Stufe auf 1550 m. ü. M. im Rona (GR) gepflanzt und entwickelt sich bis heute sehr positiv.

Pflanzentyp

- Containerpflanzen (u. a. «QuickPot») haben längere Pflanzzeiten im Jahresverlauf, bessere Anwuchsraten (v. a. auf schwierigen Standorten) und können einfacher zwischengelagert werden.
- Nacktwurzelfpflanzen sind leichter zu transportieren und kostengünstiger. Nach dem erfolgreichen Anwurzeln wachsen sie oft vitaler, weil sie sich schneller im Waldboden zurechtfinden. Die Pflanzung erfordert mehr Fachkenntnisse und Sorgfalt.

Ausführung

- Zentral sind die Berücksichtigung des Mikrostandorts (Wasserversorgung, Schneebewegungen, Konkurrenzvegetation, etc.) und die sorgfältige und fachgerechte Ausführung (Frischekette, Pflanzzeitpunkt, Pflanztechnik, Wurzelschnitt, motiviertes und gut ausgebildetes Personal).

Wildschutzmassnahmen

- Leider sind Pflanzungen meist nur in Kombination mit Wildschutzmassnahmen erfolgsversprechend. Deren häufige und zuverlässige Kontrolle sowie die sofortige Reparatur bei Schäden sind zwingend. Die Aufwände für Wildschutzmassnahmen übersteigen den Aufwand für die Pflanzung im Gebirgswald oft um ein Vielfaches.



Abb. 13: Investitionen in Pflanzungen können aufgrund von Wildschäden schnell vernichtet werden. Im Gebirge sind die entsprechenden Risiken aufgrund einer längeren Durchwuchszeit und generell schwierigeren Bedingungen (Steilheit, Schnee, etc.) noch grösser.

Kulturpflege/Ausmähen

- Oft ist dies in den ersten Jahren nach einer Pflanzung nötig. Die Ausführung hat sehr sorgfältig zu erfolgen, sonst können die Ausfälle sehr hoch sein.

Planung und Langfristigkeit

- Die Aufwände für Pflanzungen (resp. für die dafür notwendigen Wildschutzmassnahmen) sind oft sehr gross und die Erfolgsquoten nicht selten tief. Dies am ausgeprägtesten für Baumarten/Provenienzen, welche heute klimatisch noch am Limit sind.
- Da nur geringe Anteile der Waldfläche mit künstlicher Verjüngung angereichert werden können, ist eine sorgfältige Planung und Priorisierung sehr wichtig ➔ Bestandesübergreifendes Pflanzkonzept erarbeiten, welches neben der Pflanzung (Arten, Herkunft, Anzahl, Anordnung, etc.) auch die langfristige Pflege (Kontrolle und Dokumentation, Wildschutz, Ausmähen, etc.) enthält. Oft ist es auch sinnvoll, dass dies betriebsübergreifend für eine Region oder einen Kanton erfolgt. Insbesondere für den Unterhalt sind betriebliche GIS-Lösungen sehr wertvoll (z. B. Informationen über Zustand der Zäune).
- Es ist zentral, dass zumindest eine einfache Dokumentation geführt wird. Einerseits begünstigt dies die Kontinuität z. B. bei Stellenwechseln. Aber auch das Lernen aus Erfahrungen ist in diesem Bereich besonders wichtig. Das [Doku-Tool Zukunftsbaumarten](#) bietet eine effiziente Möglichkeit, um Pflanzungen zu beobachten und zu dokumentieren.

Direktsaat

Die obigen Aussagen und Empfehlungen für Pflanzungen gelten sinngemäss auch für die Direktsaat.

► In welchen Fällen ist Direktsaat sinnvoll?

- Vorteile: Geringer Aufwand / tiefe Kosten, naturnaher Selektionsdruck, weder Pflanzschock noch Wurzeldeformation.
- Nachteile: Hoher Saatgutbedarf (Beschaffung bei einigen Baumarten problematisch), hohe Ausfälle in den ersten Monaten, Erfolg sehr stark witterungsabhängig.
- Für den Erfolg entscheidend ist eine fachgerechte baumartenspezifische Samenbehandlung (Samenernte, Nachreife, Lagerung, Stratifizierung) und Aussaattechnik (Zeitpunkt, Bodenbearbeitung).
- Oft ist eine Kombination von Direktsaat mit Bodenschürfungen sinnvoll (u. a. Lärche, Birke, Föhre).

Diese Ausführungen zur künstlichen Verjüngung sind ein Konzentrat aus einer Publikation von Francesco Bonavia (Forstgarten Graubünden) und der Fachstelle GWP, welche vertieft und umfassend auf das Thema der künstlichen Verjüngung eingeht und 2026 erscheinen soll.



Abb. 14: Die Gassen einer ausgeführten Kammerung schaffen stabile innere Waldränder und bieten Platz für Z-Bäume von klimafitten Laubbaumarten.

Die Dringlichkeit von Massnahmen wird insbesondere beeinflusst von aktuellen Defiziten des Waldzustandes, der Geschwindigkeit negativer Bestandesentwicklungen sowie dem richtigen Massnahmen-Zeitpunkt (Effektivität und Effizienz). Überlegungen hinsichtlich der Bestandesrisiken sowie Umfang und Geschwindigkeit der erwarteten Standortveränderungen spielen dabei eine wichtige Rolle. Die Dringlichkeit wird zwar grundsätzlich im einzelnen Bestand

beurteilt, muss aber im Kontext grösserer Gebiete (Geländekammern, Prozessräume, Bewirtschaftungseinheiten) zu einer koordinierten Massnahmenplanung verarbeitet werden. Dies beispielsweise im Rahmen der Betriebsplanung mit der Festlegung von Schwerpunktgebieten und einer waldbaulichen Mehrjahresplanung.

Die Beurteilung der Verhältnismässigkeit verändert sich. Mindestens teilweise wird man auch Massnahmen als verhältnismässig betrachten, welche man in der Vergangenheit nicht getätigt hätte, weil sie zu aufwändig sind und der Erfolg zu unsicher ist (z. B. Pflanzungen in wichtigen Schutzwäldern, in denen zu wenig natürliche Verjüngung klimafitter Baumarten zu erwarten ist).

Der Zeitpunkt der Massnahme(n) ist sorgfältig festzulegen. Bei der Verjüngung von Zukunftsbaumarten stellt sich zusätzlich die Frage, ab wann die klimatischen Bedingungen günstig genug sein werden für die zu verjüngenden Zielbaumarten? Dabei sind oft nicht nur Durchschnittswerte entscheidend, sondern auch einzelne Ereignisse wie Spätfrost oder Nassschnee. Nebst dem Klima sind auch die sich verändernden Konkurrenzbedingungen zwischen den Baumarten wichtig. Diese können zwar durch das Verjüngungsvorgehen (Lichtdosierung) oder Pflegeeingriffe beeinflusst werden, bestimmen jedoch massgeblich Aufwand und Erfolgchancen von konkurrenzschwachen Baumarten. Beispielsweise ist die Konkurrenzkraft der Buche auf heute mittleren Buchenstandorten generell noch sehr gross. Es stellt sich also oft die Frage, ob man noch abwarten und somit allfällige natürliche Entwicklungen ausnutzen kann. Oder ob man diese Zeit nicht hat und proaktives Handeln mit mehr Aufwand notwendig ist. So ist es oft sinnvoll, schon sehr früh – wenn die Ausfallwahrscheinlichkeit noch erheblich und die Aufwände sehr hoch sind – punktuell Samenbäume von Zukunftsbaumarten auf besonders geeig-

Wichtige Koordination über die Eingriffsfläche hinaus

Der Fokus in der Schutzwaldpflege liegt oft bei der Massnahmenherleitung in der einzelnen konkreten Eingriffsfläche durch Holzanzeichnung oder Pflegeaufträge im Jungwald. Ebenso wichtig ist es, auf übergeordneter Ebene Entscheide zu treffen und über die einzelne Eingriffsfläche hinaus zu koordinieren:

- Waldplanung allgemein (Waldentwicklungsplanung, Betriebsplanung etc.)
- Priorisierung der Schutzwälder: Schadenrisiken, Sensitivität gegenüber Klimaveränderungen, Störungsrisiken, Konsequenzen von Zusammenbrüchen (Wichtigkeit)
- Priorisierung der Massnahmen: Optimale Auswahl von Eingriffsflächen, Eingriffszeitpunkt (Dringlichkeit) und

Massnahmen für grösserflächig bestmögliche Wirkung bei beschränkten Ressourcen.

- Koordination von Waldbau und Holzernte/Feinerschliessung.
- Borkenkäferbekämpfung, Umgang mit invasiven Neophyten und andere Waldschutz-Themen müssen zwingend grossräumig koordiniert werden.
- Künstliche Verjüngung und Wildschutzmassnahmen sind meist sehr kostenintensive Massnahmen, welche über viele Jahre kontinuierlichen Unterhalt erfordern. Sie können daher nur kleinflächig zum Einsatz kommen und sind dort einzusetzen, wo sie den grössten Nutzen bringen.
- Forstgenetische Aspekte spielen beim koordinierten Einbringen von Baumarten und Provenienzen eine wichtige Rolle.
- Vorbereitungsarbeiten für den Fall von grösseren Störungen (Räumungsprioritäten, Holzlogistik, etc.).



Abb. 15: Holzschlag als Reaktion auf grössere Käferschäden: Vom lebenden Bestand soll möglichst viel gerettet werden und das anfallende Holz wird hauptsächlich zur Erhöhung der temporären Schutzwirkung eingesetzt.

neten Kleinstandorten zu fördern oder künstlich einzubringen, damit in einigen Jahrzehnten im wärmeren Klima das Potenzial für Naturverjüngung vorhanden ist.

Der Klimawandel kann auch im Bereich Holzernteverfahren Veränderungen bringen, indem beispielsweise seltener mit gefrorenen Böden für bodengestützte Holzernte gerechnet werden kann oder Helibringung weniger opportun erscheint (Dekarbonisierung). Und selbstverständlich spielen immer auch weitere Aspekte wie Wirtschaftlichkeit oder Entwicklung des Holzmarktes eine wichtige Rolle.

7. Controlling

Im Klimawandel wird Controlling, welches auch die Erfolgskontrolle nach NaiS beinhaltet, noch wichtiger. Einerseits weil das Vorgehen laufend an neue (Umwelt-)Bedingungen angepasst werden muss, andererseits weil unvorhersehbare Ereignisse (z. B. Störungen) zunehmen und generell grössere Unsicherheiten bestehen. Zudem wird sich auch vermehrt die Frage stellen, ob der Wald (noch) genügend schützt, resp. schützen kann, oder ob andere Massnahmen (bauliche, organisatorische) notwendig sind. Betroffen ist nebst der Zielanalyse (Überprüfung und Anpassung der Anforderungsprofile) und Zielerreichungskontrolle (schutzwirksamer Wald) auch die Wirkungsanalyse (Wirkung der konkreten Massnahmen oder Unterlassungen). Eine klare Zielformulierung ist dafür eine wichtige Voraussetzung. Da es oft um eine etappenweise Annäherung ans waldbauliche Langfristziel geht, ist entsprechend auch das Setzen von konkreten Etappenzielen sowie eine minimale Dokumentation Voraussetzung für einen laufenden Lernprozess (z. B. warum hat die Verjüngung einer bestimmten Zukunftsbaumart nicht funktioniert?). Dieser Lernprozess ist auch ausserhalb der Weiserflächen wichtig.

Das «Lernen aus der Vergangenheit» muss im Rahmen des Klimawandels vorsichtig angewandt werden. So müssen für

die gedankliche Vorwegnahme der zukünftigen Bestandesentwicklung beispielsweise auch die Standortveränderungen berücksichtigt werden (zukünftig wärmere, trockenere Standorte). Nebst dem bisher schon breit praktizierten passiven adaptiven Waldbau («lernen aus Erfahrungen») ist es wichtig, vermehrt auch Elemente des aktiven adaptiven Managements («bewusstes Vergleichen unterschiedlicher Eingriffsvarianten») zu praktizieren [5]. Dort könnten bewusst unterschiedliche waldbauliche Vorgehensweisen verglichen werden, wobei auch innovative Ansätze gefragt sind. In diesem Kontext spielt auch die Wirkungsanalyse auf Weiserflächen eine wichtige Rolle. Die [SuisseNaiS Weiserflächen-Plattform](#) oder auch das [Doku Tool Zukunftsbaumarten](#) übernehmen dabei wichtige Funktionen im Sinne des kollektiven Gedächtnisses, genauso wie für den Erfahrungsaustausch [14] [18].



Abbildung 16: Verjüngungsöffnungen führen nicht automatisch zu klimafitter Verjüngung. Hier in Tieflagen auf Kalk behindert die Waldrebe das Aufkommen der jungen Bäume stark.

Literatur

[1] Allgaier Leuch B., Streit K., Brang, P., 2017: Der Schweizer Wald im Klimawandel: Welche Entwicklungen kommen auf uns zu? Merkblatt für die Praxis 59. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL. 12 S. WSL Merkblatt 59/2017.

[2] Allgaier Leuch B., Streit K., Brang P., 2017: Naturnaher Waldbau im Klimawandel. Merkblatt für die Praxis 59.1. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL. 8 S. WSL Merkblatt 59.1/2017.

[3] Bebi, P., Bugmann, H., Lüscher, P., Lange, B., Brang, P., 2016: Auswirkungen des Klimawandels auf Schutzwald und Naturgefahren. In: Pluess, A.R., Augustin, S., Brang, P. (Red.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 269-285.

[4] Bose AK, Moser B., Rigling A, et al., 2020: Memory of environmental conditions across generations affects the acclimation potential of scots pine. Plant Cell Environ. 2020; 43: 1288-1299.

[5] Brang, P., Küchli, C., Schwitter, R., Bugmann, H., Ammann, P., 2016: Waldbauliche Strategien im Klimawandel. In: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Red.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 341-364.

[6] Braun, S., Frehner, M., Rihm, B., Augustin, S., 2023: Feuchteachse von Ökogrammen: Quantifizierung und Abschätzung zukünftiger Veränderungen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 174 (1): 24-31.

[7] Brunner, M., Jacquemart, M., Weber, S., 2024: Wie verändern sich Risiken im Alpenraum in Bezug auf hydrologische und gravitative Naturgefahren? In M. Bründl & J. Kleinn (Eds.), WSL Berichte: Vol. 157. Herausforderungen und Lösungsansätze im Umgang mit Risiken (pp. 21-24).

[8] Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2024: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald NaiS. Vollzugshilfe für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Stand 2024. BAFU, Bern. Umwelt-Vollzug.

[9] Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2025: Anleitung zum NaiS-Formular. Herleitung des Handlungsbedarfs und der wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen.

[10] Frehner, M.; Brang, P.; Kaufmann, G.; Küchli, C., 2018: Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel. WSL Ber. 66: 43 S.

[11] Frehner M., Wasser B., Schwitter R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

[12] Muheim, L., Rudow, A., 2024: Generhaltungsgebiete für Waldbaumarten – Bedeutung, Projektstand und Handlungsfelder. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 175 (6): 314-318.

[13] Rudow, A., 2023: Genetik der Waldbäume. Relevante Aspekte für aktuelle Fragen der Waldbewirtschaftung. Fortbildung Wald und Landschaft. Fachseminar Kurs Nr. 344, 7.6.2023.

[14] Schwitter, R., 2023: Wirkungsanalyse auf Weiserflächen. Grundlagen – was ist das und wozu dient sie? Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP.

[15] Sperisen, C., Pluess, A. R., Arend, M., Brang, P.; Gugerli, F., Heiri, C., 2016: Erhaltung genetischer Ressourcen im Schweizer Wald – heutige Situation und Handlungsbedarf angesichts des Klimawandels. In: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Red.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 341-364.

[16] Walthert, L., 2024: Auswirkungen der Trockenheit auf Waldbäume. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Referat vom 19.4.2024 am ibW Bildungszentrum Wald Maienfeld.

[17] Walthert, L., Meusburger, K., 2025: Sind die Waldböden in der Schweiz nach dem Winterhalbjahr vollständig befeuchtet? Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 176 (2): 106-109.

[18] Zürcher-Gasser, N., Kühne, K., Thormann, J.J., Küffer, Chr., Schwitter, R., Zürcher, S., Frehner, M., 2016: Wissensaustausch und Controlling als Schlüsselfaktoren eines adaptiven Waldmanagements. In: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Red.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 407-418.

Impressum

Titel: Schutzwaldpflege im Klimawandel
Herausgeber: Fachstelle Gebirgswaldpflege GWP, 2025
Autoren: L. Glanzmann, S. Zürcher, C. Rüsch
Grafiken: GWP falls nicht anders vermerkt
Fotos: Christian Rüsch (Abb. 7, 9, 12), Raphael Schwitter (Titelbild, Abb. 1, 2, 4, 8, 10, 13, 14, 15, 16)
Kontakt: Fachstelle Gebirgswaldpflege GWP, ibW Bildungszentrum Wald, Försterschule 2, 7304 Maienfeld, 081 403 33 61, info@gebirgswald.ch, www.gebirgswald.ch

V1.1 / 19.3.2026

Wir bedanken uns bei allen Personen aus der Praxis und Forschung, welche mit ihrem Fach- und Erfahrungswissen zu dieser Praxishilfe beigetragen haben. Ein besonderer Dank gilt dabei Kathrin Kühne (BAFU), Monika Frehner und Martin Brüllhardt (Fachstelle Waldbau FWB), sowie den Mitgliedern der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe GWG für die konstruktiven Rückmeldungen.

NaiS-Formular Klimawandel
www.nais-form2-klima.ch



Tree App
www.tree-app.ch



Doku-Tool Zukunftsbaumarten
www.zukunftsbaumarten.ch



Weiserflächen-Plattform
www.suissenais.ch



Fachstelle Gebirgswaldpflege
Centre de sylviculture de montagne
Centro per la selvicoltura di montagna
Center per la selvicoltura da muntogna