

Abb. 1: Vitale Fichtenkeimlinge in stark zersettem Totholz (Anzuchtschale Moderholz, oben), vitale Fichtenkeimlinge der Variante Auflagehumus (Humus, Mitte) und gering entwickelte Keimlinge der Mineralbodenvariante (Ab) (unten)

Verjüngung der Fichte in den Bayerischen Kalkalpen

Die Fichte hat heute und in der Zukunft eine hohe ökonomische Bedeutung in den Bayerischen Kalkalpen und sie ist dort eine unverzichtbare Baumart für den Erhalt der Schutzfunktion. Gleichzeitig gewinnen in den Alpen verjüngungsökologische Nischen der Fichte an Bedeutung, da diese eine erfolgreiche Etablierung von der Keimung bis zum gesicherten Aufwuchs ermöglichen. Deren Kenntnis ist eine wichtige Grundlage für waldbauliche Entscheidungen.

*Roland Baier, Michael Kohlpaintner,
Rasmus Ettl, Michael Kutscher, Jörg Meyer,
Axel Göttlein*

In den Waldgesellschaften des bayerischen Bergmischwaldes schwankt der natürliche Anteil der Fichte zwischen 30 % und 60 % [7]. Frühindustrielle Nutzungen in den Salinen und Hüttenwerken haben seit dem 16. Jahrhundert, einhergehend mit einer zunehmenden Zurückdrängung der Verjüngung von Buche und Tanne aufgrund der steigenden Schalenwildbestände, zu einer deutlichen Begünstigung der Fichte geführt [14, 25]. Die Resilienz und Resistenz der Wälder wurde damit stark verringert. Kahlschläge, zum Teil begleitet von Phasen der Beweidung, führten auf den von Natur aus ärmsten Standorten Bayerns (südexponierte, flachgründige Hauptdolomitstandorte) über Standorts-

veränderungen (Humusschwund, Nährstoffentzüge) zu degradierten Sekundärwäldern bis hin zu nahezu unbestockten Schutzwald-Sanierungsflächen [2]. Die waldbauliche Bewertung der Fichte ist dabei heute differenziert nach Ausgangssituation durchaus ambivalent: So soll in Fichtenreinbeständen ihr Anteil im Zuge des Waldumbaus künftig zugunsten der bedeutenden Mischbaumarten Buche und Tanne reduziert werden. Im Schutzwald, wo die Fichte aufgrund ihrer wintergrünen Krone einen ungleichmäßigen Schneedeckenaufbau bewirkt und so vor Lawinenbildung schützt, sowie in Bereichen mit dominierendem Laubholz ist dagegen ein höherer Fichtenanteil durchaus erwünscht.

Während die Verjüngung von Laubbäumen und der Tanne überwiegend vom Schalenwild beeinflusst wird [1, 18], leidet die Fichte weniger unter Wildverbiss. Zudem

ist die Fichte die lichtbedürftigste Baumart des Bergmischwaldes [1]. Neben Verbiss und Licht kommen bei der Fichte noch andere Einflussfaktoren für die natürliche Verjüngung zum Tragen. In der Natur wird dies vor allem durch eine ungleichmäßige Verteilung der Fichtennaturverjüngung in Rotten deutlich, was bereits in der montanen Höhenstufe zu beobachten ist. Solche geklumpten Vorkommen sind als Zeichen allgemein ungünstiger Umweltbedingungen zu werten, die zu einer Ansammlung von Verjüngungsbäumen auf günstigen Kleinstandorten führt. Keimung, Überleben und Wachstum von Bäumen hängen von diesen günstigen Kleinstandorten ab, die artspezifisch günstige Umweltbedingungen in sich vereinen. Für die Fichte ist bekannt, dass sie wegen ihrer kleinen Samen auf spezifische Keimsubstrate [15] oder auf Kleinstandorte – wie alte möglichst hohe Stöcke, stark

zersetzte, stabil liegende Tothölzer oder Felsnasen – angewiesen ist, die wiederum an Steilhängen die Schneebewegungen reduzieren [12]. Unter den harschen Umweltbedingungen der Alpen sind diese günstigen Faktoren für eine erfolgreiche Verjüngung der Fichte unerlässlich [17].

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse von vier Studien zur Ansamungs-, Keimungs- und Aufwuchsphase der Fichte in den Bayerischen Kalkalpen dargestellt, schließlich zu einem Gesamtbild zusammengefasst und hieraus Hinweise für die Praxis abgeleitet.

Die Untersuchungen umfassen einen Keimlingsbiotest mit Fichtensämlingen auf drei unterschiedlichen Keimsubstraten [3], Saatversuche in Schlitzhieben und vergrasten Altbeständen [13] und auf einer Sturmwurffläche [9] sowie Erhebungen zu günstigen Kleinstandorten bereits etablierter Fichten [5]. Die Aussagen gelten vor allem für süd-exponierte Standorte des mäßig trocken bis mäßig frischen Karbonat-Bergmischwaldes (*Aposerido-Fagetum caricetosum albae*), der die häufigste Waldgesellschaft der Bayerischen Alpen bildet [20].

Keimlingsbiotest

Für den Keimlingsbiotest wurden unter kontrollierten Laborbedingungen Fichtenkeimlinge der Herkunft 840 29 (Alpen, montane Stufe) über eine Vegetationsperiode auf den drei in der Natur möglichen Keimsubstraten Mineralboden (Ah), Auflagehumus (Humus) und stark zersetztes Totholz (Totholz) angezogen. Ein Unterschied zur natürlichen Keimung war, dass die Samen auf Vermiculit vorgekeimt und in die Versuchsschalen pikiert wurden. Die Keimlinge wurden nach Vegetationsabschluss Anfang Oktober geerntet, getrocknet, aufbereitet und schließlich getrennt nach den Kompartimenten Wurzeln, Spross und Nadeln chemisch analysiert. Ein solcher Biotest hat den Vorteil, dass neben der Biomasseentwicklung die gesamte Nährelementaufnahme durch den Keimling in Abhängigkeit vom Keim-/Anwuchssubstrat analysiert werden kann. Die Interpretation der Ergebnisse ist damit im Vergleich zur reinen Bodenanalyse oder zur Erhebung von Nadelspiegelwerten deutlich erleichtert. Im Freiland wirkende Umweltfaktoren, wie z. B. Witterungseinflüsse während der Keimung, sind einer Interpretation natürlich nicht zugänglich.

Schneller Überblick

- Der Auflagehumus ist ein ungünstiges Keimsubstrat in der Ansamungsphase, etablierte Fichten zeigen jedoch in der An- und Aufwuchsphase auf mächtigen Humusaufgaben deutlich günstigere Ernährungskennwerte und sind vitaler als Fichten auf Mineralböden – langfristig sichert daher der Auflagehumus Wachstum und Überleben der Fichte im Kalkalpin
- Stark zersetztes Totholz ist bereits im montanen Bergmischwald wichtig für die Etablierung und das langfristige Überleben der Fichte
- Verjüngungsökologische Nischen der Fichte in den Bayerischen Kalkalpen sind gekennzeichnet durch mächtige Humusaufgaben, stark zersetztes Totholz, raue Geländeoberflächen, der Nähe zu einem Hindernis und einer geringen Deckung mit verdämmender Konkurrenzvegetation

Die Unterschiede in der Biomasseentwicklung zwischen den einzelnen Keimsubstraten stechen ins Auge (Abb. 1). Entsprechend unterschiedlich sind die Gesamtgewichte der Keimlinge nach einer Vegetationsperiode (Abb. 2). Die kräftigste Biomasseentwicklung zeigten die Keimlinge auf Totholz, die signifikant schwerer waren als die anderen beiden Varianten. Ebenfalls günstig ist die Biomasseentwicklung der Keimlinge auf Humus, wobei hier vor allem die signifikant schwereren Nadeln hervorzuheben sind. Sie bieten einen physiologischen Vorteil (verbesserte Photosynthese) bzw. einen günstigeren Start in der folgenden Vegetationsperiode im Vergleich zu den nur gering entwickelten Keimlingen auf Mineralboden-Ah-Substraten.

Die deutlichen Unterschiede in der Biomasseentwicklung der Keimlinge legen nahe, dass diese auf Unterschiede in der Nährstoffverfügbarkeit in den Keimsubstraten zurückzuführen sind. Abb. 3 zeigt, getrennt nach Keimsubstraten, die Gesamtmengen der Makronährelemente Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K), die von den Keimlingen innerhalb der Vegetationsperiode aufgenommen wurden. Für alle drei Nährelemente gilt, dass Keimlinge auf

Totholz und auf Humus signifikant besser ernährt waren als auf Mineralböden (für die ernährungsphysiologischen Details siehe [3]). Eine ähnliche Tendenz gilt für die Mikronährelemente Mangan, Kupfer und Zink (Daten hier nicht aufgeführt).

Freiland-Saatversuche

Im Rahmen des Saatversuches auf einer geräumten Sturmwurffläche im Lattengebirge (Berchtesgadener Alpen) wurden die unterschiedlichen Keim- und Anwuchssubstrate Humus, humoser Mineralboden (Ah) und humusarmer mineralischer Unterboden (T) näher untersucht [9]. Bei den Saatversuchen in künstlichen Schlitzhieben und in vergrasten Altbeständen wurden Saatplätze mit und ohne Hindernis sowie mit Reisigüberdeckung detaillierter betrachtet [13].

Die Keimlingszahlen auf Humus und humosen Mineralboden (Ah) waren signifikant niedriger, als auf dem hellen, mineralbodenreicheren T-Material (Abb. 4, links). Fünf Jahre nach der Saat weist der Fichtenanwuchs auf Humus jedoch deutlich höhere Zuwachskennwerte und höhere 100-Nadelgewichte auf als Fichten auf den Mineralböden (Tab. 1). In Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Biotests waren die „Humusfichten“ auch hier besser mit N, P und K ernährt. Gemäß Abb. 4 (rechts) wird das Auflaufen der Saat durch ein nahes Hindernis nicht signifikant, durch lockere Reisigüberdeckung jedoch signifikant erhöht. Insgesamt war in beiden Studien der Auflaufenerfolg der Saat gering (unter 10 % in beiden Studien [13, 9]), weshalb Saaten mit teurem Fichten-Hochlagensaatgut bislang wenig zielführend erscheinen.

Günstige Kleinstandorte des Fichtenaufwuchses

Der Verjüngungserfolg der Fichte im Gebirge wird in erster Linie vom Lichtangebot bestimmt. In der Studie zu den günstigen Kleinstandorten des Fichtenaufwuchses sollten daher diejenigen Faktoren quantifiziert werden, die neben dem Licht den Verjüngungserfolg auf steilen, südexponierten Flächen der Bayerischen Alpen beeinflussen. Dabei sollte die bereits erwähnte Aggregation der Fichtenverjüngung in Rotten (Abb. 5 rechts) näher untersucht werden. Der Studie liegt dabei die Annahme zugrunde, dass Kleinstandorte mit Fichtenverjüngung günstigere Umweltbedingungen aufweisen. Die Aufnahmen

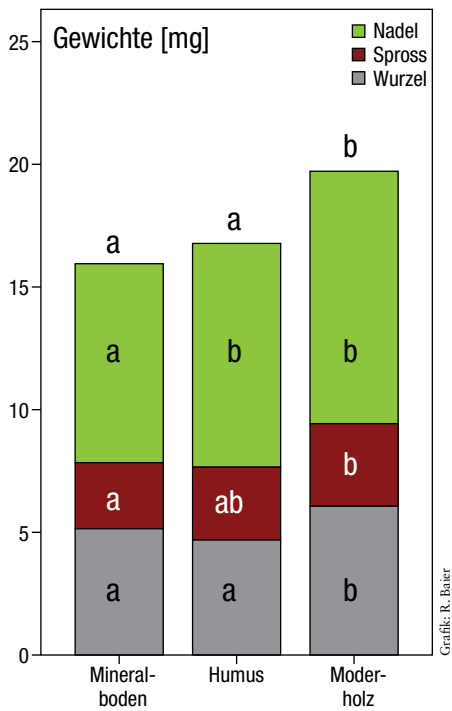


Abb. 2: Mittelwerte der Wurzel-, Spross- und Nadelgewichte, addiert zu Gesamtgewichten der Keimlinge in Abhängigkeit vom Keimsubstrat (unterschiedliche Buchstaben über den Gesamtnährelementmengen und in den einzelnen Pflanzenkompartimenten kennzeichnen signifikante Unterschiede [$p \leq 0,05$] zwischen den drei Substraten)

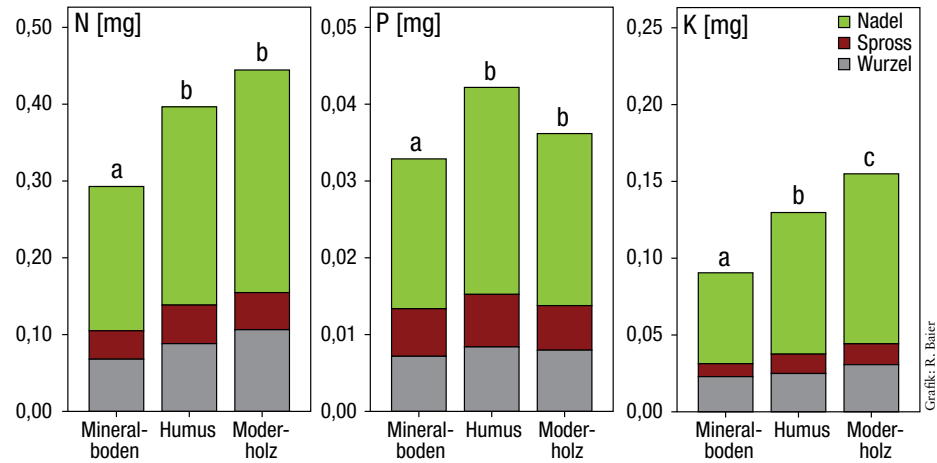


Abb. 3: Aufteilung der Gesamt mengen (Mittelwerte [mg]) der Makronährelemente Stickstoff [N], Phosphor [P] und Kalium [K] in Wurzeln, Spross und Nadeln der Keimlinge in Abhängigkeit vom Keimsubstrat (unterschiedliche Buchstaben über den Gesamtnährelementmengen kennzeichnen signifikante Unterschiede [$p \leq 0,05$] zwischen den drei Substraten)

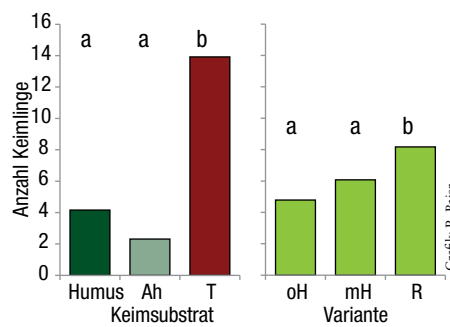


Abb. 4: Einfluss von Keimsubstrat [9] (links) und der Nähe zu einem Hindernis bzw. einer Reisigabdeckung [13] (rechts) auf die Anzahl der Keimlinge zwei Vegetationsperioden nach der Aussaat. Ah = humoser Mineralboden, T = humusarmer Mineralboden; oH = ohne Hindernis, mH = mit Hindernis, R = mit Reisigabdeckung (unterschiedliche Buchstaben markieren signifikante Unterschiede [$p \leq 0,05$])

erfolgten schließlich in sechs aufgelichteten Beständen mit etablierter Fichtenverjüngung im montanen Höhenbereich des mäßig trocken bis mäßig frischen Karbonat-Bergmischwaldes (*Aposerido-Fagetum caricetosum albae*, Abb. 5 links). Insgesamt wurden zufällig verteilt 480 Probekreise (210 ohne Fichten, 270 mit Fichten) festgelegt und dort jeweils sieben Umweltfaktoren (z. B. Humusmächtigkeit, Abstand zu einem Hindernis, Deckung der Konkurrenzvegetation) aufgenommen. Mittels binär-logistischer Regression wurde schließlich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Fichtenaufwuchs in Abhängigkeit von den untersuchten Umweltfaktoren berechnet (für Details siehe [5]).

Abb. 6 gibt diejenigen Umweltfaktoren wieder, deren Steigerung oder Minderung sich positiv auf den Fichtenaufwuchs auswirken. Positiv wird das Vorkommen des Fichtenaufwuchses von der Nähe zu Hindernissen oder rauen Geländeoberflächen (Kleinstandorte wie Rippe/Mulde oder Terrasse/Hügel) beeinflusst, also Faktoren, die Schneegleiten reduzieren. Ebenso wir-

ken mächtige Humusaufgaben positiv. Eine hohe Deckung der Konkurrenzvegetation oder glatte Geländeoberflächen (z. B. Rinnen, flacher Hang) wirken dagegen negativ auf den Fichtenaufwuchs. Totholz kam in der Untersuchung nur selten vor. Wenn Totholz vorhanden war, so wurde es jedoch überdurchschnittlich oft von der Fichte als Kleinstandort genutzt.

Verjüngungsökologische Nischen der Fichte

In der Gesamtschau der Einzelstudien wird deutlich, dass die Umweltfaktoren in den einzelnen Lebensphasen der jungen Fichten verschieden wirken können. Dies zeigt sich besonders bei der Humusaufgabe. Der Ungunst der Humusaufgabe während der Keimungsphase im Freiland – unter Laborbedingungen hat die Humusaufgabe übrigens keinen negativen Einfluss auf die Keimung und Etablierung der Sämlinge – steht deren spätere Standortgunst für Wachstum und Ernährung für den Fichtenan- und -aufwuchs gegenüber. Der karbonathaltige Mineralboden

ist im Freiland dagegen günstig für die Keimung, später jedoch ungünstig für die Vitalität der Jungfichten.

Die Gründe für diese Unterschiede liegen in physiologischen Vorgängen während der empfindlichen Keimphase und dem Nährstoff-Aneignungsvermögen der Fichte. Die geringen Überlebensraten der Keimlinge auf dunklen Humusaufgaben der Kalamitätsflächen ist auf Überhitzung (im Freiland wurden Oberflächentemperaturen $> 70^{\circ}\text{C}$ gemessen! [9]) und auf Trockenschäden an der empfindlichen Keimlingswurzel zurückzuführen. Während der Ausbildung der Keimlingswurzel reagiert die Fichte besonders empfindlich auf Trockenphasen, insbesondere wenn sie noch keine tieferen Bodenschichten erschlossen hat [21]. Ebenso zeigte ein Fichten-Saatversuch in der Schweiz, dass die Humusaufgabe aufgrund der größeren Austrocknungsgefahr ein ungünstigeres Keimbett darstellte als der feuchtere Mineralboden [6]. In ähnlicher Weise kann dichte Konkurrenzvegetation wirken, indem die Erschließung tieferer Bodenschichten während der Keimphase verhindert wird und



Fotos: R. Baier

Abb. 5: Typische Situationen der Fichtenverjüngung im Bergmischwald der Bayerischen Kalkalpen; links: Verjüngung bei ausreichend Licht in Lücken; rechts: Fichtenverjüngungsrotten im vergrasteten Steilhang

Fichte	Höhe	Jahrestrieb	100-Nadelgewicht	N	P	K	S	Ca	Mg
Einheit	cm	cm	mg	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
Humus	24,7	9,8	121,7	15,0	1,4	6,8	1,2	4,5	0,8
Ah, T-Material	19,2	6,5	103,9	11,8	1,2	5,4	0,9	3,6	0,9

■ normale Ernährung ■ latente Mangelernährung

Tab. 1: Wachstumsdaten und Nadelspiegelwerte von 5-jährigem Fichtenanwuchs aus dem Freilandsaatversuch [9] im Humus und im Mineralboden (Ah = humoser Mineralboden, T-Material = humusarmer Mineralboden). Einteilung in Nährstoffversorgungsclassen nach [10]

es zu Trockenschäden an der Keimwurzel kommt. Die Fichte ist mit ihren kleinen Samen und dem damit verbundenen geringen Nährstoffdepot besonders anfällig, da sie eine geringere Wurzelenergie im Vergleich zu Baumarten mit großen Samen (z. B. Buche, Bergahorn) aufweist [11]. Wie sind diese Ergebnisse nun bezüglich der natürlichen Verjüngung zu werten? Die Ungunst der Humusaufgabe als Keimsubstrat wird in der Natur über einen periodischen Sameneintrag in Mastjahren und teilweise sehr hohe Saatgutmengen kompensiert. So kann der Eintrag an Fichtensamen bei Vollmast 150 kg/ha betragen,

was die ausgebrachten Saatgutmengen in den Saatversuchen von ca. 5 kg/ha weit übertrifft [8]. Über mehrere Perioden der natürlichen Verjüngung kann es schließlich zu einer günstigen Übereinstimmung von Sameneintrag und feuchter Witterung während der Keimphase kommen, in deren Folge sich Fichtenkeimlinge auch auf der Humusaufgabe erfolgreich etablieren können. Diese Keimlinge auf Humus (und Totholz) zeigen dann nach den Ergebnissen des Biotests und des Saatversuches eine bessere Ernährung und sind vitaler als die Fichten auf Mineralboden. Die Ergebnisse belegen die Bedeutung einer sauren

Humusaufgabe für Fichtenernährung und -wachstum auf karbonatreichen Böden, da bei geringen Nährelementvorräten im Mineralboden und den dort hohen pH-Werten bzw. einem Überangebot von Kalzium und Magnesium die Ernährung der Fichte erschwert wird. Dies gilt auch für Altfichten [9]. Bestätigt wird die Bedeutung der Humusaufgabe und anderer wichtiger Faktoren durch die Studie zu den positiven Kleinstandorten des Fichtenaufwuchses. Da hier spätere Lebensphasen betrachtet werden, können die Ergebnisse als Intergral der positiven Wirkung von Umweltfaktoren über die Zeit angesehen werden. Auch zahlreiche weitere Studien bestätigen die Bedeutung von Humusaufgabe, geringer Deckung der Konkurrenzvegetation und von Totholz für das langfristige Überleben der Fichtenverjüngung im Bergwald (siehe z. B. [16, 19]).

Hinweise für die Forstpraxis

Die Ergebnisse zeigen, dass die natürliche Fichtenverjüngung – neben dem Licht! – über verjüngungsökologische Nischen steuerbar ist. Auf südexponierten, montanen Standorten der Bayerischen Kalkalpen sind diese gekennzeichnet durch

- mächtige Humusaufgaben,
- stark zersetztes Totholz,
- raue Geländeoberflächen, die Nähe zu einem Hindernis und
- eine geringe Deckung mit Konkurrenzvegetation.

Je nach Ausgangssituation können folgende Hinweise abgeleitet werden:

Auf degradierten, d. h. seit langem verlichteten bis unbestockten **Schutzwaldsaniierungsflächen** mit bereits abgelaufenem Humusschwund ist die Fichte nicht mehr standortgemäß. Sie sollte dort nicht mehr aktiv eingebracht werden (Details siehe [4]). Stattdessen sind diese Flächen zunächst mit Pionierbaumarten (Kiefer, Latsche, Lärche, Bergahorn, Mehlbeere etc.) zu bestocken. Die Fichte kann sich schließlich nach Aufbau einer (neuen) Humusaufgabe und im Schutz der zunehmend lichter werdenden Pionierbestockung über Naturverjüngung nach 30 bis 50 Jahren wieder von alleine etablieren.

Für Fichtenreinbestände sind Kalamitätsflächen und geschlossene Bestände zu unterscheiden. Das ungünstige Abschneiden des Humus als Keimsubstrat verdeutlicht, dass die Fichtensaat kein geeignetes

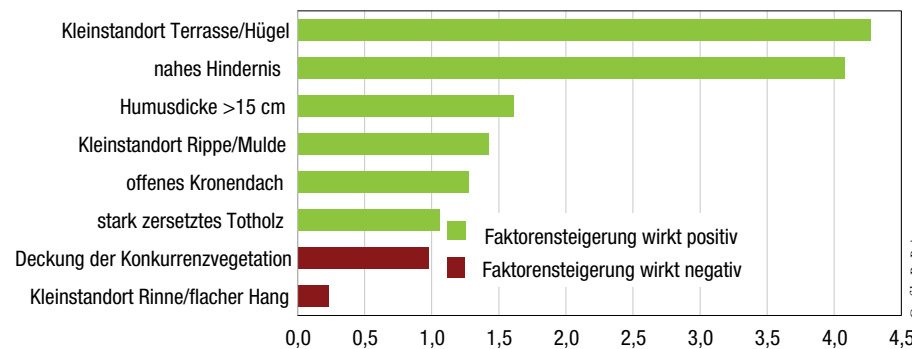


Abb. 6: Ergebnisse der binär-logistischen Regression, dargestellt als Balkendiagramme derjenigen Faktoren (odds ratios), die einen positiven (grüne Balken) oder negativen Einfluss (rote Balken) auf die Etablierung von Fichtenaufwuchs haben.

bzw. ein zu risikobehaftetes Verfahren ist, um **Kalamitätsflächen** rasch zu verjüngen bzw. um dort die Gefahr des Humuschwundes zu reduzieren. Der montane Bergwald besitzt, angepasste Schalenwildbestände vorausgesetzt, ein enormes Verjüngungspotenzial, sodass Kalamitäts-

Literaturhinweise:

[1] AMMER, C. (1996): Konkurrenz um Licht – zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald. Forstliche Forschungsberichte, 158, 198 S. [2] BAIER, R. (2006): Wurzelentwicklung, Ernährung, Mykorrhizierung und „positive Kleinstandorte“ der Fichtenverjüngung (*Picea abies* [L.] Karst.) auf Schutzwaldstandorten der Bayerischen Kalkalpen, Dissertation TU München, 250 S. [3] BAIER, R.; ETTL, R.; HAHN, C.; GÖTTLEIN, A. (2006): Early development and nutrition of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) seedlings on different seedbeds in the Bavarian limestone Alps – A bioassay. *Annals of Forest Science*, 63 (4), S. 339-348. [4] BAIER, R.; GÖTTLEIN, A. (2006): Praxisempfehlungen zur Verjüngung sensibler Schutzwaldstandorte der Bayerischen Alpen. *AFZ-DerWald*, Nr. 15, S. 824-826. [5] BAIER, R.; MEYER, J.; GÖTTLEIN, A. (2007): Regeneration niches of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) saplings in small canopy gaps in mixed mountain forests of the Bavarian Limestone Alps. *European Journal of Forest Research*, 126 (1), S. 11-22. [6] BRANG, P. (1996): Experimentelle Untersuchungen zur Ansammlungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen, 77, 375 S. [7] EWALD, J. (1997): Die Bergmischwälder der Bayerischen Alpen – Soziologie, Standortbindung und Verbreitung. *Dissertationes Botanicae*, 290, 234 S. [8] Forstverwaltung Bayern (2007): Forstliches Vernehmungsgut für Bayern. Teisendorf, 122 S. [9] GÖTTLEIN, A.; KATZENSTEINER, K.; RÖTHE, A. (2014): Standortsicherung im Kalkalpin – SicALP, 161 S. [10] GÖTTLEIN, A.; BAIER, R.; MELLERT, K. H. (2011): Neue Ernährungskennwerte für die forstlichen Hauptbaumarten in Mitteleuropa – Eine statistische Herleitung aus van den Burg's Literaturzusammenstellung, *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 182 (9/10), S. 173-186. [11] HANSEN, K. H. (2002): Effects of seedbed substrates on regeneration of *Picea abies* from seeds. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17, S. 511-521. [12] KUPFERSCHMID, A.D.; BUGMANN, H. (2005): Effect of microsites, logs and ungulate browsing on *Picea abies* regeneration in a mountain forest. *Forest Ecology and Management*, 205 (1-3), S. 251-265. [13] KUTSCHER, M. (2011): Verjüngung von Fichtenreinbeständen in den Flyschbergen und im Kalkalpin mittels Saat. Dissertation am Fachgebiet Waldernährung der TU München. [14] MEISTER, G. (1969): Überlegungen zur künftigen Betriebsgestaltung im oberbayerischen Hochgebirge. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 88, S. 202-230. [15] MORI, A.; MIZUMACHI, E.; OSONO, T.; DOI, Y. (2004): Substrate-associated seedling recruitment and establishment of major conifer species in an old-growth subalpine forest in central Japan. *Forest Ecology and Management*, 196, S. 287-297. [16] ORMAN, O.; SZEWZYK, J. (2015): European beech, Silver fir and Norway spruce differ in establishment, height growth and mortality rates on coarse woody debris and forest floor – a study from a mixed beech forest in the Western Carpathians. *Annals of Forest Science*, 72 (7), S. 965-965. [17] OTT, E.; FREHNER, M.; FREY, H.-U.; LÜSCHER, P. (1997): Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Haupt Verlag, 287 S. [18] PRIETZEL, J.; AMMER, C. (2008): Mixed mountain forests of the Bavarian Limestone Alps: Reduction of ungulate density results not only in increased regeneration success but also in improved soil fertility. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 179 (5-6), S. 104-112. [19] PRÖLL, G.; DARABANT, A.; GRATZER, G.; KATZENSTEINER, K. (2015): Unfavourable microsites, competing vegetation and browsing restrict post-disturbance tree regeneration on extreme sites in the Northern Calcareous Alps. *European Journal of Forest Research*, 134 (2), S. 293-308. [20] REGER, B.; EWALD, J. (2011): Waldtypenkarte Bayerische Alpen. *AFZ-DerWald*, Nr. 24, S. 14-16. [21] ROHMEDER, E. (1972): Das Saatgut in der Forstwirtschaft. Verlag Paul Parey, Hamburg. [22] STÖCKLI, B. (1995): Moderholz für die Naturverjüngung im Bergwald – Anleitung zum Moderholzanbau. *WSL Merkblatt für die Praxis* 26, 14 S. [23] THORN S.; BÄSSLER, C.; BUSSLER, H.; LINDENMAYER, D. B.; SCHMIDT, S.; SEIBOLD, S.; WENDE, B.; MÜLLER, J. (2016): Bark-scratching of storm-felled trees preserves biodiversity at lower economic costs compared to debarking. *Forest Ecology and Management*, 364, S. 10-16. [24] WINTER, M. B.; BAIER, R.; AMMER, C. (2015): Regeneration dynamics and resilience of unmanaged mountain forests in the Northern Limestone Alps following bark beetle-induced spruce dieback. *European Journal of Forest Research*, 134 (6), S. 949-968. [25] ZIERHUT, M. (2003): Die Geschichte der Traunsteiner Salinenwälder. *Forstliche Forschungsberichte München*, 194, S. 661.

flächen besser über Naturverjüngung in Bestockung gebracht werden können [1]. Eine aktuelle Studie zur Waldentwicklung im montanen Bergwald ohne menschliche Eingriffe zeigte, dass sich ohne künstliche Verjüngungsmaßnahmen nach der Kalamität zunächst eine Phase mit führenden Pionierbaumarten (z. B. Bergahorn, Vogelbeere, Birke) anschließt. Im Zuge der weiteren natürlichen Waldentwicklung (bei nachlassender Vitalität der Pionierbaumarten und bei dann ausreichendem Lichtangebot), stellt sich dort zunehmend die Fichte über Naturverjüngung ein. Mittel- bis langfristig entwickeln sich so wieder fast reine Fichtenbestände, die zwar struktureicher sind als die Ausgangsbestände, denen jedoch die Klimaxbaumarten Buche und Tanne fehlen [24]. Auf den Kalamitätsflächen sollten die unverzichtbaren Bergmischwaldbaumarten Buche und Tanne daher umgehend mittels Pflanzung eingebracht werden. Wo Samenbäume fehlen, ist dies häufig die einzige Chance, diese noch in der nächsten Waldgeneration zu etablieren. Begleitend müssen die Schalenwildbestände so angepasst sein, dass ein Aufwachsen dieser Bäume in Konkurrenz zu den sich einstellenden Mischbaumarten sicher ermöglicht wird. Des Weiteren sind für Kalamitätsflächen mit Blick auf die langfristige Ökosystemstabilität Aufarbeitungskonzepte zu erarbeiten, die mit Rücksicht auf die Borkenkäfergefahr eine Schonung der Humusaufgabe gewährleisten, sowie Totholz und Hindernisse angemessen belassen.

In **geschlossenen Fichtenreinbeständen** kann bei Bodenfreilage im Kalamitätsfall ein enorm schnell ablaufender Humuschwund einsetzen. Zur Steigerung von Resilienz und Resistenz dieser Wälder ist die langfristige Schaffung eines Vorausverjüngungsvorrates von Fichte (i. d. R. Naturverjüngung), Buche und Tanne (durch Pflanzung) über eine entsprechende Steuerung des Lichtangebotes (z. B. Gruppenschirmstellungen) die weitaus bessere Alternative als kurzfristige Pflanzmaßnahmen im Katastrophenfall. Bei diesen langfristigen Verjüngungsgängen kommen die jagdlichen Verhältnisse besonders zum Tragen.

Schwieriger gestaltet sich die Fichtenverjüngung in Konkurrenz zur Buche. In **buchenreichen Partien des Bergmischwaldes** oder in **Buchenreinbeständen** ist die Buche

aufgrund ihrer Schattenerträglichkeit und ihrer Fähigkeit, sich aufgrund der größeren Samen auch in dichter Konkurrenzvegetation zu etablieren, konkurrenzstärker als die Fichte. In bereits aufgelichteten, vergrasteten Partien des Bergmischwaldes ist es daher kaum mehr möglich, die Fichte gezielt zu verjüngen. Sie kommt hier in der Regel bereits auf wenigen günstigen Kleinstandorten, d. h. bei ausreichendem Lichtangebot, bei Humusaufgabe und um vorhandene Hindernisse, also meist um Stöcke oder auf Totholz, vor. In buchenreichen, noch geschlossenen Partien ist eine kräftige Auflichtung nötig, um eine Fichtennaturverjüngung in Gang zu bringen. Bei gleichzeitiger Verjüngung der Buche kann sich jedoch ein permanent hoher Konkurrenzdruck ergeben. Zudem besteht die Gefahr, dass sich rasch eine dichte Konkurrenzvegetation einstellt [1], wenn die Fichtennaturverjüngung ausbleibt. Bei der Verjüngung der Fichte in buchenreichen Partien ist daher Fingerspitzengefühl nötig und zu berücksichtigen, dass evtl. über einen langen Zeitraum regulierend zugunsten der Fichte eingegriffen werden muss.

Unabhängig vom Bestandestyp könnte ein **Moderholzanbau**, d. h. ein gezieltes Liegenlassen von stärkerem Totholz, welches anschließend natürlich zersetzt wird, bereits im Zuge von Durchforstungen in der Wachstumsphase langfristig die Verjüngungsgunst auf schwierigen Standorten verbessern [22]. Wichtig ist hierbei, dass das künftige Moderholz nicht entrindet wird. Entrindetes Holz ist kaum für die Moderholzverjüngung geeignet, da vor allem die Zersetzungsprozesse durch die Pilze verändert werden. Eine aktuelle Studie zeigt, dass durch maschinelles Schlitzen der Fichten unter Berücksichtigung von Waldschutzaspekten gezielt Moderholzvorräte aufgebaut werden können, ohne die Zersetzung zu stören [23].

Dr. Roland Baier,
roland.baier@asp.bayern.de, ist
Stellv. Leiter des Bayerischen
Amtes für forstliche Saat- und
Pflanzenzucht (ASP) in Teisendorf,
Dr. Michael Kutscher ist Stellv.
Leiter des BaySF Forstbetriebes
Nürnberg. Jörg Meyer ist der
Leiter des Vorstandsbüros der
BaySF-Zentrale in Regensburg. Dr.
Rasmus Ettl und Dr. Michael Kohlpaintner sind wissen-
schaftliche Mitarbeiter am Fachgebiet für Waldernährung
und Wasserhaushalt der TU München in Freising, das von
Prof. Dr. Dr. Axel Göttlein geleitet wird.

