

## Fichtenwälder im Klimawandel

BAYERISCHE  
FORSTVERWALTUNG



# **Fichtenwälder im Klimawandel**

# Impressum

## ISSN 0945-8131

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische und elektronische Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers. Insbesondere ist eine Einspeicherung oder Verarbeitung der auch in elektronischer Form vertriebenen Broschüre in Datensystemen ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Herausgeber<br/>und Bezugsadresse</b> | Bayerische Landesanstalt<br>für Wald und Forstwirtschaft (LWF)<br>Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1<br>85354 Freising<br>Telefon: 0049 (0) 81 61/71-4881<br>Fax: 0049 (0) 81 61/71-4971<br>poststelle@lwf.bayern.de<br>www.lwf.bayern.de |
| <b>Verantwortlich</b>                    | Olaf Schmidt, Leiter der Bayerischen<br>Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft                                                                                                                                                     |
| <b>Redaktion und Schriftleitung</b>      | Dr. Alexandra Wauer                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Bildredaktion</b>                     | Christine Hopf                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Titelbild</b>                         | Foto: H. Körner, fotolia                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Umschlagrückseite</b>                 | Foto: J. Strohwasser                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Layout</b>                            | Grafikbüro Helinä Markkanen, München                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Druck</b>                             | Lerchl Druck, Freising                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Auflage</b>                           | 1.000 Stück                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Copyright</b>                         | © Bayerische Landesanstalt<br>für Wald und Forstwirtschaft<br>Dezember 2009                                                                                                                                                            |

# Vorwort

Am 10. Juli 2009 veranstaltete die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft am Zentrum Wald-Forst-Holz in Freising-Weihenstephan die Tagung „Fichtenwälder im Klimawandel – Risiken und Anpassungsmaßnahmen“. Die auf der Tagung gehaltenen Vorträge, ergänzt mit einigen zusätzlichen Beiträgen zu diesem Thema, halten Sie nun als Band aus der Reihe LWF Wissen in Händen.

Die bayerischen Waldbesitzer und Forstleute haben mit der Fichte als der forstlich wichtigsten Baumart jahrzehntelange Erfahrungen und können auf einen breiten Kenntnisstand zurückgreifen. Zahlreiche Fachbücher und Monographien geben fundierten Einblick in die Eigenschaften und waldbauliche Behandlung dieser Baumart. Ziel dieses Heftes wie auch der Tagung ist es daher nicht, erneut die Baumart Fichte in allen ökologischen und dendrologischen Einzelheiten darzustellen.

Thema dieses Heftes ist vielmehr, Zukunftsoptionen für die in Bayern am weitesten verbreitete Baumart vor dem Hintergrund der zu erwartenden und schwerwiegenden Änderungen der Umweltbedingungen aufzuzeigen. Derzeit wächst die Fichte als wirtschaftlich wichtigste Baumart auf 44 Prozent der Waldfläche Bayerns. Gegenüber den Klimaveränderungen und den Folgeschäden ist sie aber besonders anfällig. Es stellt sich die Frage, wie Waldbesitzer und Forstleute mit den heute vorhandenen und ihnen anvertrauten Wäldern angesichts unsicherer Zukunftsaussichten umgehen sollen. Die angewandte Wissenschaft, die sich die LWF auf ihre Fahnen geschrieben hat, muss versuchen, hier und jetzt Antworten auf diese Fragen zu geben, soweit dies mit dem aktuellen Kenntnisstand seriös möglich ist. Dabei muss klar sein, dass erst mit den kommenden Jahren und wachsenden Erkenntnissen unsere Antworten präziser ausfallen werden.

Es ist trotzdem das große Verdienst der Tagung vom 10. Juli 2009 und dieses Heftes, schon heute den betroffenen Waldbesitzern und Forstleuten möglichst konkrete Hilfen zum Umgang mit Fichtenwäldern im Zeichen des Klimawandels zu geben, ihnen den aktuellen Kenntnisstand zu vermitteln und sie bei der Entscheidungsfindung und Risikoverringerung zu unterstützen.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern, dass sie Gewinn und Nutzen aus diesem Heft ziehen und ich hoffe, dass dieses Heft dazu beiträgt, unsere Wälder und unsere Umwelt erfolgreich für die Zukunft zu gestalten.



Olaf Schmidt





# Inhaltsübersicht

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Impressum .....                                                                                                 | 2         |
| Vorwort .....                                                                                                   | 3         |
| Inhaltsübersicht .....                                                                                          | 5         |
| <b>Fichtenwälder im Klimawandel – Konsequenzen für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft</b> .....              | <b>7</b>  |
| Günter Biermayer                                                                                                |           |
| <b>Die Fichte im Wandel</b> .....                                                                               | <b>11</b> |
| Franz Brosinger und Simon Östreicher                                                                            |           |
| <b>Die ökonomische Zukunft der Fichte</b> .....                                                                 | <b>16</b> |
| Thomas Knoke                                                                                                    |           |
| <b>Vielfalt schaffen, Risiko verringern – Gastbaumarten als Alternativen zur Fichte</b> .....                   | <b>22</b> |
| Martin Bachmann, Monika Konnert und Andreas Schmiedinger                                                        |           |
| <b>Provisorische Klima-Risikokarten als Planungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern</b> .....     | <b>31</b> |
| Christian Kölling, Elke Dietz, Wolfgang Falk und Karl-Heinz Mellert                                             |           |
| <b>Der Vorbau als schneller Weg zum Waldumbau in Fichtenbeständen</b> .....                                     | <b>40</b> |
| Manfred Schölch                                                                                                 |           |
| <b>Produktivitätsrelation zwischen Fichte und Fichte/Buche – Konsequenzen angesichts des Klimawandels</b> ..... | <b>44</b> |
| Hans Pretzsch                                                                                                   |           |
| <b>Vom Umgang mit Fichtenwäldern</b> .....                                                                      | <b>56</b> |
| Harald Husel                                                                                                    |           |
| <b>Waldschutz und Klimawandel – Wettlauf mit den Schädlingen?</b> .....                                         | <b>61</b> |
| Ralf Petercord                                                                                                  |           |
| <b>Natürliche Fichtenwälder im Klimawandel – hochgradig gefährdete Ökosysteme</b> .....                         | <b>70</b> |
| Stefan Müller-Kroehling, Helge Walentowski, Heinz Bußler und Christian Kölling                                  |           |
| <b>Vom Wissen zum Handeln</b> .....                                                                             | <b>86</b> |
| Alfons Leitenbacher, Stefan Theßenvitz und Carina Schwab                                                        |           |
| <b>Anschriftenverzeichnis der Autoren</b> .....                                                                 | <b>90</b> |



---

# Fichtenwälder im Klimawandel – Konsequenzen für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft

Günter Biermayer

Die Fichte ist mit fast 45 Prozent die am weitesten verbreitete Baumart in den Wäldern Bayerns. Noch mehr als nach der Fläche dominiert sie den Holzvorrat und die laufenden Nutzungen. Dass die Forstwirtschaft Bayerns im deutschen und europäischen Vergleich auch wirtschaftlich gut dasteht, dass der Cluster Forst und Holz in unserem Land hohe ökonomische Bedeutung hat, liegt nicht zuletzt an den zuwachsstarken Fichtenbeständen, die viele unserer Landschaften prägen. Der Vorsitzende des Waldbesitzerverbandes, Josef Spann, hat diese Bedeutung der Baumart und der mit Fichten gemischten Wirtschaftswälder für die Waldbesitzer klar herausgestellt.

Zur Einführung zeigte uns Franz Brosinger, der Waldbaureferent der Bayerischen Forstverwaltung, die Ausgangssituation und die möglichen Aussichten der Fichte auf. Mit der Fichte haben wir in Bayern Hochleistungswirtschaftswälder aufgebaut. Wir sind aber auch hohe Risiken eingegangen, die im Zuge des Klimawandels noch zunehmen werden. Wir haben deshalb die Verantwortung, den Wald für die kommenden Generationen vorausschauend zu gestalten. Dieser Waldbau ist eine langwierige und anspruchsvolle Aufgabe, die die Waldbesitzer herausfordert und ein hohes Maß an

Engagement und Investitionsbereitschaft voraussetzt. Anschließend gelang es Prof. Dr. Thomas Knoke von der Technischen Universität München (TUM), die wirtschaftlichen Chancen und Risiken für die Forstwirtschaft im Klimawandel zu verdeutlichen. Wichtig war sein Hinweis auf die Bedeutung der Annahmen für das Ergebnis von Modellrechnungen. Er stellte heraus, dass es mehr Reaktionsmöglichkeiten als nur verkürzte Produktionszeiten oder den gänzlichen Verzicht auf Fichten gibt. Sein Rat, sich beim Handeln unter Unsicherheit möglichst flexibel Optionen offen zu halten und nicht einseitig zu sein, ist sehr praxisgerecht. Bei der Bewertung der möglichen ökonomischen Verluste auf Grund des Klimawandels betonte er, dass die aktuellen Verlustquellen wegen fehlender Naturverjüngung und hoher Wildschutzkosten derzeit die ökonomischen Folgen des Klimawandels noch weit übersteigen. Betriebswirtschaftlich rechnen sich stabilisierende Durchforstung, frühzeitiger Voranbau und der Weg naturnaher Forstwirtschaft.

Der Schwerpunkt der Anpassung muss natürlich beim Einsatz wärme- und trockentoleranter heimischer Baumarten liegen. Trotzdem sind Alternativen gefragt. Dr. Bachmann von der LWF und Frau Dr. Konnert, Lei-



Abbildung 1: Buchensaat unter Fichte (Foto: F. Kroll)

terin des ASP, erläuterten die Suche und den ersten Zwischenstand der nötigen Anstrengungen, Gastbaumarten zu finden. Mit einem systematischen Verfahren wurden mögliche Baumarten nach Klima, forstwirtschaftlichem Nutzen und bestehenden Erfahrungen herausgefiltert. Mit ihnen sollen schließlich Versuchsanbauten unternommen werden. Es reicht aber nicht nur, die richtige Baumart zu finden, sondern auch die Herkunft muss passen. Problematisch bleibt, dass sich an der Notwendigkeit nichts ändert, auch im Klimawandel die Balance zwischen Anpassungsfähigkeit an jetzige Verhältnisse und Anpassungsfähigkeit an künftige Bedingungen zu wahren.

Viele Praktiker sind von der Meinungsvielfalt verunsichert. Welche Hilfen die Wissenschaft bei der Einschätzung der eigenen Lage bietet, erläuterte Dr. Kölling von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Er arbeitete den Handlungsbedarf und den systematischen Weg zu einem ständig verbesserten Instrumentarium klar heraus. Selbst bei einem moderaten Szenario wird der Anteil warmer Gebiete in Bayern von bisher 14 Prozent – also eher die Ausnahme – auf 84 Prozent steigen. Dies hat massive Folgen für die Eignung der Fichte. Das Risiko wird auf der Basis der heutigen Verbreitung der Fichte nach der Bundeswaldinventur eingeschätzt. Diese Erkenntnisse werden mit den Szenarioüberlegungen verschnitten und daraus Karten für die künftige landschaftliche und standörtliche Baumarteneignung erstellt. Bis diese Karten bayernweit flächendeckend vorliegen, werden den Beratern „Soforthilfen“ zur Risikoeinschätzung in Verbindung mit der bestehenden Standortkarte zur Verfügung gestellt.

Deutlich wurde auch, dass selbst bei allerhöchsten Anstrengungen Grenzen für die Anpassungsfähigkeit bestehen. Waldbesitzer sollten deshalb das globale Klimaschutzziel im höchsten Eigeninteresse unterstützen. Die Wissenschaft arbeitet hier trotz aller nötigen theoretischen Überlegungen nicht im Elfenbeinturm, sondern ist Tag für Tag von der Praxis gefordert. Jeder Waldbauer muss sich in der unsicheren Erkenntnislage jetzt entscheiden zwischen dem Zeitverlust, bis die bestehende Unsicherheit einigermaßen geklärt ist, und der Gefahr von Fehlentscheidungen, wenn er den Waldumbau sofort beginnt. Sinnvoller erscheint in dieser Lage, ohne Radikalmaßnahmen mit der Vorbeugung zu beginnen als einfach abzuwarten und damit alles noch lange Zeit dem Zufall zu überlassen. Mit Mischwäldern können Waldbesitzer die standörtliche Vielfalt nutzen und auf der Basis ihrer eigenen Risikoeinschätzungen den künftigen Waldaufbau steuern. Die jetzt verfügba-

ren Soforthilfekarten unterstützen die dazu nötige Beratung, solange flächendeckend überarbeitete Standortskarten noch nicht zur Verfügung stehen.

Die Erwartungen von Forstleuten und Waldbauern nach praktischer Hilfe richten sich aber nicht nur auf Ratschläge zur Wiederaufforstung von Kalamitätsflächen oder rechtzeitigen Vorbau künftiger Mischbaumarten. Für die Waldwachstumskunde zeigt uns Prof. Dr. Pretzsch von der TUM, welche Gesetzmäßigkeiten bei Mischbeständen aus Fichte und Buche zu beobachten sind. Je nach Standortqualität profitieren einmal die Fichten und einmal die Buchen in der Mischung. Insgesamt zeigen sich Mischbestände aber als leicht überlegen gegenüber benachbarten Reinbeständen. Eine praktische Botschaft aller dieser Erkenntnisse könnte sein, dass wir mit Mischbeständen aus Fichte und Buche insbesondere bei künftig ungünstigeren Bedingungen auf der sicheren Seite sind.

Auf den (Wald)-Boden der Tatsachen holte uns Harald Husel vom Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Kaufbeuren mit seinen Erfahrungen aus der Praxis zurück. Auch im Fichtenhochleistungsgebiet des Allgäus geht nicht alles von selbst. Die Ziele der Fichtenwirtschaft werden nur mit früh gepflegten, feiner-schlossenen und danach regelmäßig durchforsteten Beständen erreicht. Ob man hier mit klassischer Auslese-Durchforstung arbeitet oder mit dem neuen Konzept der Bayerischen Staatsforsten auf den langfristigen Übergang aus dem schlagweisen Hochwald in einen gemischten Dauerwald abzielt, bleibt der Entscheidung des Waldbesitzers vorbehalten.

Schließlich erläuterte Prof. Dr. Ammer von der Universität Göttingen erste Hypothesen, wie Pflege stabilisierend auf unsere noch lange vorhandenen Fichtenbestände wirken kann. Insbesondere zur Antwort auf die Frage, ob Durchforstung den sommerlichen Stress in Trockenjahren verringern kann, besteht noch Forschungsbedarf. Der Umbau mittels Pflanzung ist bewährt, Saaten setzen sehr professionelle Arbeit und günstige Ausgangsbedingungen voraus, der Wildfaktor entscheidet dabei über den Erfolg.

Waldbesitzer und Forstleute haben nicht zuletzt Informationsbedarf zum Waldumbau, da in vielen Landesteilen die Fichte sich vital und konkurrenzkräftig natürlich verjüngt. Hier dürfen wir uns aber nicht einfach zurücklehnen. Auf vielen Standorten findet sich schon bei schwacher Auflichtung Fichten-Naturverjüngung ein, oft umso üppiger, je schwächer eigentlich der

Standort ist. Wir sind gut beraten, wenn wir uns davon nicht blenden lassen. Wo heute Fichten-Sämlinge und Jungpflanzen ankommen, wachsen nicht unbedingt in einigen Jahrzehnten vitale Fichten-Baumhölzer.

Die Erfahrungen der letzten Jahre lassen befürchten, dass nicht in erster Linie physiologische Trockenheit, sondern die Borkenkäfer der Fichte die Grenzen setzen. Dr. Petercord von der LWF gab uns sehr farbig einen Überblick über die Schädlinge im Klimawandel und verdeutlichte dabei die Wichtigkeit des Waldschutzes. Wie das Monitoring belegt, begünstigen bestimmte Witterungslagen Borkenkäfer auf Grund des Temperaturanstiegs massiv. Seine Ausführungen beweisen uns, dass die Waldbesitzer trotz dieser Tatsache nicht wehrlos sind. Die altbekannten Mittel der Borkenkäfer-Vorsorge bieten – effektiv angewandt – weiterhin Chancen, dem Schädling entgegen zu wirken. Mut machen auch die Erfolge des Waldumbaus gegen die kleine Fichtenblattwespe. Trotz all dieser Anstrengungen des Monitoring und der Waldschutz-Vorsorge führt aber am Aufbau klimastabiler Wälder auch aus Waldschuttsicht kein Weg vorbei.

Wissenschaftliche Erkenntnis hat es schon in wissenschaftlichen Kreisen oft schwer genug. Das Wissen über Handlungsbedarf und -möglichkeiten muss aber an hunderttausende Waldbesitzer herangetragen werden. Aus dem Dialog zwischen MR Leitenbacher, der das Referat Privat- und Körperschaftswald im Staatsministerium führt, und Stefan Theßenvitz als Marketing-Profi wurde die Vielfalt von Ansprüchen und Sichtweisen deutlich. Besonders Stefan Theßenvitz machte uns mit seinem Hinweis auf den Faktor Mensch klar, dass gut gemeint noch nicht gut gemacht ist und wir die Botschaft „Es gibt kein weiter so!“ mit professionellen Mitteln transportieren müssen.

In einigen bayerischen Landschaften (und die bisher wuchskräftigsten wie etwa das Tertiärhügelland zählen dazu) profitierte die Fichtenwirtschaft von einem optimalen Verhältnis von Niederschlägen, Durchschnittstemperatur und nährstoffreichen wasserspeichernden Böden. Unter diesen Verhältnissen war die Fichte keine Katastrophenbaumart, als die sie oft verteufelt wurde. Bei guter Pflege boten Fichtenmischbestände in Süd- und Ostbayern bisher beste Chancen für eine in allen drei Dimensionen wirklich nachhaltige, ertragreiche Forstwirtschaft. Hier konnte die Fichte Brotbaum der Forstwirtschaft sein.



Abbildung 2: Die roten Nadeln zeigen den Borkenkäferbefall. (Foto: LWF)

Es ist deshalb allzu verständlich, dass skeptische Bewirtschafter in den bisherigen Gunsträumen der bayerischen Forstwirtschaft nur ungern Abschied nehmen von den bisher so angenehmen Verhältnissen. Damit wird die Überzeugungsarbeit von Mensch zu Mensch umso wichtiger. Nur anerkannte neutrale Berater, die sympathisch wahrgenommen werden, haben da eine Chance. Wir können und wollen niemand zu irgendetwas zwingen. Überzeugungsarbeit ist gefragt. Die Palette an Vorschlägen zur Zusammenarbeit hat mich beeindruckt.

Die Tagung „Fichte im Klimawandel“ trägt dazu bei, dass bei den forstlichen Akteuren nicht nur Betroffenheit entsteht, die lähmt. Sie gibt an vielen Stellen Anregungen zum Handeln. Der Klimawandel bedeutet nicht das Ende der bayerischen Forstwirtschaft, sondern er fordert diese zu besonderem Engagement heraus. Die angemessene Antwort kann nur lauten, die nachhaltige Forstwirtschaft und die Balance der drei Säulen der Nachhaltigkeit neu zu bestimmen. Die besondere Herausforderung dabei liegt in einer Vorsorge, die verhindert, dass der Wandel im Wald nur über die Kahlfäche stattfindet. Wir müssen uns im Klaren sein über die ho-

he Verletzlichkeit der bayerischen Wirtschaftswälder. Was bisher unser großer Vorteil war, wird jetzt in vielen Landschaften zur Achillesferse. Eine geordnete Bewältigung des Wandels setzt rechtzeitigen Beginn voraus. Vorsorge – Pflege und Vorbau – ist besser als Reparatur der Kalamität. Denn die Vorsorge hält den Stoffhaushalt geschlossen. Der Humus und seine Nährstoffe bleiben im Wald, der Kohlenstoff bleibt im Boden und im Bestand oder in den Holzprodukten statt als CO<sub>2</sub> in der Luft, der Stickstoff bleibt in der Vegetation statt als Nitrat im Grundwasser.

Ein wichtiger Erfolgsfaktor ist dabei, die Schalenwildbestände so anzupassen, dass das Aufkommen aller geeigneten Baumarten gesichert ist. Erfolgsmaßstab kann deswegen nicht ein prozentual scheinbar niedriger Fichtenverbiss, sondern nur das erfolgreiche Aufwachsen von Edellaubbäumen, Tannen und Eichen sein. Die Kunstverjüngung sollte sich auf im Altholz fehlende Baumarten beschränken können. Alle Waldbesitzer sollten in diesem Sinn mit ihren Jägern als Partnern einen guten Dialog führen, der die Jäger ihre Verantwortung erkennen lässt. Vor allem aber müssen wir denen Mut machen, die auf gutem Weg sind.

Vielstimmige Prognosen und Szenarien gaukeln uns zwar manchmal anderes vor, aber jeder von uns weiß, dass nicht nur beim Wetter, sondern auch in der Wissenschaft Vorhersagen ungewiss sind. Das heißt aber nicht, dass der Waldbau diese Unsicherheit jetzt nicht berücksichtigen sollte. Ganz im Gegenteil, im Wald können wir die Zukunft zwar nicht vorhersehen, aber wir haben die Chance, sie zu gestalten.

Die Botschaft für die Forstwirtschaft kann deshalb nur lauten: Vielfältig aufgebaute Wälder enden auch bei veränderten Lebensbedingungen nicht im Desaster. Mischbestände unterschiedlichen Aufbaus und Alters mit Verjüngungsvorräten unter Schirm verfügen über ein hohes Selbstheilungsvermögen bei schadensbedingten Störungen. Auch bei Kalamitäten entstehen keine großen Kahlflächen.



Abbildung 3: Fichtenholzpolter (Foto: LWF)

In diesen Mischwäldern arbeiten wir auch in Zukunft mit standortsgerechten Gastbaumarten und bringen Ökonomie, Ökologie und soziale Aspekte in die nötige Balance. Wir halten aber sinnvollerweise an Wäldern fest, die pfleglich bewirtschaftet werden, und schaffen nicht kurzlebige Holzäcker in Plantagenform, kaschiert mit ein paar Totalreservaten. Wirkliche Wälder sind dauerhafte Grundlage einer wettbewerbsfähigen Forst- und Holzwirtschaft aus eigenverantwortlichen Besitzern und lebensfähigen, am Markt bestehenden Unternehmen. Die Wissenschaft am Zentrum Wald-Forst-Holz hat die Aufgabe, diesen Anpassungsweg zu begleiten. Wir erheben jedoch nicht den Anspruch, letztgültige Wahrheiten zu verkünden. Wir haben heute gesehen, wo Forschungs- und Handlungsbedarf besteht. Es wurde deutlich, dass dank des bayerischen Klimaprogramms und der vom Bayerischen Landtag zur Verfügung gestellten Mittel mit hohem Einsatz hier am Zentrum Wald-Forst-Holz Weihenstephan für Wald und Waldbesitzer in Bayern gearbeitet werden kann.

# Die Fichte im Wandel

Franz Brosinger und Simon Östreicher

**Schlüsselwörter:** Fichte, *Picea abies*, Waldbau, Klimawandel, Waldumbau

**Zusammenfassung:** Die Fichte ist mit einer Anbaufläche von über einer Million Hektar und einem Anteil von 45 Prozent heute die bedeutendste Baumart in Bayern. Sie bildet das wirtschaftliche Rückgrat der bayerischen Forst- und Holzwirtschaft. Der Anbau der Fichte außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes war aber schon immer mit hohen Risiken verbunden, die sich im Zuge des Klimawandels noch deutlich erhöhen werden. Für die bayerische Forstwirtschaft stellen sich deswegen folgende Fragen: Mit welchen waldbaulichen Konzepten können wir auf die steigenden Risiken reagieren? Welche Rolle spielt die Fichte künftig in Bayerns Wäldern? Die Bayerische Forstverwaltung setzt mit einer naturnahen Waldwirtschaft auf einen konsequenten Waldumbau. Vor allem auf Risikostandorten müssen Fichtenreinbestände großflächig in klimatolerante, stabile und standortgerechte Mischwälder umgebaut werden. Dennoch wird die Fichte auch künftig eine bedeutende Baumart in Bayern bleiben.

## Geschichte und Bedeutung der Fichte in Bayern

Die Fichte ist eine Baumart der nördlichen Nadelwaldzone und der höheren Gebirgslagen; Bayern liegt am Rand ihrer natürlichen Verbreitungsgrenze in Europa. Ursprünglich war die Fichte mit nur insgesamt mäßigen Flächenanteilen hauptsächlich in den Alpen und den Mittelgebirgen vertreten. Wie kommt es also dazu, dass die Fichte heute knapp 45 Prozent der bayerischen Waldfläche einnimmt (LWF 2005)?

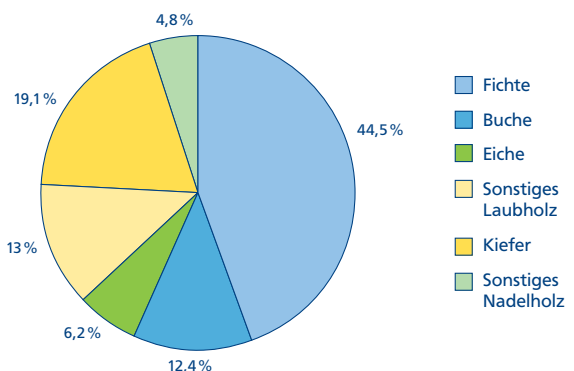
Die Fichte weist viele Vorteile auf. Sie ist robust bei der Kulturbegründung, besitzt hohe Zuwächse und ihr vielseitig verwendbares Holz machte sie zum „Lieblingsbaum“ der Waldbesitzer und Förster. Die vom Menschen geförderte Ausbreitung der Fichte begann vor über 200 Jahren. Die Wälder waren damals vielfach auf Grund von Waldweide und intensiver Holznutzung devastiert. Die schnellwachsende und ertragreiche Fichte wurde als die ideale Baumart gesehen, um die befürchtete Holznot zu überwinden. In Zeiten der aufkommen-

den Industrialisierung und des Wirtschaftsliberalismus trug auch die Bodenreinertragslehre massiv dazu bei, dass der Fichtenanteil weiter zunahm. Bereits um 1900 erreichte die Fichte in Bayern ähnliche Flächenanteile wie heute (Borchert 2007).

Schon früh gab es Forstleute, die vor einer einseitigen Ausrichtung des Waldbaus warnten. An erster Stelle steht Karl Gayer, der eindringlich auf die Gefahren hinwies, die mit der Abkehr von Mischwäldern verbunden sind. Neben diesem Vordenker einer naturnahen Forstwirtschaft sind noch andere Namen wie Karl Rebel, Konrad Rubner oder Josef Köstler zu nennen.

Politische und wirtschaftliche Entwicklungen verhinderten jedoch wiederholt die Umsetzung ihrer Ideen. Beispielsweise führten Kahlschläge zu Kriegszeiten und für Reparationen weiterhin zu großflächigen Fichtenkulturen. Auch die steigenden Wilddichten trugen wesentlich dazu bei, dass die weniger verbissemphindlichen Fichten die ursprünglich dominierenden Buchen, Eichen und Tannen vielfach verdrängten. Der endgültige Durchbruch zu einer naturnahen Forstwirtschaft gelang erst, als sich in den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts ein stärkeres Umweltbewusstsein entwickelte und sich die Anforderungen unserer Gesellschaft an den Wald grundlegend wandelten. Seinen Niederschlag fand diese Veränderung im Waldgesetz für Bayern von 1975. Ab diesem Zeitpunkt wurden wieder vermehrt Laubbäume in die Wälder eingebracht sowie

**Baumartenanteile in Bayern**



**Abbildung 1: Baumartenverteilung in Bayern**  
(Quelle: LWF 2005, BWI II)

mit dem Umbau nicht standortgerechter Nadelholzreinbestände begonnen.

Der heutige Zustand der Wälder ist also stark von den historischen Entwicklungen geprägt. Die Zweite Bundeswaldinventur (2002) weist die Fichte mit 1,06 Millionen Hektar als die dominierende Baumart in Bayern aus. Gegenüber der Ersten Bundeswaldinventur (1987) ist damit ein leichter Rückgang von etwa 60.000 Hektar zu verzeichnen. Dies ist im Wesentlichen auf die Wiederaufforstung der nach Sturmwurf und Borkenkäferbefall entstandenen Kahlfächen mit standortsgerechten Laubbaumarten zurückzuführen. Die Fichte spielt für die bayerische Forstwirtschaft eine wichtige Rolle, das zeigt auch ihr hoher Anteil von 523 Millionen Volumenfestmetern (54 Prozent) am Holzvorrat sowie am Holzeinschlag in Bayern. Die „Holzartengruppe Fichte“, die in geringen Teilen auch Tannen- und Douglasienholz enthält, erreichte in den letzten fünf Jahren regelmäßig über 70 Prozent des Gesamteinschlags. Im Spitzenjahr 2006 wurden in Bayern circa 17 Millionen Festmeter Fichte geerntet. Allerdings ging der Einschlag zu einem erheblichen Teil auf die Aufarbeitung von Sturmwurf- und Borkenkäferholz zurück. Beispielsweise lag im bayerischen Staatswald der außerplanmäßige Anteil am Fichteneinschlag in den letzten zehn Jahren durchschnittlich bei etwa 50 Prozent (Bayerische Staatsforsten 2009).

### Die Fichte als Risikobaumart

Schon früh zeigte sich, dass Fichtenreinbestände ein hohes Anbaurisiko aufweisen. In den Jahren von 1890 bis 1894 zum Beispiel fraßen die Raupen der Nonne die Fichtenwälder um München kahl. Auch Sturmereignisse verursachten immer wieder regelmäßig große Schadholzmengen (Majunke 2008).

Erst die großflächigen Schadereignisse der letzten zwei Jahrzehnte verdeutlichten allerdings das wahre Ausmaß der Anfälligkeit der Fichte gegenüber Stürmen und Borkenkäferbefall. „Jahrhundert-Orkane“ wie Vivian/Wiebke, Lothar und Kyrill fegten in kurzen Abständen über unser Land und zeigten den Waldbesitzern deutlich, wo Fichtenreinbestände nicht standortgemäß sind. Begünstigt von den Sturmwürfen und trocken-warmen Jahren breiteten sich die Fichtenborkenkäfer Buchdrucker und Kupferstecher immer wieder massiv aus und verursachten jährlich enorme Schäden (Abbildung 5). Bemerkenswert und besorgniserregend ist das anhaltend hohe Niveau der Schäden seit dem Jahrhun-

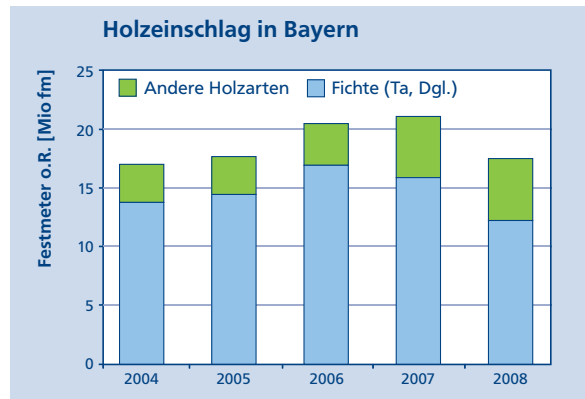


Abbildung 2: Holzeinschlag in Bayern  
(Quelle: Bayerische Forstverwaltung)

dertsommer 2003. Im Gegensatz zum klassischen Verlauf von Käfergradationen wie zum Beispiel nach den Sturmwürfen von 1990 sind die Schadholzanfälle seit-her nur gering zurückgegangen.

Die Schadursachen – extreme Wetterereignisse wie Orkane, Gewitterstürme und warm-trockene Sommer – werden mit weiterem Voranschreiten des Klimawandels immer häufiger vorkommen. In den letzten 20 Jahren verzeichnete der Deutsche Wetterdienst neun der zehn wärmsten Jahre seit 1901 (Deutscher Wetterdienst 2009). Auch die Jahre 2007 und 2008, die wir als vermeintlich normal empfunden haben, liegen in dieser Spitzengruppe. Wie massiv sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten ändern wird, kann heute niemand mit Sicherheit voraussagen. Die günstigsten Szenarien gehen von einer globalen Erwärmung von knapp zwei Grad bis zum Jahr 2100 aus, die ungünstigsten prognostizieren vier Grad (IPCC 2007).

Von den Waldbäumen wird sich in Bayern gerade unsere „Brotbaumart“ Fichte mit dem Klimawandel schwer tun. Als subalpine und boreale Baumart ist sie an eher kühle Klimabedingungen angepasst. Bereits jetzt wächst sie in den wärmeren Teilen Bayerns in ihrem klimatischen Randbereich (Kölling 2007). Gerade hier wird die Fichte noch anfälliger für Schädlinge wie dem Borkenkäfer werden, vor allem auf Standorten mit geringer Wasserverfügbarkeit, auf denen sie leicht in Trockenstress gerät.

Einen Blick auf das künftige Klima in Bayern gewährt die aktuelle Situation im westlichen Mittelfranken, einer Region mit bereits heute relativ warmem und trockenem Klima. Auf Grund einer Massenvermehrung von Buchdrucker und Kupferstecher wurden dort die Fich-



Abbildung 3: Fichtenholz bildet das wirtschaftliche Rückgrat der bayerischen Forstwirtschaft. (Foto: S. Östreicher)



Abbildung 4: Die flachwurzelnde Fichte ist stark windwurfgefährdet. (Foto: S. Östreicher)

tenbestände massiv geschädigt und die Fichte fiel großflächig aus. Sorge bereiten die immer kürzer werdenden Abstände zwischen den einzelnen Schadereignissen auf den Risikostandorten und das immer geringere Alter der betroffenen Bestände. Es ist abzusehen, dass auf solchen Standorten mit der Fichte keine geregelte Forstwirtschaft mehr möglich sein wird.

## Die Zukunft der Fichte in Bayern

Wie können die Waldbesitzer auf die bei der Fichte zu erwartenden Probleme reagieren? Das ist eine der wichtigsten, wenn nicht die wichtigste Frage für die bayerische Forstwirtschaft in den nächsten Jahren. Verschiedene Seiten schlagen Lösungen vor, beispielsweise:

### Weiter machen wie bisher

Viele Waldbesitzer meinen, dass die Klimaexperten mit ihren Prognosen übertreiben. „Das mit der Fichte ist bisher gut gelaufen. Warum sollen wir unsere Wirtschaftsweise ändern, die sich schon beim Großvater und Vater bewährt hat.“ Meist fehlen diesen Waldbesitzern einschlägige Erfahrungen, denn die Waldbesitzer, deren Wälder flächig von Stürmen und Borkenkäfern vernichtet wurden, denken anders.

### Umtriebszeiten stark verkürzen

Vertreter eines sehr rationalisierten Bewirtschaftungsmodells wollen mit niedrigeren Baumhöhen unter anderem das Risiko für Sturmwurf mindern. Die „Kurzumtriebs-Konzepte“ orientieren sich allein an wirtschaftlichen Interessen und stehen einer plantagenartigen

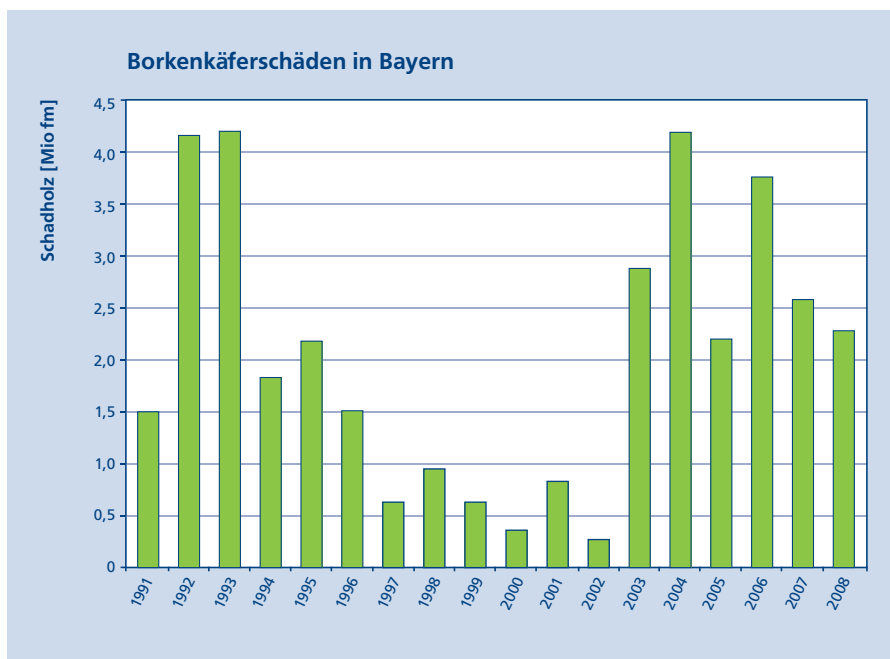


Abbildung 5: Borkenkäferschäden in Bayern  
(Quelle: Bayerische Forstverwaltung)

Wirtschaftsweise nahe. Das Modell hat nichts mit naturnaher Waldwirtschaft zu tun, wie sie das Waldgesetz für Bayern fordert. Außerdem akzeptiert der überwiegende Teil der Bürger das Modell nicht.

## Die Fichte weitgehend und schnell beseitigen

Teile des Naturschutzes und einige Wissenschaftler vertreten die These, dass die Fichte außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes bisher schon fehl am Platze war. Standortswidrige Fichtenbestände sollten daher schnellstmöglich – egal ob sie erntereif sind oder nicht – in Laubwälder umgewandelt werden. Das Vorgehen wäre auf größerer Fläche nicht praktikabel und lässt sich auch wirtschaftlich nicht vertreten.

Ob eines der drei Modelle der waldbaulichen Herausforderung gerecht wird, die bayerischen Wälder möglichst gut an das künftig zu erwartende Klima anzupassen, ist zu bezweifeln. Deswegen verfolgt die Bayerische Forstverwaltung eine auf die jeweilige Bestandessituation abgestimmte Herangehensweise (Brosinger 2007). Je nach Risiko, das vor allem von Standort, Bestandesalter und Mischungsform abhängt, muss unterschiedlich schnell und intensiv vorgegangen werden. Besonders anfällige Nadelholzreinbestände beispielsweise sind vordringlich und flächig in stabile und klimatolerante Mischwälder umzubauen. Bayern ist hier mit der naturnahen Forstwirtschaft bereits auf einem guten Weg (LWF 2003), aber in Zeiten des Klimawandels müssen die Bemühungen noch deutlich gesteigert werden. Die rasche Anpassung der Wälder an die sich verändernden Wuchsbedingungen und Gefahren stellt eine gewaltige

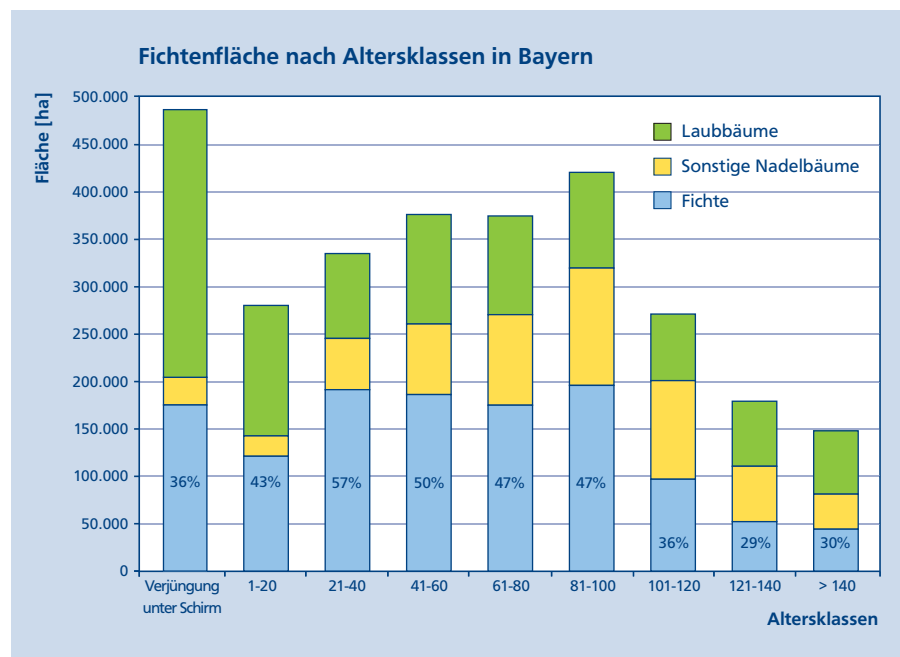
Herausforderung dar. Allein im Privat- und Körperschaftswald wachsen in warm-trockenen Gebieten auf etwa 260.000 Hektar Fichtenreinbestände, die vordringlich umzubauen sind.

Der Waldumbau sollte künftig nicht nur darin bestehen – wie derzeit in der Regel leider üblich – Schadflächen wiederaufzuforsten, sondern soll möglichst mit einer vorsorgenden und planmäßigen Waldwirtschaft erreicht werden. Die Bayerische Forstverwaltung empfiehlt:

- Junge und mittelalte Fichtenbestände regelmäßig und konsequent zu pflegen; mit Hilfe einer früh einsetzenden Durchforstung entwickeln sich die Einzelbäume stabiler und bilden eine vitale, große Krone aus, die sie widerstandsfähiger gegenüber Schadereignissen macht;
- alle sich bietenden Möglichkeiten einer Naturverjüngung aus standortsgemäßen Mischbaumarten zu nutzen; in Altbeständen frühzeitig die Verjüngung einzuleiten und dafür rechtzeitig Buche und Tanne voranzubauen; auf Risikostandorten kann „frühzeitig“ bereits ab einem Alter von 50 Jahren oder noch früher bedeuten.

Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Waldumbau sind angepasste Schalenwildbestände. Nur wenn der forst- und jagdpolitisch Grundsatz „Wald vor Wild“ konsequent umgesetzt wird, können Laubhölzer sowie leistungsstarke und hochproduktive Nadelbaumarten wie Tanne und Douglasie, die wir auch künftig brauchen und wollen, ohne teure Schutzmaßnahmen eingebracht werden. Die Forstlichen Gutachten zur Situation der Waldverjüngung der letzten Jahre zeigen, dass

Abbildung 6: Fichtenfläche nach Altersklassen in Bayern  
(Quelle: LWF 2005, BWI II)



in vielen Regionen Bayerns eine angepasste Schalenwilddichte leider noch nicht erreicht ist. Die Waldbesitzer als Jagdgenossen und vor allem die Jäger sind hier künftig verstärkt gefordert. Darüber hinaus rät die Bayerische Forstverwaltung, die Fichtenborkenkäfer konsequent zu bekämpfen, denn jede neue Schadfläche erschwert ein planmäßiges Vorgehen beim Waldumbau und sollte wann immer möglich vermieden werden.

Der notwendige Waldumbau bedeutet aber keine völlige Abkehr von der Fichte. Sie wird in Mischbeständen und auf geeigneten Standorten auch in Zukunft eine wichtige Rolle für die Forst- und Holzwirtschaft in Bayern spielen. Ein Blick auf die Altersklassenverteilung der Baumarten in Bayern (Abbildung 6) zeigt, dass der Anteil der Fichte in der Altersklasse bis 20 Jahre und in der Vorausverjüngung gegenüber den älteren Beständen zwar deutlich abnimmt, aber immer noch fast 300.000 Hektar umfasst. Die mittelalten Bestände mit Fichtenanteilen von über 50 Prozent werden erst in einigen Jahrzehnten erntereif sein und zur Verjüngung anstehen. Auf Grund ihrer hohen Flächenanteile in den jüngeren und mittelalten Beständen wird die Fichte auch in den nächsten Jahrzehnten noch das wirtschaftliche Rückgrat der Forstwirtschaft in Bayern bilden. Daher sind Sorgen, dass sich in Bayern in absehbarer Zeit das Angebot von Fichtenholz merklich vermindern wird, unbegründet.

### Staatliche Hilfe für bayerische Waldbesitzer

Der Waldumbau erfordert ein hohes Maß an Engagement und Investitionsbereitschaft der Waldbesitzer. Die Bayerische Forstverwaltung unterstützt die Waldbesitzer dabei, indem sie eine kompetente, objektive und kostenfreie Beratung sowie finanzielle Förderprogramme (u. a. im Rahmen des Klimaprogramms 2020) anbietet. Erste Erfolge sind bereits zu erkennen. Allein im Jahr 2008 förderte der Freistaat Bayern im Privat- und Körperschaftswald 7.000 Hektar Umbaufläche finanziell, im Staatswald wurden zusätzlich 6.600 Hektar Umbaufläche verwirklicht.

Bayern ist damit auf einem guten Weg, aber angesichts der großen Flächen mit reinen Fichtenbeständen müssen die Bemühungen noch weiter verstärkt werden. Die Verantwortung für die nachfolgenden Generationen erfordert von Waldbesitzern und Forstverwaltung, die Zukunft und den Wald vorausschauend und aktiv zu gestalten. Die Weichen müssen heute dafür gestellt werden, dass die bayerischen Wälder auch in Zukunft alle gesellschaftlichen Bedürfnisse umfassend erfüllen können.

### Literatur

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2003): *Der Wald für morgen*. LWF Wissen Nr. 39, Freising, 79 S.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2005): *Die zweite Bundeswaldinventur 2002*. LWF Wissen Nr. 49, Freising, 102 S.

Bayerische Staatsforsten (2009): *Waldbauhandbuch Bewirtschaftung von Fichten- und Fichtenmischbeständen im bayerischen Staatswald*. 81 S.

Borchert, H. (2007): *Veränderung des Waldes in Bayern in den letzten 100 Jahren*. LWF Wissen Nr. 58, Freising, S. 42 ff.

Brosinger, F.; Tretter, S. (2007): *Waldbau im Zeichen des Klimawandels*. LWF aktuell 60, Freising, S. 21 ff.

Deutscher Wetterdienst (2009): *Zahlen und Fakten zur DWD-Presskonferenz am 28. April 2009 in Berlin*, 22 S.

Intergovernmental Panel of Climate Change (2007): *Climate Change 2007*. Synthesis Report, 73 S.

Kölling, C.; Zimmermann, L.; Walentowski, H. (2007): *Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? Entscheidungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern*. AFZ 11, S. 584 ff.

Majunke, C.; Matz, S.; Müller, M. (2008): *Sturmschäden in Deutschlands Wäldern von 1920 bis 2007*. AFZ 7, S. 380 f.

**Keywords:** Norway Spruce, Picea abies, silviculture, climate change

**Summary:** With 1 million hectares area Norway Spruce is the most important tree species in Bavaria. But it was always also a species with high risks like windthrows and bark beetle calamities. These risks will increase considerably due to climate change. Bavarian forest owners have to react actively to these threatening changes. Monocultures of Norway Spruce should be therefore enriched by tree species which are better adapted to higher temperatures and droughts in order to grow resilient mixed forests. These efforts of the forest owners are substantially supported by the Bavarian Government.

---

# Die ökonomische Zukunft der Fichte

Thomas Knoke

**Schlüsselwörter:** Fichte, Umtriebszeit, Unsicherheit, Baumartenwahl, Klimaänderung

**Zusammenfassung:** Die Fichte ist aus ökonomischer Sicht der wichtigste Wirtschaftsbaum Bayerns. Gerade die Fichte gilt aber vor dem Hintergrund des Klimawandels als besonders anfällige Baumart. Der vorliegende Beitrag geht daher, basierend auf existierenden Arbeiten, auf ökonomische Aspekte einer zukünftigen Fichtenwirtschaft ein. Werden zukünftige Risiken (Sturm, Schnee, Insekten, Holzpreisschwankungen) berücksichtigt, zeigen finanziell gestützte Kalkulationen, dass die Fichte bei sinkenden Überlebenswahrscheinlichkeiten an Fläche verliert. Dennoch behält diese Baumart einen erheblichen Flächenanteil, wenn Alternativbaumarten, wie z.B. die Douglasie, nur unter hohen finanziellen Aufwendungen eingebracht werden können. Daher kommt es darauf an, Produktionskonzepte zu entwickeln, die zukünftige Risiken berücksichtigen. Eine Absenkung der Umtriebszeit in bestehenden oder zukünftigen Fichtenbeständen führt zwar zu höheren finanziellen Erträgen, aber auch zu einem Anstieg des finanziellen Risikos. Eine Überführung von Fichtenbeständen in ungleichaltrig aufgebaute Fichten-Tannen-Bestände ist auf vielen Standorten eine Alternative zur Absenkung der Umtriebszeit. Die Überführung kann die Erträge steigern und gleichzeitig das finanzielle Risiko absenken. Für die zukünftigen Fichtenbestände empfiehlt sich eine gruppenweise Beimischung von Laubholz auch vor finanziellem Hintergrund. Stabilisierungseffekte steigern die finanziellen Erträge dieser Bestände im Vergleich zu reinen Fichtenbeständen, während das Risiko deutlich sinkt. Eine Analyse der Baumartenwahl unter Annahme einer nur bedingt möglichen Risikoeinschätzung der Baumarten hat darüber hinaus gezeigt, dass Handeln selbst dann vernünftig ist, wenn man die Eignung der Baumarten unter geändertem Klima noch nicht treffend einschätzen kann. In einer solchen Situation bieten sich ausgewogene Baumartenmischungen an (z.B. 1/2:1/2 oder 1/3:1/3:1/3). Eine abschließend behandelte Analyse möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf von Fichten dominierte Forstbetriebe machte deutlich, dass Verluste auf Grund fehlender Naturverjüngung bzw. notwendig werdende Zäunungen die (kurzfristigen) finanziellen Auswirkungen des Klimawandels u.U. erheblich übertreffen können. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Belastungen der Forstbetriebe wä-

re es sinnvoll, deren finanzielle Dimensionen auszuweisen. Auf diese Weise könnte ein sachlich abgestützter gesellschaftlicher Diskussionsprozess darüber in Gang gesetzt werden, was den Forstbetrieben in Zukunft zugemutet werden kann und soll.

---

Fast die Hälfte der Waldfläche Bayerns (45 Prozent) nimmt die Fichte ein (Brosinger und Tretter 2007). Als „Brotbaum“ der bayerischen Forstwirtschaft hat die Fichte eine enorme Bedeutung, sie gilt aber gleichzeitig unter den Vorzeichen des Klimawandels als besonders anfällige Baumart (Kölling et al., 2009). Vor diesem Hintergrund befasst sich der vorliegende Beitrag mit:

- der Rolle der Fichte bei sinkender Überlebenswahrscheinlichkeit,
- Produktionszeiten und Behandlungsstrategien für Fichte,
- kleinflächigen Beimischungen zur Fichte,
- Fichtenanteilen bei schwerwiegender Unsicherheit und einer Einordnung der möglichen (kurzfristigen) finanziellen Konsequenzen des Klimawandels für von Fichten dominierte Betriebe.

Dazu wird auf bereits existierende Studien zurückgegriffen, die zu einem großen Teil im Rahmen von Doktorarbeiten am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München entstanden sind.

## Die Rolle der Fichte bei sinkenden Überlebenswahrscheinlichkeiten

Es liegt auf der Hand, dass wir in Zukunft nicht völlig auf die Fichte verzichten können. Wenn eine Naturverjüngung mit Fichte möglich ist, während Alternativbaumarten gepflanzt werden müssen, kann ein allzu konsequenter Ersatz der Fichte sehr teuer und im Zweifel unwirtschaftlich sein. Dies konnte bereits exemplarisch im Rahmen eines betriebswirtschaftlichen Leistungsvergleiches zwischen Fichte und Douglasie gezeigt werden (Heidingsfelder und Knoke 2004). Mit Hilfe der Portfolio-Optimierung ist es nun möglich, optimale Mischungen von Baumarten abzuleiten und die Wirkung

erhöhter Risiken bei Fichte auf die optimale Baumartenzusammensetzung abzuleiten (z.B. Beinhofer 2009).

Die Portfolio-Optimierung macht sich den in der Finanzwelt geprägten Grundsatz „Wer streut, rutscht nicht!“ zu Nutze. Verschiedene Baumarten unterliegen unterschiedlichen naturalen Risiken und ihr Holz wird auf verschiedenen Holzmärkten abgesetzt. Die Wirksamkeit der Diversifizierung hängt vom Grad der Unterschiedlichkeit der Baumarten in Bezug auf ihre Risiken und ihr Holz ab (Knoke und Hahn 2007). Baumartenmischung führt unter Umständen zu einer wirksamen Diversifikation, mit der wir angestrebte Erträge bei deutlich gesenktem Risiko erreichen oder bei akzeptiertem Risiko unsere Erträge steigern können.

Beinhofer (2009) hat in seiner Dissertation Baumartenportfolios mit mehr als zwei Baumarten abgeleitet, die – bei entsprechender Erweiterung des Ansatzes, z.B. um standörtliche Aspekte – als ein Anhalt für großflächige Allgemeine Bestockungsziele dienen könnten. In einem Projekt zur Beteiligung der Douglasie in solchen Baumartenportfolios (Beinhofer und Knoke, in Vorbereitung) ging Beinhofer beispielhaft davon aus, dass ein vordefinierter Jahresertrag (hier 145 Euro pro Hektar und Jahr) mit einem minimalen Risiko erreicht werden sollte, wobei er eine Zinsforderung von drei Prozent unterstellte. Ein Jahresbetrag von 145 Euro pro Hektar

(Euro/ha) könnte z.B. zur Deckung von Verwaltungsausgaben verwendet werden. Für die Interpretation der Kalkulation ist zu beachten, dass lediglich die Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie, Buche und Eiche getestet wurden. Natürlich hätten sicherlich auch andere Baumarten noch substantielle Anteile, hier besteht noch Forschungsbedarf.

Unter diesen Randbedingungen wurde ermittelt, wie sich eine Zunahme der Risiken für die Fichte auswirken würde, die mit Hilfe einer Absenkung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der Fichte simuliert wurde (Abbildung 1). In einem Portfolio mit moderatem Risiko der Fichte würde deren Anteil circa 45 Prozent ausmachen, während die Annahme absinkender Überlebenswahrscheinlichkeiten für die Fichte ihren Anteil um etwa zehn Prozentpunkte vermindern würde. Die Douglasie profitiert in dem Portfolio mit abgesenkter Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichte. Dennoch entfällt auch bei deutlich erhöhtem Risiko der Fichte weiterhin ein erheblicher Flächenanteil auf diese Baumart, wenn die Möglichkeit der Naturverjüngung besteht. Interessanterweise deuten die dargestellten Baumartenportfolios auch auf die Möglichkeit einer wirksamen Produktdiversifikation hin. Mit Hilfe der Astung von Nadelholz entsteht ein weiteres Produkt, dessen Holzpreisentwicklung weitgehend von derjenigen für normales Holz abgekoppelt ist. Circa die Hälfte des Flä-

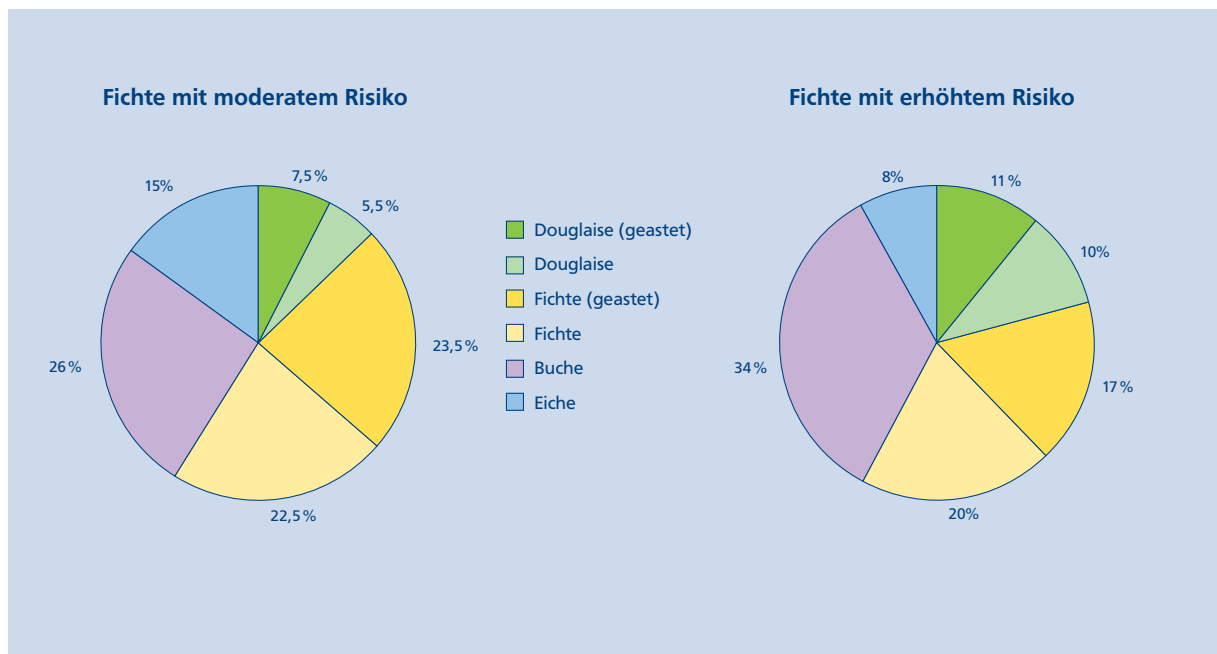


Abbildung 1: Wirkung reduzierter Überlebenswahrscheinlichkeiten der Fichte auf optimale Baumartenportfolios (Fichte mit moderatem Risiko links, Fichte mit erhöhtem Risiko rechts, Beinhofer und Knoke, in Vorbereitung)

chenanteils sowohl der Fichte als auch der Douglasie entfällt daher in einem optimierten Baumartenportfolio auf Bestände mit Astung.

## Produktionszeiten und Behandlungsstrategien

Wir haben gesehen, dass die Fichte auch in Zukunft eine unserer wichtigen Baumarten bleiben wird. Nun stellt sich die Frage, ob wir Maßnahmen auf der Bestandesebene treffen können, um das ohnehin schon hohe und in Zukunft sogar gesteigerte Risiko der Fichtenwirtschaft zu dämpfen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass insbesondere ältere Fichtenbestände anfällig gegen Windwurf und -bruch sowie Borkenkäferbefall sind. Je älter die Fichten sind, desto größer fallen auch deren Baumhöhen aus. Hohe Bäume kann der Wind auf Grund der physikalischen Hebelgesetze leichter umwerfen (oder brechen) als niedrige. Auf Grund dieser Umstände werden in jüngerer Zeit die Auswirkungen reduzierter Produktionszeiten diskutiert.

Eine Reduktion der Umtriebszeit kann tatsächlich die Ertragssituation der Fichte verbessern, wie Beinhofer (im Druck) zeigte (Abbildung 2). Er kommt im Zuge der Betrachtung eines Einzelbestandes für eine Fichten-Produktionszeit von 100 Jahren auf einen jährlichen Ertrag<sup>1</sup> von 73 Euro/ha. Dagegen wurden bei einer Senkung der Umtriebszeit auf 50 Jahre 104 Euro/ha/J erreicht. Dies entspricht einem Plus von circa 30 Prozent. Allerdings führte die Absenkung der Umtriebszeit zu einem Anstieg der Streuung der kalkulierten Erträge, die mit Hilfe sehr oft wiederholter Szenariorechnungen unter schwankenden Holzpreisen und simulierten Bestandsausfällen abgeleitet wurden. Eine Zunahme der Streuung der Erträge – die Standardabweichung stieg von  $\pm 24$  (U=100 J) auf  $\pm 51$  (U=50 J) – muss als ein gestiegenes finanzielles Risiko gewertet werden.

Eine Absenkung der Umtriebszeit ist nicht die einzige Maßnahme, die zu einer Erhöhung der Erträge der Fichte führt. Eine ältere Studie hat gezeigt, dass auch eine früh einsetzende Überführung eines gleichaltrigen Fichtenbestandes in einen ungleichaltrigen Fichten-Tannen-Bestand (Alter des Fichtenbestandes circa 40 Jahre, Knoke et al. 2001) die Ertragssituation erheblich verbessern kann (Abbildung 2). Die im Rahmen der Überführung schon früh eingehenden finanziellen Überschüsse erhöhen die Rentabilität. Diesen Befund bestätigen viele andere internationale Studien (Knoke 2009). Neben der Erhöhung der Rentabilität kommt es zu einem das finanzielle Risiko senkenden Effekt. Die

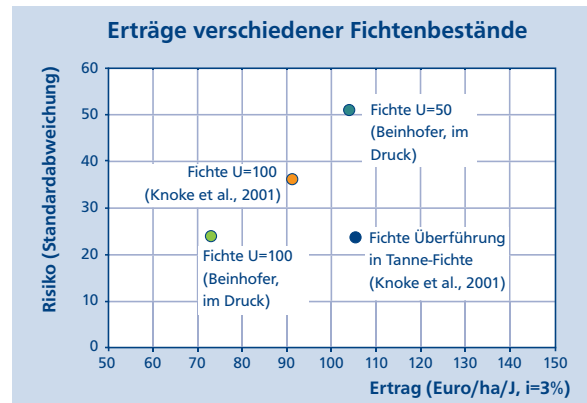


Abbildung 2: Jährliche Erträge (kalkuliert als Annuitäten von Kapitalwerten der Baumarten bzw. Strategien) und deren Standardabweichung für verschieden behandelte Fichtenbestände (nach Beinhofer, im Druck, sowie Knoke et al. 2001)

finanziellen Überschüsse werden auf viele Eingriffe verteilt, während im Rahmen der konventionellen Bewirtschaftung über 80 Prozent der Überschüsse im Rahmen der Endnutzung erlöst werden. Die Konzentration der Überschüsse auf nur einen oder wenige Eingriffe führt in der Tendenz zu einer höheren Streuung der Gesamtüberschüsse (bzw. Kapitalwerte), wogegen eine Verteilung auf viele Eingriffe Streuung kompensiert. Nicht zu jedem Eingriffszeitpunkt ist der Holzpreis niedrig, vielmehr ist er zeitweise hoch, zeitweise niedrig, manchmal durchschnittlich. Eine Verteilung der Überschüsse auf viele Zeitpunkte stabilisiert daher die Gesamtüberschüsse oder Kapitalwerte.

Anders als eine auf vielen Eingriffen basierende Überführung in einen naturnahen Wald zeichnet sich die Reduktion der Umtriebszeit durch eine Verminderung der Zahl der Eingriffe aus, im Zweifel entfallen Durchforstungen gänzlich. Damit ist es plausibel, dass Beinhofer (im Druck) höhere Streuungen und folglich auch ein größeres finanzielles Risiko bei niedrigerer Umtriebszeit findet. Wir können folgern, dass die pauschale Reduktion der Umtriebszeit sicherlich kein Allheilmittel ist. Naturnahe Strategien, die Risiken abpuffern und zu-

<sup>1</sup>Der Jahresertrag ergibt sich hier als Annuität des Kapitalwertes eines Fichtenbestandes (der Kapitalwert ist die Summe aller auf den Zeitpunkt zu Bewertungsbeginn abgezinsten Ein- und Auszahlungen). Die Annuität ( $a$ ) steht über folgende Formel mit dem Kapitalwert ( $K_0$ ) im Zusammenhang:  $a(K_0, i, T) = K_0 \cdot i \cdot \frac{(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$ . Als weitere Größen sind  $i$  (Zinsrate

als Dezimalzahl, z.B. 0,03) und  $T$  (Betrachtungsperiode, hier die Umtriebszeit) enthalten.

dem zu Beständen mit „klimastabilen“ Baumarten, wie z.B. der Tanne, führen, können eine überlegene Alternative darstellen, die gleichzeitig die Rentabilität erhöht und die finanziellen Risiken dämpft.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, wie stark die Ergebnisse ökonomischer Bewertungen von den getroffenen Annahmen abhängen. Während die ältere Studie (Knoke et al. 2001) auf Grund einer optimistischen Einschätzung der zukünftigen Holzpreise unter sonst vergleichbaren Annahmen zu einem Jahresertrag der Fichte ( $U=100$  J) von 91 Euro/ha ( $\pm 36$ ) kam, waren es bei Beinhofer (im Druck) nur 73 Euro/ha ( $\pm 24$ ). Niemand kann aber die Zukunft vorhersagen. Vor diesem Hintergrund sollte man sich vor allzu weitgehenden Schlussfolgerungen aus ökonomischen Studien hüten, insbesondere, wenn man nur ein einziges Szenario betrachtet hat. Forstökonomische Studien sollen vielmehr helfen, die Randbedingungen herauszuarbeiten, unter denen bestimmte forstliche Handlungen vorteilhaft bzw. unvorteilhaft sind und in diesem Sinne Entscheidungshilfe, aber nicht Entscheidungsvorgabe sein.

### **Kleinflächige Beimischungen von Buchen in Fichtenbeständen**

Kleinflächige, beispielsweise gruppenweise Beimischungen von Laubholz stellen eine weitere interessante Option zur Senkung des Risikos der Fichte auf der Bestandesebene dar. Für kleinflächig gemischte Bestände können sich im Vergleich zu großflächig oder gar nicht gemischten Wäldern einige finanziell relevante Unterschiede ergeben, die beispielsweise auf eine geänderte Holzqualität, einen modifizierten Volumenzuwachs oder eine erhöhte Resistenz zurückgehen. Zu den finanziellen Konsequenzen der möglichen Unterschiede existieren bisher kaum wissenschaftliche Studien.

In einer ersten Studie haben sich Knoke und Seifert (2008) anhand der bis heute vorliegenden ökologischen Literatur mit diesen Aspekten befasst. Trotz deutlich negativer Auswirkungen einer angenommenen Verschlechterung der Holzqualität auf die finanziellen Parameter und in etwa neutraler Effekte eines geänderten Volumenzuwachses ergab die Integration einer erhöhten Resistenz der Fichte in kleinflächiger Mischung mit Buche eine deutliche Überlegenheit kleinflächiger gegenüber großflächigen Mischungen. Mit Hilfe kleinflächiger Mischungen konnte jeder Ertragswert der großflächigen Mischungen bei geringerem finanziellem Risiko erreicht werden. Es war sogar möglich, mit ei-

ner kleinflächigen Mischung einen höheren Ertragswert als im reinen Fichtenbestand zu erreichen (bei Fichtenanteilen ab 60 Prozent). Dies liegt an dem für die finanziellen Kennzahlen durchschlagenden Effekt der erhöhten Stabilität der Fichte im kleinflächig gemischten Bestand (Schütz et al. 2006). Damit verbessern sich die finanziellen Resultate so stark, dass etwaige negative Effekte, wie z.B. eine sinkende Holzqualität überkompensiert werden. Diese Befunde sprechen für eine kleinflächige Diversifizierung, insbesondere vor dem Hintergrund einer klimabedingt wahrscheinlich abnehmenden Resistenz der Fichten.

### **Fichtenanteile bei schwerwiegender Unsicherheit**

Zur Berücksichtigung von Risiko im Rahmen der Baumartenwahl existiert mittlerweile eine Reihe von Studien, über die z.B. Knoke und Hahn (2007) sowie Beinhofer (2009) einen Überblick geben. Wir müssen uns aber darüber im Klaren sein, dass auch die Risikoeinschätzung selbst immer großen Unsicherheiten unterliegt. Es wäre paradox, Unsicherheit und Risiko mit Sicherheit vorhersagen zu wollen. Zwar wird es sicherlich im Laufe weiterer intensiver Forschung gelingen, die Unsicherheiten hinsichtlich der Risikoeinschätzung in Zukunft zu reduzieren. Dennoch wird immer ein beträchtlicher Rest an Unsicherheit verbleiben, da niemand die Zukunft vorhersagen kann.

Die besondere Bedeutung der Unsicherheit bei Risikoeinschätzungen verdeutlicht auch eine neu erschienene Studie (Hildebrandt und Knoke 2009). Fällt die Unsicherheit der Risikoeinschätzung eher hoch aus, können sich sehr ausgewogene Baumartenanteile als empfehlenswert erweisen, keineswegs jedoch Reinbestände. Unter Beachtung schwerwiegender Unsicherheiten insbesondere im Rahmen der Risikoeinschätzung der einzelnen Baumarten zeigte sich, dass ein pragmatisches Vorgehen im Sinne einer 1/2:1/2 (Abbildung 3) oder 1/3:1/3:1/3 Lösung durchaus vernünftig sein kann, wenn eine fundierte Risikoeinschätzung für die Baumarten nur eingeschränkt möglich ist.

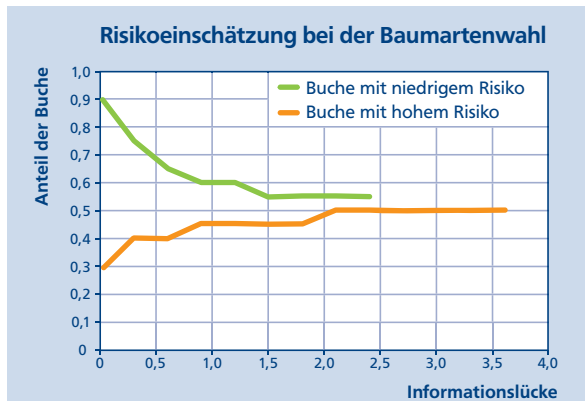


Abbildung 3: Auswirkungen einer zunehmenden Unsicherheit der Risikoeinschätzung (Informationslücke) im Rahmen der Baumartenwahl für ein Szenario der Buche mit niedrigem und eines mit hohem Risiko auf den optimalen Anteil der Buche in Mischung mit Fichte (Hildebrandt und Knoke 2009)

Die dargestellte Studie zeigt uns auf, dass wir auch bei schwerwiegenden Unsicherheiten handeln können und müssen. Ausgewogene Baumartenanteile schaffen Flexibilität und senken gleichzeitig die Risiken. Eine Verschiebung der Baumartenanteile im Rahmen von Durchforstungsmaßnahmen ist möglich. Die Baumartenzusammensetzung kann sukzessive angepasst werden, je mehr wir über die Auswirkungen des Klimawandels hinzulernen.

### Kurzfristige ökonomische Konsequenzen des Klimawandels für von Fichten dominierte Betriebe

Die Forschung zu den ökonomischen Konsequenzen des Klimawandels für die Forstwirtschaft steht insgesamt noch am Anfang. Kalkulationen mit Hilfe eines am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung entwickelten Betriebsoptimierers ergaben eher geringe Ertragsausfälle auf Grund des zu erwartenden Klimawandels für einen von Fichten dominierten Forstbetrieb in der Niederlausitz (Stang und Knoke 2009, Abbildung 4).

Die dargestellte Kalkulation hat das große Manko, dass die wahrscheinlich auf Grund des Klimawandels geänderten Ausfallrisiken unserer Baumarten unberücksichtigt blieben, weil dazu für die entsprechende Region keine Informationen vorlagen. Dennoch zeigt sich, dass wir auf der Betriebsebene noch ganz andere Verlustquellen haben, die die möglichen finanziellen Auswirkungen des Klimawandels unter Umständen bei wei-

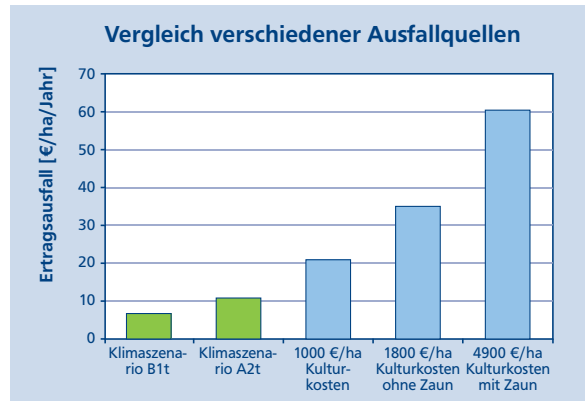


Abbildung 4: Mögliche Ertragsausfälle auf Grund des Klimawandels im Vergleich zu anderen betrieblichen Ausfallquellen; Betriebsoptimierung über 30 Jahre, bewertet wurden jedoch nur die geänderten Wachstumsparameter, nicht die Risiken (Stang und Knoke 2009).

tem übersteigen. Hohe Ausgaben für Zäune oder Kulturen, die auf Grund zu hoher Wildbestände notwendig werden, sind aus ökonomischer Sicht nicht akzeptabel. Könnten die klimabedingt hervorgerufenen Kosten eventuell noch abgedeckt werden, resultiert aus den wegen überhöhter Wildbestände notwendig werden den Ausgaben eine extrem unattraktive ökonomische Situation der Forstbetriebe. Natürlich verschärfen vermehrte Bewirtschaftungsrestriktionen (z. B. Forderungen nach Waldreservaten, Totholz, sehr hohe Vorratshaltungen) diese Situation noch weiter.

### Fazit

Die bayerische Forstwirtschaft wird wahrscheinlich auch in Zukunft mit der Fichte operieren. In naturnah aufgebauten, ungleichaltrigen Wäldern oder, bei gleichaltriger Wirtschaft, in Mischung mit Laubholz kann die Fichte auch weiterhin bei vertretbarem Risiko einen wertvollen ökonomischen Beitrag leisten. Neben den finanziellen Belastungen, die der Klimawandel mit sich bringt, gibt es noch zahlreiche andere „Verlustquellen“, die die Forstwirtschaft nicht selbst zu vertreten hat. Aus Sicht der Forstbetriebe wäre es sicher vorteilhaft, die wegen überhöhter Wildbestände, des Klimawandels und der Anforderungen anderer gesellschaftlicher Gruppen entstehenden Kosten auszuweisen, damit ein sachlich fundierter Diskussionsprozess darüber in Gang kommt, was von den Forstbetrieben zukünftig erwartet werden kann und soll.

## Literatur

Beinhofer, B. (2009): *Zur Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft: Finanzielle Optimierungsansätze zur Bewertung von Diversifikationseffekten*. Dissertation Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Beinhofer, B. (im Druck): *Producing softwood of different quality: does this provide risk compensation?* European Journal of Forest Research, doi: 10.1007/s10342-009-0280-8

Brosinger, F.; Tretter, S. (2007): *Waldbau im Zeichen des Klimawandels: Anpassung durch Waldumbau und naturnahe Forstwirtschaft*. LWF aktuell 60, S. 21–23

Heidingsfelder, A.; Knoke, T. (2004): *Douglasie versus Fichte: Ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern*. Schriften zur Forstökonomie Band 26, Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.

Hildebrandt, P., Knoke, T. (2009): *Optimizing the shares of native tree species in forest plantations with biased financial parameters*. Ecological Economics 68, S. 2.825–2.833.

Knoke, T. (2009): *Zur finanziellen Attraktivität von Dauerwaldwirtschaft und Überführung: eine Literaturanalyse*. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 160, S. 152–161

Knoke, T.; Seifert, T. (2008): *Integrating selected ecological effects of mixed European beech - Norway spruce stands in bioeconomic modelling*. Ecological Modelling 210, S. 487–498

Knoke T.; Hahn, A. (2007): *Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungsein- und -ausblick*. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 158, S. 312–322

Knoke, T.; Moog, M.; Plusczyk, N. (2001): *On the effect of volatile stumpage prices on the economic attractiveness of a silvicultural transformation strategy*. Forest Policy and Economics 2, S. 229–240

Kölling, C.; Knoke, T.; Schall, P.; Ammer, C. (2009): *Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels*. Forstarchiv 80, S. 42–54

Schütz, J.-P.; Götz, M.; Schmid, W.; Mandallaz, D. (2006): *Vulnerability of spruce (Picea abies) and beech (Fagus sylvatica) forest stands and consequences for silviculture*. European Journal of Forest Research 125, S. 291–302

Stang, S.; Knoke, T. (2009): *Optimierung der Hiebsatzplanung zur Quantifizierung von finanziellen Ertragseinbußen durch den Klimawandel am Beispiel des Forstbetriebes der Stadt Zittau*. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz, S. 84–94

**Keywords:** Spruce, rotation, uncertainty, choice of tree species, climate change

**Summary:** Spruce (*Picea abies*) is the economically most important tree species in Bavaria. However, this tree species is expected to be very prone to the consequences of climate change. Based on existing studies, this paper analyses the economic effects of (1) decreased survival probabilities for Spruce, (2) shortened rotations, (3) admixtures in Spruce stands, (4) severe uncertainty when deciding on tree species, and (5) altered tree growth under climate change in forest enterprises that are dominated by Spruce. Despite decreased survival probabilities, a possible future portfolio of tree species will still contain a high proportion of Spruce, if alternative tree species have much higher establishment costs than Spruce. It is shown that shortened rotations may not only increase financial return of Spruce but also financial risks. A transformation of Spruce stands into uneven-aged Spruce-Fir stands can be a financially interesting alternative. We are on the safe side, if we form more resistant future Spruce stands by admixing broadleaved tree species. This is also financially advantageous. Even in a situation of severe uncertainty, when we don't know much about the appropriateness of tree species, it is meaningful to convert monocultures into mixed stands. When knowledge about future conditions is very uncertain it may be meaningful to form balanced tree species shares to obtain maximum flexibility: If we have balanced tree species proportions we can adapt tree species compositions by means of thinning in later times, when we have learned more about the consequences of climate change. On the enterprise level, the financial consequences of an altered tree growth under climate change may be much smaller than those of lacking natural regeneration or fences, with the latter being necessary due to over dense deer populations. In conclusion it seems helpful for Bavarian forestry to make financial consequences of social management constraints and efforts to convert existing forests demonstrable to come to a more rational social discussion about what financial burden forest enterprises can and should bear.

---

# Vielfalt schaffen, Risiko verringern – Gastbaumarten als Alternativen zur Fichte

Martin Bachmann, Monika Konnert und Andreas Schmiedinger

**Schlüsselwörter:** Waldumbau, fremdländische Baumarten, Klimawandel, waldwachstumskundliche Versuche, Baumartenwahl

**Zusammenfassung:** Angesichts der Unsicherheit darüber, ob und wie die heimischen Baumarten die prognostizierten Klimaänderungen bewältigen werden, sollte der wissenschaftlich begleitete Versuchsanbau von Gastbaumarten kein Tabu darstellen. Zur Vorauswahl forstwirtschaftlich interessanter und für bayerische Verhältnisse klimagerechter Baumarten für kommende Versuchsanbauten wird ein Ansatz vorgestellt, der solche Arten auf Grund eines stratifizierten Drei-Filter-Verfahrens – Klimafilter, Nutzwertfilter, Anbaufilter – identifiziert. Darauf aufbauend sollen Versuchsanbauten angelegt werden. Anschließend werden fünf in dem Verfahren als aussichtsreich diagnostizierte Baumarten beschrieben, die in Bayern bereits seit längerer Zeit angebaut werden. Für Küstentanne, Esskastanie, Douglasie, Schwarzkiefer und Roteiche werden als Ergebnis einer Nutzwertanalyse sozio-kulturelle, ökologische (inkl. waldschutzfachliche) sowie ökonomische Aspekte angesprochen. Außerdem wird vorab auf das forstliche Vermehrungsgut und die Anzuchtphase eingegangen.

## Gastbaumarten im Klimawandel – eine Positionsbeschreibung

Bereits moderate Klimaprognosen gehen im Zeitraum von 2071 bis 2100 für Süddeutschland von einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur um etwa 2 °C und einem gleichzeitigen Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10 bis 25 Prozent aus (Spekat et al. 2007). Diese Entwicklung wird sich auf den Zustand und die Zusammensetzung der Wälder erheblich auswirken (Kölling und Zimmermann 2007; Kölling 2008 a).

Angesichts der Unsicherheit darüber, ob und wie die heimischen und bisher im Gebiet angebauten Baumarten diese Veränderungen bewältigen werden, sollte der wissenschaftlich begleitete Versuchsanbau von Gastbaumarten (exotische Baumarten mit einem vom Anbaubereich räumlich verschiedenen Areal) kein Tabu darstellen (Brang et al. 2008). Vor allem gilt dies für jene

Regionen, in denen ein bis heute nicht vorkommendes, für den größeren Umkreis völlig neuartiges, „nicht-analoges“ Klima erwartet wird.

Hinsichtlich des Stellenwertes der Einbringung von Gastbaumarten gibt es klare Prioritäten:

- Der Schwerpunkt der Anpassung unserer Wälder an den Klimawandel liegt beim Einsatz heimischer (mitteleuropäischer) Baumarten wie Rotbuche (*Fagus sylvatica* L., Eiche (*Quercus spec.*) und Weißtanne (*Abies alba* Mill.).
- Im warm-trockenen Klimabereich gewinnen „heimischen Raritäten“ wie Elsbeere (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz), Feldahorn (*Acer campestre* L.), Hainbuche (*Carpinus betulus* L.) und Mehlsbeere (*Sorbus aria* (L.) Crantz) zunehmend an Bedeutung.
- Passfähige „echte Exoten“ besitzen einerseits einen nachrangigen Stellenwert, können andererseits aber das Risiko auf „weitere Schultern verteilen“ (Risikostreuung). Dabei ist neben einer wissenschaftlich fundierten Begleitung eine klare Dokumentation des Einsatzbereiches bedeutsam. Nur wenn bekannt ist, woher die Gastbaumarten (Herkünfte) stammen und wo sie wann unter welchen waldbaulichen Rahmenbedingungen eingebracht wurden, kann gewährleistet werden, dass dieser kontinuierlich wachsende Erfahrungsschatz nutzbar bleibt.

Empfehlungen für Baumarten, die in anderen Klimaten der Erde ihre Trockenheitstoleranz bereits unter Beweis gestellt haben, können bis heute nur auf der Grundlage von Literaturbefunden gegeben werden, da planmäßige, vergleichende Versuchsanbauten in vielen Fällen fehlen. Diese Testphase sollte sich im Idealfall über einen Zeitraum von mehreren Umtriebszeiten erstrecken. Sie ist aber eine zwingende Voraussetzung für Praxisempfehlungen, da nicht nur das Wuchsverhalten der Baumarten als erwünschte Hauptwirkung, sondern auch die unerwünschten Nebenwirkungen auf Boden und belebte Umwelt geprüft werden müssen. Dabei sollen die bei Kölling (2008 b) angeführten Grundsätze für den Anbau von Gastbaumarten, die teilweise auf den Empfehlungen von Engelm et al. (2001) beruhen, besonders beachtet werden.

## „Unser Weg zu klimarelevanten Gastbaumarten“ oder „dreimal gefiltert hält besser“

Dazu wird ein Ansatz zur Vorauswahl forstwirtschaftlich interessanter und für bayerische Verhältnisse klimagerechter Baumarten für kommende Versuchsanbauten entwickelt. Die zu testenden Baumarten wurden dabei mit Hilfe eines stratifizierten Drei-Filter-Verfahrens identifiziert:

- einem Klima-Filter, bestehend aus einer weltweiten GIS-basierten Suche nach Klimaregionen, in denen die für Bayern sowohl aktuellen als auch gemäß dem Szenario B1 prognostizierten Klimabedingungen vorgefunden wurden (Abbildung 1);
- einem Nutzwert-Filter in Form einer Nutzwertanalyse, die forstökonomische, forstökologische und forstsoziologische Gesichtspunkte bewertete;
- einem Anbaufilter, in dem recherchiert wurde, für welche vorausgewählten Baumarten noch keine ausreichenden Anbauerfahrungen vorliegen.

Diese Methodik eignet sich im Übrigen nicht nur bei der Auswahl angepasster Gastbaumarten, sondern auch zur Suche nach klimagerechten Provenienzen heimischer und fremdländischer Baumarten (Schmiedinger et al. 2009).

„Neue“ Versuchsanbauten: Als zentrales Ergebnis der Studie werden die Nadelbaumarten *Abies borisii-regis* Mattf., *Pinus ponderosa* Dougl., *Abies bornmuelleriana* Mattf., *Pinus peuce* Griseb sowie die Laubbaumarten *Fagus orientalis* Lipsky, und *Tilia tomentosa* Moench für „neue“ Versuchsanbauten favorisiert.

Bereits „bewährte“ Gastbaumarten: Im Rahmen der Studie werden aber auch Baumarten recherchiert, die im Klimawandel für den Anbau bei uns interessant werden könnten und bereits länger in Bayern angebaut werden. Nachfolgend werden deshalb fünf Baumarten im Zuge einer Kurzcharakterisierung näher beleuchtet, die in der Bewertung sehr gut abgeschnitten haben:

- Küsten-/Riesentanne (*Abies grandis* Lindl.)
- Ess-/Edelkastanie (*Castanea sativa* Miller)
- Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arnold)
- Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)
- Roteiche (*Quercus rubra* L.)

Für Küstentanne und Douglasie gibt es umfassende Herkunftsversuche, für die Schwarzkiefer ist der Beginn einer umfangreichen Herkunftsversuches für 2009 vorgesehen. Für die genannten Baumarten werden als „erwarteter Nutzen“ (siehe Seite 27) die Ergebnisse einer Nutzwertanalyse mit sozio-kulturellen (im Wesentlichen Wohlfahrtswirkungen), ökonomischen sowie ökologischen und dabei auch waldschutzfachlichen Aspekten vorgestellt. Außerdem wird vorab im Abschnitt „Saat- und Pflanzgut“ auf das forstliche Vermehrungsgut und die Anzuchtphase eingegangen.

Einschränkend sei bemerkt, dass wir in keiner Form beabsichtigen, uns mit profunden Monografien, Enzyklopädien und Schriften (-reihen) zu messen, sondern das Ziel verfolgen, eine schlaglichtartige Zusammenstellung der Chancen und Risiken der fünf Gastbaumarten angesichts der zu erwartenden klimatischen Herausforderungen zu präsentieren.

Klima-Filter

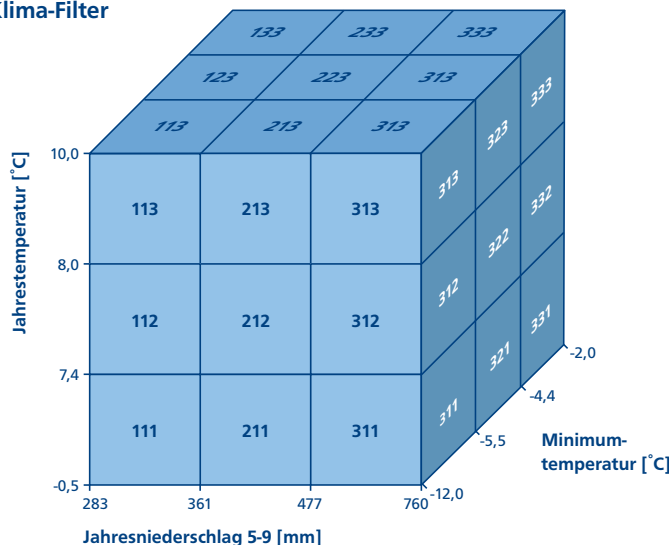


Abbildung 1: Dreidimensionale Darstellung der für Bayern ausgeschiedenen 27 Klimatypen; die Achsen des „Klimawürfels“ wurden mit den aktuellen Klimadaten (Bezugszeitraum 1950 bis 2000) für Bayern auf der Grundlage von WORLDCLIM (Hijmans et al. 2005) beschriftet.

| Baumart                                                    | Anzahl der Erntebestände | Fläche in ha | reduzierte Fläche in ha | Anzahl Ernten seit 2003 |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Große Küstentanne</b> <i>Abies grandis</i>              | 3                        | 73,8         | 2,5                     | 2                       |
| <b>Edelkastanie</b> <i>Castanea sativa</i>                 | 2                        | 20,6         | 4,7                     | 5                       |
| <b>Schwarzkiefer</b> <i>Pinus nigra</i> var. <i>austr.</i> | 42                       | 256,1        | 189,3                   | 1                       |
| <b>Schwarzkiefer</b> <i>Pinus nigra</i> var. <i>calab.</i> | 1                        | 14,9         | 1,0                     | 1                       |
| <b>Douglasie</b> <i>Pseudotsuga menziesii</i>              | 226                      | 3.486,5      | 366,5                   | 39                      |
| <b>Roteiche</b> <i>Quercus rubra</i>                       | 30                       | 134,1        | 29,0                    | 12                      |

Tabelle 1: Erntebestände in Bayern sowie Anzahl der seit 2003 durchgeführten Ernten für die fünf ausgewählten Baumarten

## Saat- und Pflanzgut

Die Baumarten Küstentanne, Esskastanie, Schwarzkiefer, Douglasie und Roteiche unterliegen dem Forstvermehrungsgutgesetz. Bei der Ernte und dem Inverkehrbringen forstlichen Vermehrungsgutes müssen daher die Bestimmungen dieses Gesetzes beachtet werden. In der folgenden Tabelle sind die derzeit in Bayern zur Ernte zugelassenen Bestände sowie die Anzahl der in den letzten fünf Jahren durchgeführten Ernten eingetragen.

### Große Küstentanne

Die Große Küstentanne kommt aus dem westlichen Nordamerika. Nachdem ältere Anbauversuche ihre Raschwüchsigkeit in Bayern bestätigt hatten, wurden ab 1980 in Ostbayern fünf Herkunftsversuche mit Küstentanne angelegt. Die Wuchsleistungen unterscheiden sich beträchtlich – von sehr gut in der Region Zwiesel bis zu unterdurchschnittlich im Raum Selb.

Ähnlich wie bei der Douglasie kommen die wüchsigsten Herkünfte aus dem küstennahen Gebiet westlich des Kaskadenkammes und nördlich des 45. Breitengrades (Oregon, Washington und British Columbia – Vancouver Island). Am besten bewährt hat sich an allen Prüforten die Herkunft Elwha – Port Angeles – Samenzone 221 Washington. Gute Leistungen bei geringerer Frostempfindlichkeit zeigen auch die Herkünfte aus Darrington – Samenzone 403 Washington. Herkünfte aus Oregon und Kalifornien sind frostempfindlich. Inlands-herkünfte sind zwar frosthart, jedoch langsamwüchsig.

In Bayern gibt es für diese Baumart wegen der geringen Flächenausdehnung und der lediglich regionalen Bedeutung nur ein Herkunftsgebiet („Übriges Bundesgebiet – 830 02). Um die Versorgungssituation zu verbessern, wurde 1995 bei Pegnitz ein Generhaltungsbestand mit wüchsigen Herkünften angelegt, der bei entsprechendem Alter als Erntebestand dienen kann. Als Ersatzherkünfte für Bayern werden Herkünfte aus

dem zweiten in Deutschland ausgewiesenen Herkunftsgebiet „Norddeutsches Tiefland“ (830 01) empfohlen. In den letzten zehn Jahren gab es nur 2007 eine größere Ernte mit insgesamt 716 Kilogramm (kg) Saatgut in beiden Herkunftsgebieten.

Die Importmöglichkeiten aus den USA sind derzeit auf Grund gesetzlicher Regelungen noch stark eingeschränkt, werden sich aber aller Voraussicht nach Änderungen der Rechtslage in absehbarer Zeit verbessern. Ein Problem sind die oft hohen Hohlkornanteile im Saatgut. Das ASP ermittelte eine Keimspanne zwischen 20 und 81 Prozent.

Ausgesät wird am besten in ein Torf-Sand-Gemisch (pH-Wert 5,5). Abdecken der Samen mit Quarzsand reduziert die Keimlingsfäule. Topfpflanzen eignen sich zum Ausbringen besser als wurzelnackte Pflanzen. Die Pflanzen reagieren empfindlich auf Frosttroknis und können vom Rüsselkäfer bis zum Totalausfall geschädigt werden. Eine Kopfdüngung im zweiten Frühling nach der Pflanzung, vorgenommen bei feuchter Witterung, hilft der Pflanze, schneller aus der Krautschicht herauszuwachsen. Im Begründungsjahr sind hohe Ausfallquoten (bis 40 Prozent) durchaus normal.

### Esskastanie

Die Esskastanie wächst von Natur aus in submontanen Lagen des Mittelmeerraumes und hat ihr Hauptverkommen in den Südalpen zwischen 300 und 700 Metern ü. NN. In Deutschland finden sich die größten Bestände in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg. Herkunftsunterschiede sind bisher in Deutschland nicht bekannt.

Ähnlich wie bei der Küstentanne existiert in Bayern auch für die Edelkastanie nur ein Herkunftsgebiet (808 02). Die meisten Erntebestände befinden sich in Rheinland-Pfalz. In Bayern gibt es nur zwei Erntebestände in Unterfranken (Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Karlstadt). Seit die Esskastanie 2003 in das FoVG aufgenommen wurde, steigt die Erntemenge in Deutschland stetig. Im Vorjahr wurden bereits 6.695 kg Esskastanien geerntet. Die Erntemengen könnten noch

viel umfangreicher sein, wenn nicht Privatpersonen den wesentlich größeren Teil schon vorher für den Straßenverkauf sammeln würden.

Ein weiteres Problem ist der Befall vieler Bestände mit Kastanienrindenkrebs (*Cryphonectria parasitica* (Murril) Barr), der sich eventuell auch über die Früchte verbreitet. Waschen der Früchte in kaltem Wasser soll dies verhindern.

Die Keimfähigkeit schwankt von Jahr zu Jahr, Werte um 40 Prozent sind häufig anzutreffen.

Den größten Erfolg bei der Anzucht erzielt man bei sofortiger Aussaat nach der Ernte. Bei einer Samenfeuchte von 40 Prozent und einer Lagertemperatur von 3 °C lässt sich die Kastanie in einem Sand-Torf-Gemisch einen Winter lagern.

In den ersten Jahren ist die Kastanie stark früh- und spätfrostgefährdet. Sie friert zurück, schlägt dann aber wieder erneut aus. Dies führt zu Mehrtriebigkeit. Untersuchungen in Rheinland-Pfalz ergaben, dass fünf Prozent aller Kastanien bereits mehrtriebig keimen.

### Schwarzkiefer

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Schwarzkiefer ist sehr zerklüftet und erstreckt sich von Teilen Österreichs und dem Balkan bis nach Griechenland und der Türkei sowie nach Kalabrien, Korsika und Spanien. Von den vielen ausgewiesenen Unterarten kommen nach derzeitigem Kenntnisstand bei uns vor allem die österreichische Schwarzkiefer (*var. austriaca*), aber auch die kalabrische (*var. calabrica*) und die korsische Schwarz-

kiefer (*var. corsicana*) vor. Die verschiedenen Unterarten und Herkünfte unterscheiden sich erheblich in ihrem Wuchsverhalten, ihrer Ausformung, Frostresistenz und Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen. Bereits die Samen zeigen große Unterschiede (Abbildung 2). Samen aus dem östlichen Verbreitungsgebiet sind deutlich schwerer als solche aus westlichen Vorkommen und als die Samen der Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.). Derzeit legt das ASP Teisendorf einen Schwarzkiefern-Herkunftsversuch an, in dem über 30 Herkünfte aller Varietäten vertreten sind. Dabei werden konkrete Aussagen über die Eignung und Verwendung der Schwarzkiefer im Hinblick auf den Anbau im Klimawandel erwartet. Gleichzeitig soll geprüft werden, ob mit Hilfe von Genmarkern die Varietäten eindeutig getrennt werden können. Auch für diese Baumart gibt es in Deutschland nur zwei Herkunftsgebiete. Bayern liegt im Herkunftsgebiet 847 02. Bei uns sind 42 Bestände von *Pinus nigra var. austriaca* und ein Bestand von *Pinus nigra var. calabrica* zugelassen. Die Erntemengen in Deutschland sind aber sehr gering (siehe auch Tabelle 1). Die Anzucht- und Kulturphase ist unproblematisch, ähnlich der Waldkiefer.

### Douglasie

Über die Problematik des forstlichen Vermehrungsgutes der Douglasie wurde wiederholt berichtet, u.a. bei der Tagung „Die Douglasie - Perspektiven im Klimawandel“ der LWF im Februar 2008 (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2008). Daher werden im Fol-

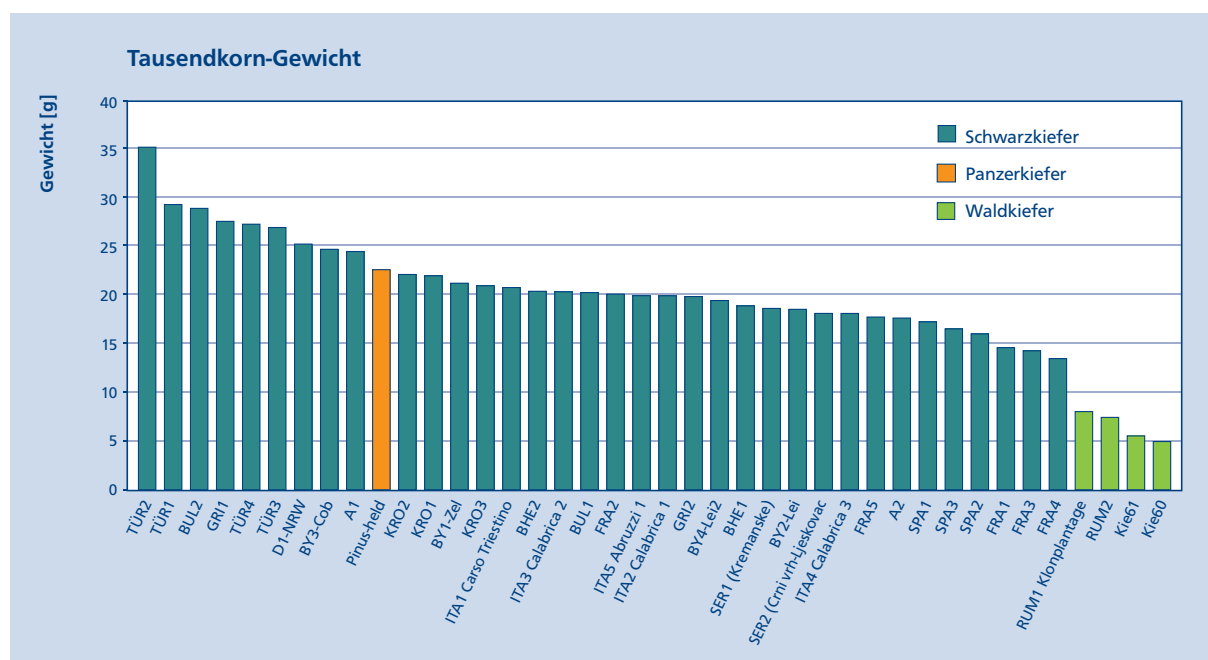


Abbildung 2: Tausendkorngewicht (g) unterschiedlicher Herkünfte der Schwarzkiefer und Waldkiefer

Abbildung 3: Keimtest bei Roteiche (Foto: R. Jenner)



genden nur die wichtigsten Aspekte kurz zusammengefasst.

Einer der wichtigsten Faktoren für den Erfolg von Douglasienanbauten ist neben dem Standort die Herkunftswahl. Für den Anbau in Bayern eignet sich die „grüne Douglasie“ (var. *menziesii*) von der Westküste der USA. Erfolgreiche Anbauten stammen aus Beständen von Washington und Oregon/USA sowie dem südlichen British Columbia, Kanada. Diese Herkünfte haben sich in gezielten Prüfanbauten wie im normalen Forstbetrieb als meist leistungsfähig und risikoarm auf unterschiedlichen Standorten erwiesen. Die Inlandsdouglasie (in Deutschland auch als „graue“ Douglasie bezeichnet) ist deutlich weniger wüchsig, schüttelegefährdet und spätfrostanfällig.

In Bayern sind derzeit circa 225 Bestände zur Ernte zugelassen, davon etwa die Hälfte im Staatswald. Bis 2010 überprüft das ASP alle Erntebestände in Bayern auf ihre Varietät und genetische Diversität. Die Ergebnisse werden der Praxis zugänglich gemacht, so dass Produzenten und Abnehmer entscheiden können, welche Douglasie sie anziehen bzw. kaufen.

Engpässe in der Versorgung mit passendem Saatgut gibt es vor allem in Ostbayern, Herkunftsgebiet 853 06. Dort ist die Anzahl guter Erntebestände vergleichsweise gering. Die Importmöglichkeiten aus den USA sind derzeit auf Grund gesetzlicher Regelungen noch stark eingeschränkt, werden sich aber voraussichtlich nach Änderungen in der Rechtslage in absehbarer Zeit verbessern.

Douglasiensaatgut lässt sich bei Temperaturen bis – 10°C sehr lange lagern. Bei der Aussaat sind vor allem

der saure pH-Wert des Substrates, das Vermeiden von Staunässe und das Verwenden von Gießwasser mit geringem Kalkgehalt wichtig. Bei der Kulturbegründung verursachen das zu starke Austrocknen der Pflanzen und die Frosttroknis die häufigsten Ausfälle.

Weitere Informationen zu Anzucht und Kultur der Douglasien finden sich in einem Merkblatt des ASP „Douglasie – Anzucht und Anbau“ ([www.asp.bayern.de](http://www.asp.bayern.de)).

### Roteiche

Das Vorkommen der Roteiche erstreckt sich über die gesamte Osthälfte der USA bis ins südliche Kanada mit wechselnder Häufigkeit.

Obwohl sie als unsere wichtigste fremdländische Laubholzart gilt, gibt es noch keine Ergebnisse aus Herkunftsversuchen. Deshalb wurde in Deutschland auch auf eine kleinräumige Ausweisung von Herkunftsgebieten verzichtet. In Bayern gibt es für die Roteiche nur ein Herkunftsgebiet (816 02) in dem 30 Erntebestände zugelassen sind, darunter solche, deren Qualität nicht sehr gut ist. Qualitativ sehr gute Erntebestände mit hoher genetischer Variation gibt es im östlichen Frankreich. Sie wurden als Ersatzherkünfte für den Anbau in Bayern empfohlen.

In den letzten zehn Jahren gab es fast jährlich gute Erntemöglichkeiten für Roteiche, die auch entsprechend genutzt wurden. Beispielsweise wurden 2008 circa 120.000 kg Saatgut geerntet, davon 83.000 im Herkunftsgebiet 810 02. Die Keimfähigkeit lag im Durchschnitt bei circa 70 Prozent.

Die Anzucht ist unproblematisch (Abbildung 3), die Lagerfähigkeit des Saatgutes wie bei allen Eichenarten nur begrenzt. Gepflanzt werden ein- oder zweijährige Sämlinge, wegen Verunkrautung sollte der Pflanzverband eng gehalten werden (z.B. 1 x 1 m).

### Erwarteter forstwirtschaftlicher Nutzen, Chancen und Risiken

Insgesamt 171 Gastbaumarten wurden hinsichtlich ihrer Anpasstheit an die gegenwärtigen und prognostizierten Klimabedingungen geprüft (Schmiedinger et al. 2009). Bei der nachgeschalteten Nutzwertanalyse der 72 mittels Klima-Filter positiv vorstratifizierten Baumarten befinden sich die Baumarten Küstentanne (79 P.), Esskastanie (80 P.), Schwarzkiefer (81 P.), Douglasie (81 P.) und Roteiche (81 P.) im Spitzenfeld (rechnerisches Maximum 99 Punkte). Obwohl damit die Erwartungen an ihre Anpasstheit und ihren forstwirtschaftlichen Nutzen hoch sind, gilt es, neben ihren Chancen auch ihre Risiken zu kennen.

#### Große Küstentanne

Die Küstentanne ist bereits heute eine der wichtigsten fremden Holzarten in Mitteleuropa und wird in Bayern seit Anfang des 20. Jahrhunderts, z. B. im „Exotenwald“ bei Augsburg, angebaut.

Um die Gewährleistung der Wohlfahrtswirkungen – beschränkt auf die Schutzfunktionen – abzuschätzen, wurde bei der Bewertung aller Gastbaumarten ein besonderes Gewicht auf ihren Wurzelhabitus gelegt. Lediglich auf wechselfeuchten und feuchten Böden bildet die Küstentanne anstelle der typischen Pfahlwurzel ein flachstreichendes Wurzelwerk aus, das dort die Stabilität gegenüber Starkwindereignissen einschränkt. Die für „Riesen-Tannen“-Bestände typische starke Durchmesserspreitung kann hingegen als differenziertere Bestandesstruktur und damit erhöhte Stabilität gedeutet werden.

Die Charaktersistierung hinsichtlich Ökonomie/Ertrag zeigt, dass diese Tannenart nur wenige Wünsche offen lässt. Das gilt besonders für ihre Wuchsleistung, mit der sie sogar die Douglasie noch übertreffen kann. Aus Jahrringbreiten von über einem Zentimeter, wie sie im Extremfall auf „fetten“ Standorten bei weitständiger Begründung oder starker Freistellung auftreten, resultieren jedoch geringere Trockengewichte und daraus Vorbehalte seitens der Verwerter. Die Holzeigenschaften der unteren Stammabschnitte (sechs bis acht Meter) ähneln denen von Fichte und Weißtanne, wenn mittlere Jahrringbreiten von fünf Millimetern nicht wesentlich

überschritten werden (Trockengewicht um 0,5 g/ccm). Das zunehmende Holzaufkommen besitzt einen Schwerpunkt im Bauholzsektor, auch wenn im Rahmen der an der Universität Göttingen laufenden Studie „Buche und Küstentanne als Rohstoff für innovative Holzprodukte“ viele, vielleicht auch ganz neue Verwendungsoptionen zu erwarten sind.

Mit ihren geringen Nährstoffsprüchen kann die Küstentanne als „bescheidenes“ Schattholz bezeichnet werden, das seine Widerstandskraft gegenüber Trockenheit im Jahr 2003 eindrucksvoll unter Beweis gestellt hat. Während in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet Mischungen mit anderen Nadelhölzern üblich sind, trifft man sie bei uns häufig im Reinbestand sowie in Kombination mit reihenweise beigemischter Buche (auch Douglasie) an. Die Verwirklichung anspruchsvoller Mischbestandsbestockungsziele ist auf Grund der zwischen den Baumarten divergierenden Wuchsraktionen aufwändig. Die Ausbildung langer schmaler Kronen reduziert die Schneebruchgefahr und hebt in Verbindung mit der Wuchsleistung ihre beeindruckende Standraumökonomie und damit die Option einer gegenüber Fichte und Douglasie gesteigerten Anzahl von Zukunftsbäumen (circa 250 Stück pro Hektar) hervor. Infolge der Langlebigkeit und langsamen Zersetzung der Äste entstehen ausgeprägte Schwarastzonen, die sich mit Hilfe der Grün- bzw. Trockenästung vermeiden lassen. Die Bewertung des Invasionspotentials ergibt ein mittleres Invasionspotential, das vermutlich aus ihrer natürlichen Verjüngung auf Mineralboden wie auch auf stärkerem Auflagehumus herrührt.

Die Bewertung anhand des Kriteriums „Pathogen- und Schädlingsresistenz“ (biotischer Waldschutz) ergibt einen mäßigen Befund, wobei aus aktueller Sicht der Infektionsdruck seitens Hallimasch überinterpretiert erscheint (Schmiedinger et al. 2009) und eher ein mittleres, vielleicht sogar ein hohes Resistenzmaß vorliegt. Mit dann 80 bzw. 81 Punkten würde die Küstentanne ihre Spitzenposition innerhalb der bewerteten Gastbaumarten noch geringfügig verbessern. Neben Hallimasch (*Armillaria ostoyae* Romagn.) sind insbesondere Rotfäule (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) und Borkenkäferarten wie der Krummzähnnige Tannenborkenkäfer (*Pityokteines curvidens* Germ.) und der Kleine Tannenborkenkäfer (*Cryphalus piceae* Ratz.) zu nennen.

#### Esskastanie

Die Edel- oder Esskastanie ist bei uns seit der Römerzeit bekannt und im bayerischen Staatswald nur mit 31 Hektar (Nüßlein 1999) vertreten. Ihr kräftiges Pfahlwurzelssystem schließt den Boden vertikal und horizontal

gut auf und sorgt für feste Verankerung. Die einfrüchtigen Maronen und die zu Mehl verarbeiteten Kastanien der Wildform sind in einigen Ländern am Mittelmeer begehrt. Dort gehören vor allem erstere zu den wichtigen Nahrungsmitteln.

Das dekorative, dem der Eiche vergleichbare Holz besitzt eine hohe natürliche Dauerhaftigkeit und eine breite Verwendungspalette, die vom Konstruktionsholz im Innen- und Außenbereich über Weinbergpfähle bis zu Fassdauben reicht. Häufigste Holzfehler sind radiale Risse und Ringrisse. Die Wuchsleistung liegt insgesamt auf einem mittleren Niveau. Das Wuchsverhalten in der Jugendphase beeindruckt quantitativ wie auch qualitativ. Auf zwei Versuchspartzen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde im Raum Augsburg leisten 19-jährige Oberhöhenstämme im Mittel einen Radialzuwachs von fünf Millimetern, einen Höhenzuwachs von knapp einem Meter und die Bestände in der letzten Dekade einen Volumenzuwachs von über zehn Vorratsfestmetern Derbholz mit Rinde je Hektar. Die infolge ihrer Spätfrostempfindlichkeit unter einem Schirm aus Europäischer Lärche begründeten Kastanien überzeugen dort bereits qualitativ mit astfreien Schaftlängen von acht und mehr Metern.

Ein Pflegeproblem ist die Mehrtriebigkeit der Edelkastanie. Diese kann die aufwändige Vereinzelung der Triebe erfordern.

Die Edelkastanie ist an saure Böden angepasst, ihre Streu wird generell schnell abgebaut. Als Halbschatt- bis Lichtbaumart besitzt sie nur eine mittlere Mischungsfähigkeit.

Die Bewertung der „Pathogen- und Schädlingsresistenz“ ergibt einen mittleren Befund. Dabei sind insbesondere „Kastaniensterben“ (Rindenkrebs, *Cryphonectria parasitica* (Murril) Barr) und der Rüsselkäfer (*Balanus elephantis* Gyll) zu nennen, der die Früchte schädigt.

### Schwarzkiefer

Zwischen den zahlreichen Herkünften bestehen große morphologische und ökophysiologische Unterschiede, weshalb sie mitunter als „Sammelart“ betrachtet wird. Im bayerischen Staatswald sind 120 Hektar Schwarzkiefernbestände erfasst (Biermayer 1999). Die Schwarzkiefer wird auch für Erosionsschutz- und Windschutzzwecke genutzt, da sie mit ihrer kräftigen Pfahlwurzel fest verankert ist.

Das Holz wird als Bau- und Möbelholz sowie im Landschaftsschutz, infolge seiner Härte auch im Bühnenbau verwendet. Starke Harzbildung tritt nur im Zusammenhang mit Verletzungen auf. Während Höhenwuchsleistung und Förmigkeit derjenigen der Waldkiefer gleichkommen, führt die überlegene Grundflächen-

haltung der korsischen und kalabrischen Herkünfte zu Bestandesvorräten von bis zu 1.000 Vorratsfestmetern je Hektar. Allerdings schränkt die Gegenläufigkeit von Winterhärte und Wuchsleistung dieses Plus stark ein. Winterkälte zieht die Korsischen Kiefern am stärksten in Mitleidenschaft. Deshalb wurde bisher vorrangig die österreichische Unterart angebaut.

Die Baumart hat einen hohen Lichtbedarf, stellt geringe Standortsansprüche, ist relativ trockenheitstolerant und weist ein mittleres Invasionspotential auf. Um ein den Pilzbefall begünstigendes „dämpfiges“ Bestandesinnenklima zu vermeiden, empfiehlt sich in den Jungbeständen eine frühe und starke Pflege.

Die Bewertung der „Pathogen- und Schädlingsresistenz“ ergibt einen mittleren Befund. Dabei sind insbesondere Schwarzkiefern-Triebsterben (*Scleroderma lagerbergii* Gremmen), Mäusefraß und Dothistroma-Nadelbräune (*Mycosphaerella pini* Rostrup ap. Munk) zu nennen.

### Douglasie

Diese Gastbaumart hat auf der Tagung „Die Douglasie – Perspektiven im Klimawandel“ im Februar 2008 und in der nachfolgenden Publikation (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2008) eine umfassende Charakterisierung erfahren. Nachfolgend werden deshalb nur das Invasionspotential sowie die Resistenz gegen Pathogene und Schädlinge beleuchtet.

Gemeinhin wird die Douglasie als invasiv, d.h. aggressiv gegenüber anderen Baumarten beschrieben. Das hohe Invasionspotential geht einher mit ihrer Fähigkeit, sich auch auf mächtigeren Moderdecken natürlich zu verjüngen, steht aber auch im Widerspruch zu Erfahrungen wie denjenigen in der „Freiburger Waldgesellschaft“. Die Douglasie wird seit über 100 Jahren auf aktuell 14 Prozent der Stadtwaldfläche Freiburgs angebaut. Über die Hälfte der Bestände sind älter als 60 Jahre und dennoch nimmt ihre Naturverjüngung nur einen Baumartenanteil von vier Prozent ein.

Die Bewertung der „Pathogen- und Schädlingsresistenz“ ergibt einen mittleren Befund. Dabei sind insbesondere Rostige Douglasienschütte (*Rhabdochloa pseudotsugae* Syd.), Rußige Douglasienschütte (*Phaeocryptopus gaeumani* (Rhode) Petrak), Borkenkäferarten wie der Furchenflügelige Fichtenborkenkäfer (*Pityophthorus pityographus* Ratzeburg), der Krummzahnige Tannenborkenkäfer (*Pityokteines curvidens* Germ.) und der Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.), aber auch Hallimasch (*Armillaria ostoyae* Romagn.) und der Große Braune Rüsselkäfer (*Hylobius abietis* L.) zu nennen.

### Roteiche

Die seit 1691 in Europa angebaute Roteiche ist im bayrischen Staatswald mit 1.281 Hektar vertreten und damit das fremdländische Laubholz mit der höchsten Flächenrelevanz (Biermayer 1999). Sie besitzt in der Jugend eine Pfahlwurzel, die sich später zu einer Herzwurzel wandelt. Ihre Wurzelenergie gleicht der der Stieleiche (*Quercus robur* L.), außer auf staunässe- und grundwasserbeeinflussten Standorten sowie Tonböden. Ihre Sturmfestigkeit wird mit „mittel“ bewertet.

Das Holz lässt sich ähnlich dem der Eiche verwenden, verkernt allerdings früher und intensiver, eignet sich infolge offener Poren nicht für Flüssigkeitsbehälter und gilt als weniger wertvoll. In Verbindung mit der für ein Laubholz hohen Massenleistung und beeindruckenden Zuwachsleistungen in der Jugend fällt die ökonomische Bewertung positiv aus.

Die Halbschattbaumart wird bevorzugt beim Auspflanzen von Bestandeslücken, zur Rekultivierung und beim Unterbau – häufig in Mischung mit dienender Buche, Hainbuche oder Winterlinde – verwendet, kann aber ebenso als Hauptbaumart im Reinbestand bzw. in trupp- bis horstweiser Beimischung zu Lärche (*Larix decidua* Mill.) und Douglasie eingesetzt werden. Die große Standortsamplitude der Roteiche erfährt lediglich bei hohen Kalkanteilen eine Einschränkung.

Die Roteiche verjüngt sich auch bei mächtigerem Auflagehumus natürlich, wobei der Eichelhäher ihre Samen über weite Strecken transportieren kann. Dies hat zusammen mit dem guten Stockausschlagsvermögen dazu beigetragen, der Roteiche ein mittleres Invasionspotential zu bescheinigen.

Die Einwertung der „Pathogen- und Schädlingsresistenz“ (biotischer Waldschutz) ergibt einen mittleren Befund. Dabei sind insbesondere Eichenwelke (*Ceratomyces fagacearum* (Bretz) Hunt), Verbiss sowie der Stammschädigungen hervorrufende *Pezicula*-Krebs (*Pezicula cinnamomea* (DC.) Sacc.) zu nennen.

### Standorte des Versuchsanbaus – ein Ausblick

Während einerseits noch die Verfügbarkeit des Saatgutes für einen Teil der neuen Versuchsanbauten geprüft wird, ist das Saatgut für einen Teil der „Neuen“ bereits aufgelaufen (Abbildung 4 Gelbkiefer, *Pinus ponderosa*). Letztendlich ist geplant, mit ihnen mindestens fünf Anbauflächen mit jeweils sechs Baumarten (vier Nadel- und zwei Laubbaumarten) zu bestücken. Für die eigentliche Auswahl der Anbauorte ist es besonders wichtig, den erwarteten Klimawandel vorwegzunehmen (Simulation der zeitlichen Entwicklung mit Hilfe räumlicher Entfernung). Anbauorte, an denen bereits heute zu dem in den prospektiven Anbauregionen zukünftig herrschenden Klima ähnliche Verhältnisse herrschen, sind zu bevorzugen. Will man die Anbaueignung für die Untermainebene bestimmen, müssen die Versuchsanbauten dafür z. B. im Wallis (Schweiz) oder im Burgenland (Österreich) liegen. Die Auswahl von Versuchsflächen mit mittleren Bodenverhältnissen kann die unterschiedlichen Substratansprüche der Baumarten weitgehend ausgleichen.



Abbildung 4: Gelbkiefer (*Pinus ponderosa*) im Quartier (Foto: G. Huber)

## Literatur

Bei der schlaglichtartigen Charakterisierung der fünf Gastbaumarten konnte aus einer großen Fülle von Monografien, Enzyklopädien, Schriften (-reihen), Publikationen und mündlichen Mitteilungen „geschöpft“ werden. Da eine Auflistung aller Fundstellen nicht möglich ist, bieten wir an, Referenzen auf gezielte Nachfrage hin zu übermitteln. Im Folgenden wird deshalb nur die Literatur angeführt, die die Bedeutung der Gastbaumarten im Klimawandel hervorhebt oder als Basis für das methodische Vorgehen zur Auswahl geeigneter Baumarten dient.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.) (2008): *Die Douglasie – Perspektiven im Klimawandel*. LWF Wissen Nr. 59, Freising

Biermayer, G. (1999): *Fremdenfurcht unangebracht – fremdländische Baumarten im Bayerischen Staatswald*. LWF aktuell 45, S. 6–9

Brang, P.; Bugmann, H.; Bürgi, H.; Mühlethaler, A.; Rigling, U.; Schwitter, A.; Schwitter, R. (2008): *Klimawandel als waldbauliche Herausforderung*. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 159, S. 362–373

Engelmark, O.; Sjöberg, K.; Andersson, B.; Rosvall, O.; Agren, G.E.; Baker, W.L.; Barklund, P.; Björkman, C.; Despain, D.G.; Elfving, B.; Ennos, R.A.; Karlman, M.; Knecht, M.F.; Knight, D.H.; Ledgard, N.J.; Lindelöw, A.; Nilsson, C.; Peterken, G.F.; Sörlina, S.; Sykes, M.T. (2001): *Ecological effects and management aspects of an exotic tree species: the case of lodgepole pine in Sweden*. Forest Ecology and Management 141, S. 3–13

Kölling, C. (2008 a): *Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen*. In: Lozán, J. L.; Graßl, H.; Jendritzky, G.; Karbe, L.; Karbe, K. (Hrsg.) *WARNSIGNAL KLIMA: Gesundheitsrisiken – Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen*. GEO/Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, S. 357–361

Kölling, C. (2008 b): *Die Douglasie im Klimawandel: Gegenwärtige und zukünftige Anbaubedingungen in Bayern*. LWF Wissen Nr. 59, S. 12–21

Kölling, C.; Zimmermann, L. (2007): *Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel*. Gefahrstoffe/Reinhaltung der Luft 67

Nüßlein, S. (1999): *Regionale Flächenanteile fremdländischer Baumarten im Staatswald Bayerns*. LWF aktuell 45, S. 15

Schmiedinger, A.; Bachmann, M.; Kölling, C.; Schirmer, R. (2009): *Verfahren zur Auswahl von Baumarten für Anbauversuche vor dem Hintergrund des Klimawandels*. Forstarchiv 1, S. 15–22

Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F. (CEC) (2007): *Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG (Kurztitel)*. UBA-FZK 204 41 138, UBA-Publikationsreihe, Dessau. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf>

Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. (2005): *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology 25, S. 1965–1978

**Key words:** Stand conversion , exotic tree species, climate change, growth trials , tree species selection

---

**Summary:** With respect to the uncertainty of whether native tree species can cope with the predicted climate change scenarios, science-based cultivation tests of exotic tree species should not be off-limits. A strategy for testing exotic climate-adapted tree species relevant to forestry in Bavaria is presented using a stratified “three-filter-method”. Potential tree species are evaluated using a climatic adaptation filter, an utilization value filter, and a growth and survival filter in order to be considered for subsequent cultivation tests. Using this methodology five promising exotic tree species - *Abies grandis* (Douglas ex D. Don) Lindley., *Castanea sativa* Miller., *Pseudotsuga mezeisii* (Mirb.) Franco., *Pinus nigra* Arnold., *Quercus rubra* L. - that have been planted across Bavaria in the past have been examined. In particular, the utility value filters’ sociocultural, ecological (including silviculture) and economic aspects will be discussed. In addition, the reproduction, species establishment and growth potential will be discussed.

---

# Provisorische Klima-Risikokarten als Planungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern

Christian Kölling, Elke Dietz, Wolfgang Falk und Karl-Heinz Mellert

**Schlüsselwörter:** Klimawandel, Waldumbau, Fichte, Buche, Klimarisikokarten

**Zusammenfassung:** Für den klimagerechten Waldumbau in Bayern werden vorläufige Planungskarten vorgestellt, die zunächst für die Baumarten Fichte und Buche das klimatische Anbaurisiko in der Gegenwart und in einer von einer Erwärmung um etwa 2°C gekennzeichneten Zukunft angeben. Eingangsgrößen für die Modellbetrachtungen sind hochaufgelöste Klimakarten, das digitale Geländemodell, ein regionales Klimamodell und die vorhandenen forstlichen Standortskarten. Die resultierenden Klima-Risikokarten ergänzen die Standortskarten und sind mit diesen zusammen zu verwenden. Als Provisorien werden sie bald von erweiterten und detaillierteren Planungsgrundlagen abgelöst werden, in die auch besser abgesicherte Schwellenwerte der Baumreaktionen gegenüber Hitze und Trockenheit eingehen sollen.

## Ausgangssituation

Als besonders umweltgebundener und von den klimatischen Verhältnissen abhängiger Wirtschaftszweig ist die Forstwirtschaft stark vom Klimawandel betroffen (Kölling 2008). In Bayern hat sich die Staatsregierung angesichts bereits eingetretener Schäden und in Kenntnis der sich künftig weiter verändernden Klimabedingungen zum klimagerechten Waldumbau entschlossen (StMUGV 2007). Er besteht im Wesentlichen daraus, anfällige Baumarten mit weniger anfälligen und an die künftigen Bedingungen besser angepassten Spezies zu ersetzen (Kölling 2008; Kölling et al. 2008). Im Jahr 2008 hat man damit begonnen, die dafür notwendigen Pla-

nungsgrundlagen in groß angelegten Projekten systematisch zu erarbeiten. Da diese Arbeiten erst im Jahr 2011 abgeschlossen sein werden, wurde eine provisorische Lösung notwendig, um schon jetzt die Umbau-schwerpunkte identifizieren und die gegenwärtig anstehenden Umbauvorhaben auf sicherer Planungsbasis beginnen zu können.

## Datengrundlagen

Bisher stützte man sich bei der Baumartenwahl auf die Angaben der forstlichen Standortserkundung (Standortskarten, Standortsoperate und Baumarteneignungstabellen). Diese Grundlagen liegen jedoch noch nicht für die gesamte Waldfläche und nicht vollständig in digitaler Form vor. Die vorhandenen Standortskarten erlauben darüber hinaus kaum eine dynamische Anpassung an geänderte Klimabedingungen, weil in ihnen das Klima nicht als eigener Standortsfaktor verschlüsselt ist.

Daher verwenden wir für unsere provisorischen Klima-Risikokarten landesweit digital vorliegende Datenquellen, die in Tabelle 1 aufgeführt sind. Die in den vorhandenen Standortskarten enthaltenen Informationen zur Bodenqualität können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht digital eingearbeitet werden. Es ist deshalb notwendig, sowohl die neuen Risikokarten als auch die herkömmlichen Standortskarten einander ergänzend zu verwenden.

Tabelle 1: Datenquellen

| Datenquelle                                 | Auflösung     | Inhalt                                    | Referenz                         |
|---------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------|
| Klimakarten 1971–2000                       | 50 × 50 m     | Temperatur, Niederschlag                  | ZIMMERMANN ET AL. 2007           |
| Digitales Geländemodell DGM                 | 50 × 50 m     | Neigung, Exposition                       | BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG |
| Regionales Klimamodell WETTREG, Szenario B1 | 14 × 14 km    | Temperaturänderung, Niederschlagsänderung | SPEKAT ET AL. 2007               |
| Forstliche Standortskarte (analog)          | ca. 50 × 50 m | Bodenart                                  |                                  |

## Dosis-Wirkungsbeziehungen

Das Problem der Einwirkung des Klimawandels auf unsere Waldbaumarten und die aus ihnen aufgebauten Wälder kann wie ein herkömmliches Dosis-Wirkungs-Problem behandelt werden, wie es zum Beispiel aus der Pharmakologie bekannt ist. Auf Grund des Klimawandels verändern sich verschiedene auf die Wälder wirkende Umweltgrößen und es ist von besonderem Interesse, welche Wirkungen damit verbunden sind. Nach allen Szenarien werden die Temperaturen zunehmen und die Niederschläge tendenziell gleich bleiben, aber vom Sommer auf den Winter umverteilt werden. Mit dem Klimawandel nimmt die Dosis an Wärme zu, während die Dosis des Niederschlags, zumindest in der Vegetationsperiode, eher abnimmt. Zu einer Ressource wird das Niederschlagswasser für die Bäume jedoch erst dank der Vermittlung des Bodens. Der Wasserhaushalt der Waldbäume ist ein komplexes Wechselspiel zwischen der Anlieferung, d. h. dem Niederschlag, dem Transpirationsverbrauch der Bäume und der Zwischenspeicherung im Boden. Dieses Gefüge lässt sich mit der Wasserhaushaltsgröße Transpirationsdifferenz ( $T_{diff}$ ) beschreiben (Schultze et al. 2005, Falk et al. 2008). Sie gibt den Grad des Wassermangels als Differenz zwischen der bei uneingeschränkter Wasserverfügbarkeit möglichen und der auf Grund von Trockenheit wirklichen Transpiration der Bäume an. Im Wesentlichen bestimmen die in der Vegetationsperiode fallenden Niederschläge, die die Verdunstung bestimmenden Größen Vegetationszeittemperatur und Strahlung sowie die Wasserspeicherkapazität und -durchlässigkeit der Böden, daneben aber auch die genetisch fixierte Durchwurzelungstiefe der einzelnen Baumarten die Transpirationsdifferenz.

Die Verteilung der Wasserhaushaltsgröße Transpirationsdifferenz  $T_{diff}$  in Bayern ist in Abbildung 1 oben dargestellt. Ihr steht die Wirkungsgröße des in den einzelnen Regionen Bayerns verwirklichten Fichtenanteils gegenüber. Schon bei einem visuellen Vergleich der oberen mit der unteren Karte wird die Verknüpfung der Wirkungsgröße „Fichtenanteil“ mit der Ursachengröße „ $T_{diff}$ “ deutlich. Dabei offenbart sich der Zusammenhang zwischen dem kühl-feuchten Gebirgsklima und der Häufigkeit der Baumart Fichte. Schon Plinius d. Ä. wies 77 v. Chr. in seiner Naturgeschichte auf diesen Zusammenhang hin: „*Picea montes amat atque frigora*“ („Die Fichte liebt die Berge und die Kälte“). Die größere Häufigkeit der Fichte in den kühl-feuchten Klimaten beruht nicht nur auf den dieser Baumart eigenen Vorlieben, sondern auch auf den Anbauentscheidungen mehrerer

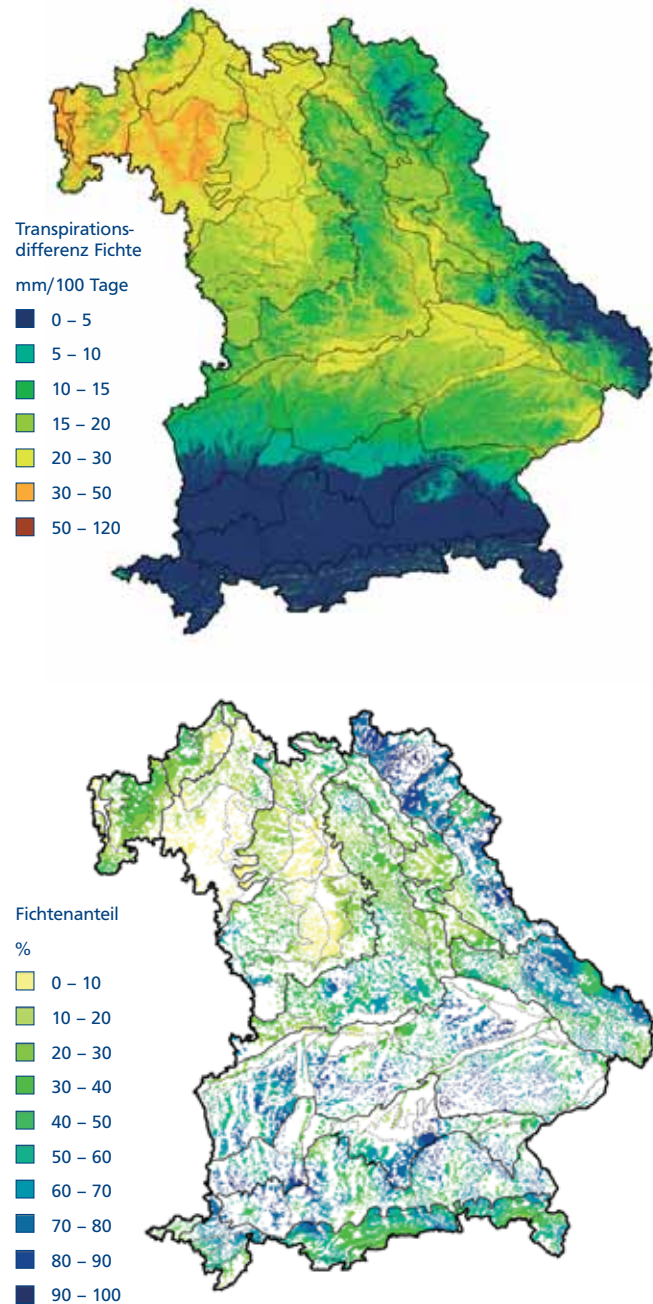


Abbildung 1: Verteilung der Wasserhaushaltsgröße  $T_{diff}$  unter Annahme eines bayernweit einheitlichen Bodens (Mittlere Wasserspeicherkapazität, Periode 1971-2000, Falk et al. 2008) und Verteilung der Fichtenvorkommen (Anteile aus der Winkelzählprobe 1/2 der Bundeswaldinventur BWI<sup>2</sup>) in Bayern

Generationen von Waldbesitzern und Forstleuten, die diesen Zusammenhang bei ihrer Anbauentscheidung bewusst oder intuitiv berücksichtigt hatten. Sie haben dabei stets auch aus den Erfahrungen des sich einstellenden oder ausbleibenden Anbauerfolgs gelernt.

Die eigentliche wissenschaftliche Herausforderung besteht nun darin, Ursache und Wirkung mit Hilfe einer Modellbeziehung zu beschreiben, die über verbale Lehrsätze oder persönliche Erfahrung hinausgeht. Nur wenn die Ursachen der klimatischen Umwelt und deren Wirkungen auf die Bäume modellhaft als Dosis-Wirkungsbeziehung beschrieben werden, ist es möglich, die Auswirkungen der vom Klimawandel verursachten Änderungen der Dosisgrößen abzuschätzen. In Abbildung 2 wird der Schritt der Modellbildung in einer einfachen Form vollzogen. Die beobachtete Häufigkeit der Fichte wird den Wertklassen der Transpirationsdifferenz gegenüber gestellt. Dabei wird der bereits aus der Betrachtung der beiden Karten in Abbildung 1 erfasste Zusammenhang formalisiert und damit nachvollziehbar dargestellt. Die orange Linie stellt eine erste Verallgemeinerung (Generalisierung) der in den Boxplots enthaltenen Informationen dar. Für die provisorische Planungshilfe haben wir die Generalisierungen nach Expertenurteil durchgeführt. In dem schon begonnenen, aber erst Ende 2011 abgeschlossenen Vorhaben „Bäume für die Zukunft“ wird die Modellbeziehung mit einem stochastischen Modell gefasst. Zudem wird ein größeres Datenkollektiv verwendet und weitere Dosis- und Wirkungsgrößen werden einbezogen. Wir erwarten, dass wir die ursächlich begründeten Zusammenhänge mit diesen Modellen mathematisch vollständiger und zutreffender fassen können als dies bei der provisorischen Lösung der Fall ist.

In Abbildung 3 ist aus dem Vorhaben „Bäume für die Zukunft“ eine erste Auswertung der Beziehung zwischen der Transpirationsdifferenz  $T_{diff}$  und dem Fichten-vorkommen mit Hilfe eines Generalisierten Additiven Modells dargestellt. Auf der Wirkungsachse sind in diesem Fall die prognostizierten Fichtenanteile aufgetragen. Über einem Wert von 50 Millimetern pro 100 Tage Wasserdefizit, also bei sehr trockenen Bedingungen, sinkt der Fichtenanteil auf unter zehn Prozent. Die sehr trockenen Verhältnisse traten bisher kaum auf, nach den Klimaszenarien sind sie in Zukunft aber häufig zu erwarten. Abbildung 3 verdeutlicht einerseits die problematische Lage der Fichte in der Zukunft, aber auch unsere Erkenntnislücken. Bisher konnten Fichten in Bayern nur selten unter den trockenen Bedingungen, wie sie in der Zukunft zu erwarten sind, beobachtet

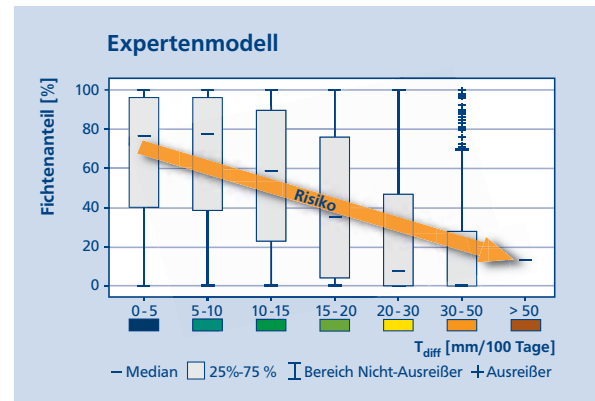


Abbildung 2: Fichtenanteile nach der Winkelzählprobe 4 der Bundeswaldinventur BWI<sup>2</sup> in Klassen der Transpirationsdifferenz  $T_{diff}$  und gutachtlich eingefügte Modellbeziehung für das mit der Transpirationsdifferenz ansteigende Anbau-risiko (Pfeil)

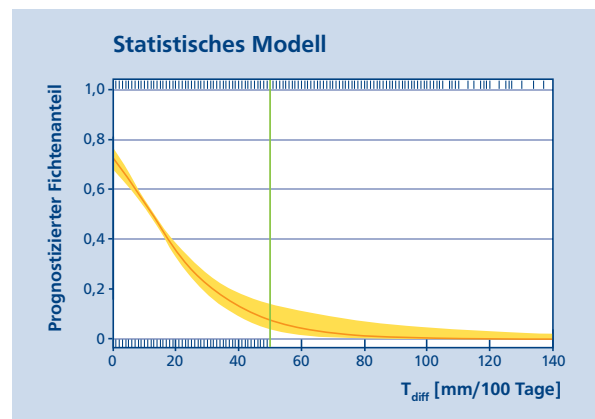
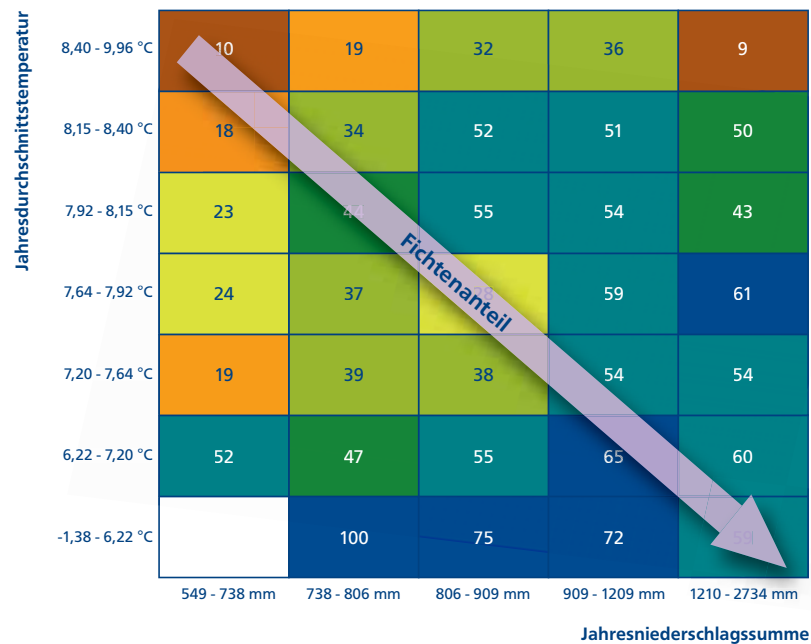


Abbildung 3: Einfluss der Transpirationsdifferenz auf den Fichtenanteil an Inventurpunkten der BWI heute (Bereich links von der grünen Linie) und in der Zukunft (Bereich rechts von der grünen Linie) auf der Basis eines generalisierten additiven Modells (GAM); die Häufigkeit der heute in Bayern vorkommenden Werte der Transpirationsdifferenz ist als Randplot auf der X-Achse unten, die für die Zukunft prognostizierten Transpirationsdifferenzen sind oben dargestellt. Der gelbe Bereich gibt das 95%-Konfidenzintervall und damit die Unsicherheit der Prognose auf der Basis der vorhandenen Daten wieder (aus: Brockhaus et al. 2009).

werden, weil weite Teile Bayerns ein eher kühles und feuchtes Klima aufweisen. Um zuverlässigere Prognosen zu erhalten, werden daher im Projekt „Bäume für die Zukunft“ Datensätze aus wärmeren Regionen Deutschlands in die Modellentwicklung mit einbezogen.

Neben dem Wasserhaushalt haben wir nach weiteren als Dosisgrößen in Frage kommenden Klimaparametern gesucht. Analog zu den in den Klimahüllen (Kölling und Zimmermann 2007) verwendeten Achsen Jahresdurchschnittstemperatur und Jahresniederschlagssumme konstruierten wir aus sieben Jahrestemperaturklas-

Abbildung 4: Fichtenanteil aus der Winkelzählprobe 4 (Mittelwerte) der Bundeswaldinventur in einer 7\*5-Matrix aus Jahresdurchschnittstemperatur und Jahresniederschlagssumme (1971–2000)



#### Bewertungsskala: Klimarisiko für die Baumart (mit Empfehlung)

- (1) sehr geringes Risiko (als führende Baumart möglich)
- (2) geringes Risiko (als führende Baumart mit ausreichender Beimischung anderer Baumarten möglich)
- (3) erkennbares Risiko (als Mischbaumart in hohen Anteilen möglich)
- (4) mittelhohes Risiko (als Mischbaumart in mittleren Anteilen möglich)
- (5) deutlich erhöhtes Risiko (als Mischbaumart in mäßigen Anteilen möglich)
- (6) hohes Risiko (als Mischbaumart in geringen Anteilen möglich)
- (7) sehr hohes Risiko (als Mischbaumart in sehr geringen Anteilen möglich)

sen und fünf Jahresniederschlagssummenklassen mit jeweils gleicher Waldfläche (1/7 bzw. 1/5 der Waldfläche Bayerns) eine Matrix (Abbildungen 4 und 5). Die auf Abbildung 4 in diese Matrix eingetragenen Mittelwerte der Fichtenanteile aus der Bundeswaldinventur illustrieren den Zusammenhang zwischen Klima und Fichtenvorkommen. In den kühlen und feuchten Zellen der Matrix (unten rechts) sind die Fichtenanteile tendenziell höher als in den warmen und trockenen. Auch die Matrix zeigt: Die Fichte liebt die Berge und die Kälte.

Bei der Modellbildung wird dieser Zusammenhang generalisiert. In Abbildung 5 wurde eine einfache Beziehung, die lineare Abnahme der Fichtenhäufigkeit bei erhöhter Temperatur und verringertem Niederschlag angenommen, die den Zusammenhang in einer ersten Näherung am besten beschreibt. Die Diskrepanzen zwischen den in Abbildung 4 dargestellten Vorkommen der Fichte und dem linearen Modell (Abbildung 5) werden im Zuge dieser Generalisierung ausgeblendet. Der Einfluss störender, zufallsbedingter Ergebnisse entfällt damit. Bei diesem Vorgehen bleiben allerdings auch ursächlich begründete Abweichungen unberücksichtigt, die mit Hilfe weiterer Dosisvariablen, z. B. des lokalen Bodenwasserhaushaltes, erklärt werden könnten. Daher wurden bereits für die provisorischen Klimarisikokarten Informationen zum Bodenwasserhaushalt hinzugenommen, die es erlauben, besser auf die Bedingungen vor Ort einzugehen.

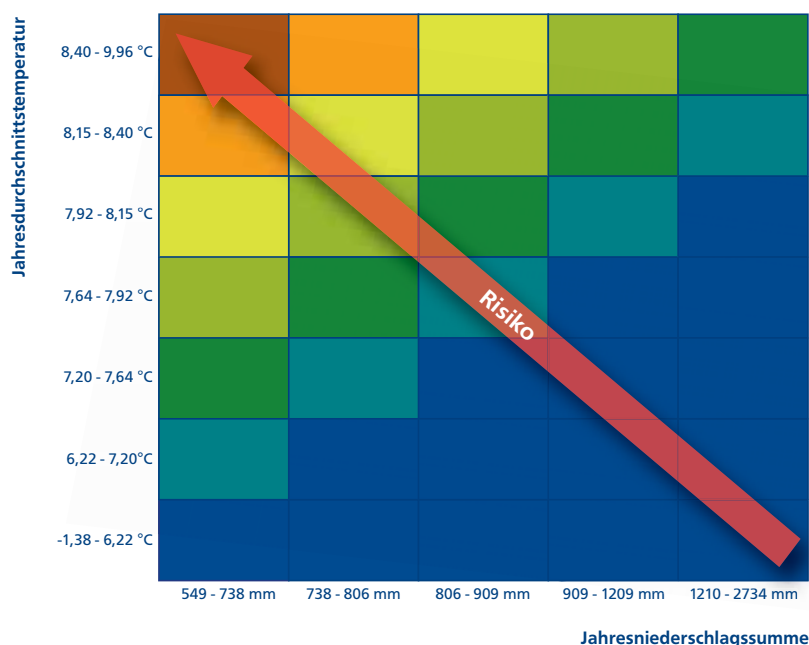


Abbildung 5: Einfache Generalisierung der Zusammenhänge aus Abbildung 4

## Schwellenwerte für das Anbaurisiko

Die unterschiedlichen Fichtenanteile bei unterschiedlichen klimatischen Dosen an Transpirationsdifferenz bzw. an Temperatur und Niederschlag wurden für die provisorischen Klimarisikokarten als relative Reihung des Anbaurisos für die Fichte innerhalb klimatischer Gradienten interpretiert. Je geringer der Wassermangel, je kühler und feuchter die Klimabedingungen, desto mehr Fichten sind am Waldaufbau beteiligt und desto geringer ist das Anbaurisiko (oranger Pfeil in Abbildung 5). Unter Anbaurisiko verstehen wir das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Schäden und der Schadenshöhe. In der jüngeren Vergangenheit wurden so viele schwere Schadensverläufe in Fichtenbeständen warm-trockener Klimaregionen beobachtet (Kölling et al. 2009, Kölling et al. 2009b), dass eine derartige Parallelisierung gerechtfertigt scheint. Wir drücken daher die Wirkungsgröße Fichtenanteil als Anbaurisiko aus und verwenden dabei die siebenteilige Skala in der Legende zu Abbildung 4.

Mit Hilfe dieser Risikoklassen, der in den Abbildungen 3 und 5 dargestellten Modellbeziehungen und Karten der Wirkungsgrößen wie in Abbildung 1 (oben) kann nun das Anbaurisiko für die gegenwärtigen klimatischen Verhältnisse (Periode 1971–2000) als Karte dargestellt werden. Dabei wurden die Risikobewertungen nach dem Wasserhaushalt (einheitlich mittlere Bodenverhältnisse) sowie nach Temperatur und Niederschlag arithmetisch gemittelt und in einer einzigen Risikokarte

zusammengefasst (Abbildung 6). Bei dieser Mittelung erzeugen wir eine gewisse Redundanz, weil in beiden Modellverfahren Temperatur und Niederschlag eingehen. Die Mittelung sichert aber die Ergebnisse besser ab.

Das derart erstellte Kartenergebnis sollte nun in einer sehr generalisierten Form dem gegenwärtigen klimatisch bedingten Anbaurisiko der Fichte entsprechen. Rückmeldungen verschiedener Nutzer der Karte ergaben weitgehende Übereinstimmungen mit den vorhandenen Einschätzungen. Die Karte in Abbildung 6 ist daher wohl generell richtig und realistisch, weist aber Mängel an Präzision auf, weil weitere lokal wirksame Einflussfaktoren ausgeblendet sind. Nach Levins (1962) können von den drei Grundanforderungen an biologische Modelle (Generalität, Realität und Präzision) ohnehin überhaupt nur zwei gleichzeitig erfüllt werden. Die relative Reihung des Risikos erfüllt den angestrebten Zweck einer provisorischen Risikokarte demnach zufriedenstellend.

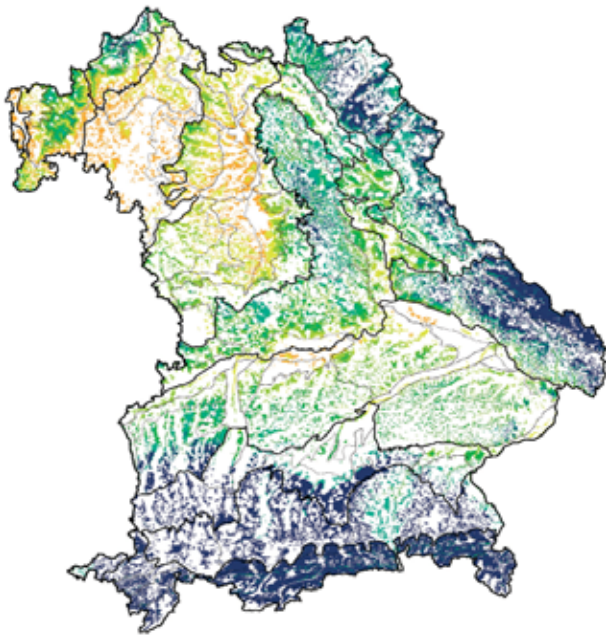


Abbildung 6: Risikokarte für den Fichtenanbau; gegenwärtige (1971–2000) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse

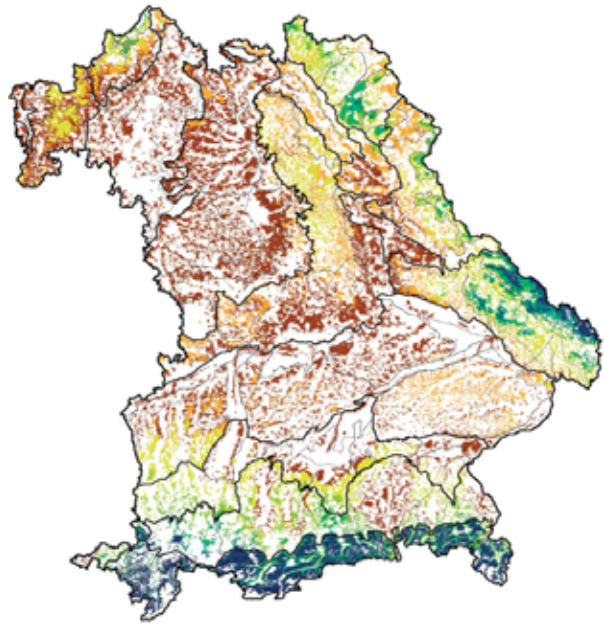


Abbildung 7: Risikokarte für den Fichtenanbau; zukünftige (2071–2100, WETTREG-Regionalisierung, Szenario B1) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse



Abbildung 8: Risikokarte für den Buchenanbau; gegenwärtige (1971–2000) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse

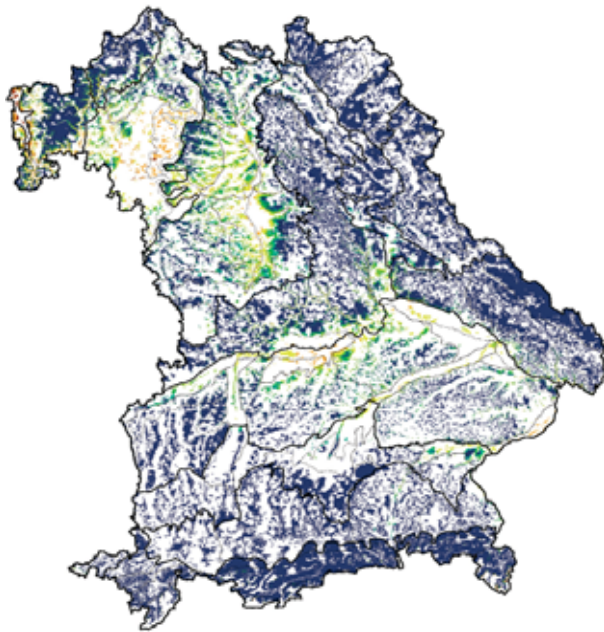


Abbildung 9: Risikokarte für den Buchenanbau; zukünftige (2071–2100, WETTREG-Regionalisierung, Szenario B1) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse

- (1) sehr geringes Risiko
- (2) geringes Risiko
- (3) erkennbares Risiko
- (4) mittelhohes Risiko
- (5) deutlich erhöhtes Risiko
- (6) hohes Risiko
- (7) sehr hohes Risiko

| Bodenart der Standortkarte     | Wasserhaltevermögen im Vergleich zu den Beispielkarten                                                                       | Klima-Risikokarte |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Sand                           | „Gering“, bei Grundwasseranschluss näher an „Mittel“ (Kapillarer Aufstieg)                                                   | G                 |
| Lehmiger Sand                  | Zwischen „Gering“ und „Mittel“, näher an „Gering“                                                                            | G                 |
| Sandiger Lehm                  | Zwischen „Gering“ und „Mittel“, näher an „Mittel“                                                                            | M                 |
| Lehm                           | Etwas höher als „Mittel“                                                                                                     | M                 |
| Feinlehm, Schlufflehm, Schluff | „Hoch“                                                                                                                       | H                 |
| Milder Ton                     | Durchwurzelbarkeit gegeben „Mittel“                                                                                          | M                 |
| Strenger Ton                   | Durchwurzelbarkeit eingeschränkt (Quellung/Schrumpfung) „Gering“                                                             | G                 |
| Decksand und -lehm             | Decksand und -lehm je nach Sandanteil in der Überdeckung und Tonanteil und -art im Unterboden zwischen „Gering“ und „Mittel“ | G/M               |
| Schichtsand                    | Etwas höher als reiner Sand „Gering“ bis „Mittel“                                                                            | G/M               |
| Schichtlehm                    | „Mittel“ (milder Ton, Tonlehm) oder etwas niedriger (strenger Ton)                                                           | M                 |

Tabelle 2: Zuordnungstabelle der Klima-Risikokarten G, M und H zu den Legendeneinheiten der Standortkarte

## Blick in die Zukunft

Ein Vorteil numerischer Modelle ist die Möglichkeit, diese auf veränderte Eingangsgrößen anzuwenden. Die Karte in Abbildung 7 ist nach den gleichen Regeln wie die Karte in Abbildung 6 erstellt worden, nur wurden in diesem Fall die Klimawerte der Periode 2071-2100 nach der WETTREG-Regionalisierung (Szenario B1, Spekat et al. 2007) verwendet. Selbst bei dem vergleichsweise „milden“ Szenario B1, das für unsere Region mit einer mittleren Temperaturerhöhung von „nur“ 1,8°C verbunden ist, erhalten beachtliche Teile der Waldfläche (über 25 %) ein neues, bis heute in Bayern nicht beobachtetes Klima. Die Modelle müssten also jenseits ihres Gültigkeitsbereichs extrapoliert werden. Wir lösten dieses Problem, indem wir alle diese Flächen der gegenwärtig höchsten Risikostufe zuordneten. Das Risiko wird demnach nicht extrapoliert und steigt nicht über das derzeitige höchste beobachtete Niveau an. Im Vergleich der Karte für die Periode 2071-2100 (Abbildung 7) mit der Karte für die Periode 1971-2000 (Abbildung 6) wird der landesweite Anstieg des Anbaurisikos deutlich. Mit einem sehr geringen Risiko und damit guten Anbaubedingungen wird man künftig nur in den höchsten Lagen der Mittelgebirge und der Alpen rechnen können.

## Kombination mit der Standortkarte

Die eine Hälfte der Information der Risikokarten stammt aus der Karte der Transpirationsdifferenz  $T_{\text{diff}}$ . Diese Größe hängt deutlich von der Wasserspeicherkapazität und -durchlässigkeit des Bodens ab. Wir entwickelten die Karten daher für drei Standardböden mit jeweils sehr geringer, mittlerer und hoher Wasserspeicherkapazität

(nutzbare Feldkapazität 41 mm, 133 mm und 227 mm, vgl. Falk et al. 2008). Auch die resultierende kombinierte Klimarisikokarte, wie sie in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt ist, erstellten wir in diesen drei Varianten: G 2000, M 2000, H 2000 sowie G 2100, M 2100, H 2100. G steht für geringe, M für mittlere und H für hohe Wasserspeicherkapazität. Für die Zuordnung im Einzelfall müssen unbedingt die herkömmlichen Standortkarten verwendet werden. Aus den dort enthaltenen Angaben über die vorherrschende Bodenart kann nach Tabelle 2 bestimmt werden, welche der drei Risikokarten am ehesten auf den in Frage stehenden Standort anzuwenden ist. Zusätzlich ist der Skelettgehalt zu berücksichtigen, der sich linear erniedrigend auf die Feldkapazität auswirkt. Bei der Anwendung führt der Anwender demnach die beiden Informationsquellen Standortkarte und Klimarisikokarte manuell zusammen.

## Ausblick

Es ist vorgesehen, innerhalb kurzer Zeit weitere Karten für die Baumarten Buche, Kiefer, Eiche, Bergahorn, Tanne, Europäische Lärche und Douglasie zu erstellen. Die Arbeiten für die Buchen-Risikokarte sind bereits abgeschlossen (Abbildungen 8 und 9). Nachdem jede Baumart ihre spezifischen Klimarisiken aufweist, werden die Dosis-Wirkungs-Modelle für jede Baumart verschieden sein. Die Achillesferse der Buche ist nach den Ergebnissen vieler Arbeiten (z. B. Bolte et al. 2007; Manthey et al. 2007) der Wasserhaushalt. Wir verwendeten daher bei der Erstellung der Risikokarten vorwiegend die Transpirationsdifferenz  $T_{\text{diff}}$  und nur an der Kältengrenze der Buche die Jahresdurchschnittstemperatur (Abbildungen 8 und 9).



Abbildung 10: Klima-Risikokarte Fichte M 2000 für das Testgebiet Waldsassen; unterstellt werden mittlere Bodenverhältnisse.

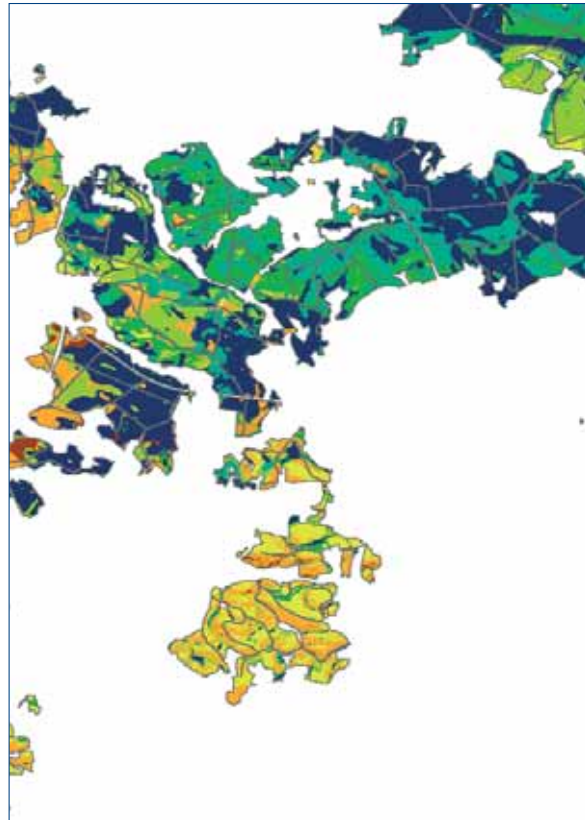


Abbildung 11: Klima-Risikokarte Fichte M 2000 für das Testgebiet Waldsassen; unterstellt werden die tatsächlichen Bodenverhältnisse.

## Anwendung in der Praxis

Für die Anwendung in der Praxis werden neun Karten für jede Baumart (G 2000, G 2050, G 2100, M 2000, M 2050, M 2100, H 2000, H 2050, H 2100) in einem Layer-System in einer pdf-Datei zusammengefasst. Damit ist es möglich, ohne größere Software-Kenntnisse mit dem Acrobat-Reader durch Baumarten, Perioden und Böden zu navigieren. Die Werte für die Jahrhundertmitte (2050) sind einfache Interpolationen zwischen den Anfangs- und Endrisiken des betrachteten Zeitraums. Wir weisen stets darauf hin, dass es sich bei den Risikokarten um Provisorien handelt, die verbessert und ersetzt werden müssen. Zum einen erwarten wir uns im Vorhaben „Bäume für die Zukunft“ eine deutlich verbesserte Ableitung der Dosis-Wirkungsbeziehungen. Zum anderen erweitern wir im Projekt „Karten für die Zukunft“ die Regionalisierungsgrundlagen, z. B. mit Hilfe des Einarbeitens der lokal vorliegenden Bodeninformationen aus den vorhandenen Standortskarten. Künftig wird es unnötig sein, mit Standardböden und der alten Standortskarte zu arbeiten, vielmehr ist die Bodeninformation bereits in die Risikokarte eingearbeitet (Abbil-

dungen 10 und 11). Im Vergleich der beiden Abbildungen wird der Einfluss unterschiedlicher Böden auf den Wasserhaushalt deutlich. Nur im zentralen Bereich des Beispielsgebiets liegen die unterstellten mittleren Bodenverhältnisse vor, für die anderen Flächen hätte man die entsprechenden Karten für sehr geringe oder hohe Wasserspeicherung heranziehen müssen.

Je besser die Planungsgrundlagen sind, umso erfolgreicher können die Wälder im klimagerechten Waldumbau auf die mit Sicherheit wärmeren Verhältnisse am Ende des Jahrhunderts vorbereitet werden. „Es kommt nicht darauf an, die Zukunft vorauszusagen, sondern darauf, auf die Zukunft vorbereitet zu sein.“ (Perikles). In diesem Sinn haben auch unvollkommene Provisorien wie die Klimarisikokarten ihre Berechtigung als Grundlage für vorausschauendes Handeln angesichts des Klimawandels.

## Literatur

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (2007): *Bavarian Climate Programme 2020*. [http://www.stmugv.bayern.de/umwelt/klimaschutz/klimaprogramm/doc/klimaprogramm2020\\_en.pdf](http://www.stmugv.bayern.de/umwelt/klimaschutz/klimaprogramm/doc/klimaprogramm2020_en.pdf)

Bolte, A.; Czajkowski, T.; Kompa, T. (2007): *The north-eastern distribution range of European beech – a review*. *Forestry* 80, S. 413–429

Brockhaus, C.; Fensterer, V.; Neider, J. (2009): *Zustand des Waldes unter veränderten Klimabedingungen – Nischenmodellierung mit GAM und CART*. Unveröffentlichter Praktikumsbericht, Institut für Statistik, LMU München, 60 S.

Falk, W.; Dietz, E.; Grünert, S.; Schultze, B.; Kölling, C. (2008): *Wo hat die Fichte genügend Wasser? Neue überregional gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung*. *LWF aktuell* 66, S. 21–25

Kölling, C.; Zimmermann, L. (2007): *Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber Klimawandel*. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 67, S. 259–268

Kölling, C. (2008) *Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen*. In: Lozán, J. L.; Graßl, H.; Jendritzky, G.; Karbe, L.; Reise, K. (Hrsg.) *unter Mitwirkung von Maier, W.A. (2008): WARNSIGNAL KLIMA: Gesundheitsrisiken – Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen*. GEO/Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, S. 357–361

Kölling, C.; Konnert, M.; Schmidt, O. (2008): *Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel*. Antworten auf 20 häufig gestellte Fragen. *AFZ/Der Wald* 63, S. 804–807

Kölling, C.; Zimmermann, L.; Borchert, H. (2009a): *Von der »Kleinen Eiszeit« zur »Großen Heizeit«*. Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Fichtenanbaus in Deutschland. *LWF aktuell* 69, S. 58–61

Kölling, C.; Knoke, T.; Schall, P.; Ammer, C. (2009b): *Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels*. *Forstarchiv* 80, S. 42–54

Kölling, C.; Bachmann, M.; Falk, W.; Grünert, S.; Wilhelm, G. (2009c): *Soforthilfe Baumarteneignung-Anbaurisiko-Klimawandel*. Technischer Report (unveröffentlicht). *LWF Freising*, 80 S.

Kölling, C.; Bachmann, M.; Falk, W.; Grünert, S.; Schaller, R.; Tretter, S.; Wilhelm, G. (2009d): *Klima-Risikokarten für heute und morgen. Der Klimagerechte Waldumbau bekommt vorläufige Planungsunterlagen*. *AFZ/Der Wald* 64, S. 806–810.

Levins, R. (1966): *The strategy of model building in population biology*. *Am. Sci.* 54, 421–431

Manthey, M.; Leuschner, C.; Härdtle, W. (2007): *Buchenwälder und Klimawandel*. *Natur und Landschaft* 82, S. 441–445

Plinius Secundus, Gaius (77 v. Chr.): *Naturalis Historia, Liber XVI, XVIII*, 40

Schultze, B.; Kölling, C.; Dittmar, C.; Rötzer, T.; Elling, W. (2005): *Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung – Regression – Regionalisierung*. *Forstarchiv* 76, S. 155–163

Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F. (2007): *Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen*. Projektbericht im Rahmen des F+E-Vorhabens 204 41 138 „Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase I: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland“, Mitteilungen des Umweltbundesamtes, 149 S.

Zimmermann, L.; Rötzer, T.; Hera, U.; Maier, H.; Schulz, C.; Kölling, C. (2007): *Konzept für die Erstellung neuer hochaufgelöster Klimakarten für die Wälder Bayerns als Bestandteil eines forstlichen Standortinformationssystems*. In: Andreas Matzarakis und Helmut Mayer (Hrsg.): *Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET des Fachausschusses Biometeorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V.* Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg 16, S. 152–159

**Key words:** Climate change, conversion of stands, Norway Spruce, European Beech, climate-risk maps

**Summary:** A general aim in adapting Bavarian forests to climate change is the conversion of vulnerable stands to less vulnerable ones. For this conversion planning maps are urgently needed. We developed provisional maps based on a new regionalized climate map, a digital terrain model, a regional climate model, and the existent forest site map. The resulting maps contain the risk for cultivating tree species (i.e. Norway Spruce and European Beech) under present and future climate conditions (warming of about 2 degree centigrade). The climate-risk maps are an addition to the available site maps and should be applied together with them. Since being preliminary, our development aims at more detailed and extended maps and better formulated thresholds for tree reactions against heat and drought.

---

# Der Vorbau als schneller Weg zum Waldumbau in Fichtenbeständen

Manfred Schölch

**Schlüsselwörter:** Verjüngung, Vorbau, Umbau, Kosten, Risiken

**Zusammenfassung:** Vorbauten stellen ein hervorragendes Mittel dar, frühzeitig stabile Bestände zu begründen, viel waldbauliche Freiheit zu eröffnen und der Walddynamik Rechnung zu tragen. Unter Vor(an)bau wird die Pflanzung der später hauptständigen Baumart(en) im Schutz des Altbestandes verstanden. Vorbauten sind fachmännisch zu planen und zu entwickeln. Dazu bedarf es einiger Arbeitszeit, die im Hinblick auf das zügige Umbauen risikoreicher Fichtenbestände gegeben werden sollte. Der Verjüngung von Mischbaumarten angepasste Schalenwildbestände erlauben es, bei gleichem Mitteleinsatz die Vorbaufläche zu verdoppeln.

Wer nicht warten will, bis im Rahmen der regulären Verjüngung Mischbestände entstehen, kann bereits in der Durchforstungsphase einen neuen Weg einschlagen - voranbauen bzw. vorbauen. Obwohl seit langem bekannt ist, wie Buche oder Tanne in Fichtenbestände eingebracht werden können, stellen sich immer wieder folgende Fragen:

- Wann kann man mit dem Vorbau beginnen?
- Welche Arbeiten sind zu erwarten?
- Welche Mischungsform bietet sich an?
- Mit welchen Kosten ist zu rechnen?
- Welche Risiken treten insgesamt auf?



Abbildung 1: Tannenvorbau in einem Fichtenbestand  
(Foto: M. Schölch)

## Zeitpunkt

Die Zielsetzung des Waldbesitzers führt zum Zeitpunkt des Vorbaus. Die Kriterien Betriebsform (Schlagweiser Hochwald oder Dauerwald), Ziel (Waldumbau oder Beimischung), vorzubauende Baumart(en) (Schattbaumarten oder Lichtbaumarten), Standort (sehr wüchsig oder eher matt) und vor allem die Erwartung an den herrschenden Bestand (Funktion und Stabilität) geben den Rahmen vor. Einen allgemein gültigen Zeitpunkt kann es daher nicht geben. Dennoch zeichnet sich zunehmend die Auffassung ab, bereits im Stangenholzalter sinnvoll vorzubauen, wenngleich mehrheitlich Baum- und Altholz in Frage kommen dürften. Für eine überschlägige Kalkulation lässt sich abschätzen, wann die vorgebauten Bäumchen in die Krone der Altbäume wachsen würden, die dann zunehmend gefällt werden müssten. Beträgt beispielsweise der jährliche Höhenzuwachs im Mittel 30 Zentimeter und setzt die Krone bei 20 Metern Höhe an, ergeben sich rechnerisch etwa 65 Jahre Zeit.

## Voraussetzungen, Planung und Ausführung

Es ist leicht möglich, viel Geld ohne große Wirkung im Wald zu lassen (Hehn 1993). Deshalb ist eine sorgfältige Planung unbedingt erforderlich. Für einen erfolgreichen Vorbau müssen bestimmte Voraussetzungen gegeben sein:

- perfekte Feinerschließung;
- hinreichende Stabilität des Altbestandes;
- Abstände zu Grenzlinien und anderen Beständen (Faustzahl halbe Baumlänge, mindestens fünf Meter).

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, wird der Vorbau geplant. Zunächst ist es notwendig, zu beurteilen, ob

- der Altbestand seine zuge dachte Funktion erfüllen kann (Reaktionsvermögen, Verjüngung);
- schadlos vor- bzw. nachgelichtet werden kann;
- sich die Standortverhältnisse (Baumarten, Vegetation, Verjüngungszeiträume) eignen;
- genügend Licht und Standraum für die vorzubauenden Baumarten vorhanden ist.

Fällt die Beurteilung positiv aus, kann der Plan in die Tat umgesetzt werden. Dafür sind folgende Arbeiten zu erledigen:

- exakten Ort auswählen (ohne Jungwuchs, ohne/wenig Vegetation, Abrückscheide);
- Gruppenschirmstellung anlegen;
- Grenzen an Randbäumen markieren, gegebenenfalls vorzubauende Baumart vermerken (z. B. „Bu“ für Buche am Stamm einer zentral stehenden Fichte);
- gegen Verbiss schützen, falls erforderlich (Zaun oder seltener Einzelschutz);

- pflanzen oder säen;
- kontrollieren, ergänzen und später wiederholt nachlichten;
- Zaun kontrollieren, beim Fällen ab- und wieder aufbauen; reparieren;
- Jungwuchs pflegen (Kultur sichern, vor allem bei Brombeere);
- läutern und Zaun abbauen.

### Vorbau mit Zaunschutz

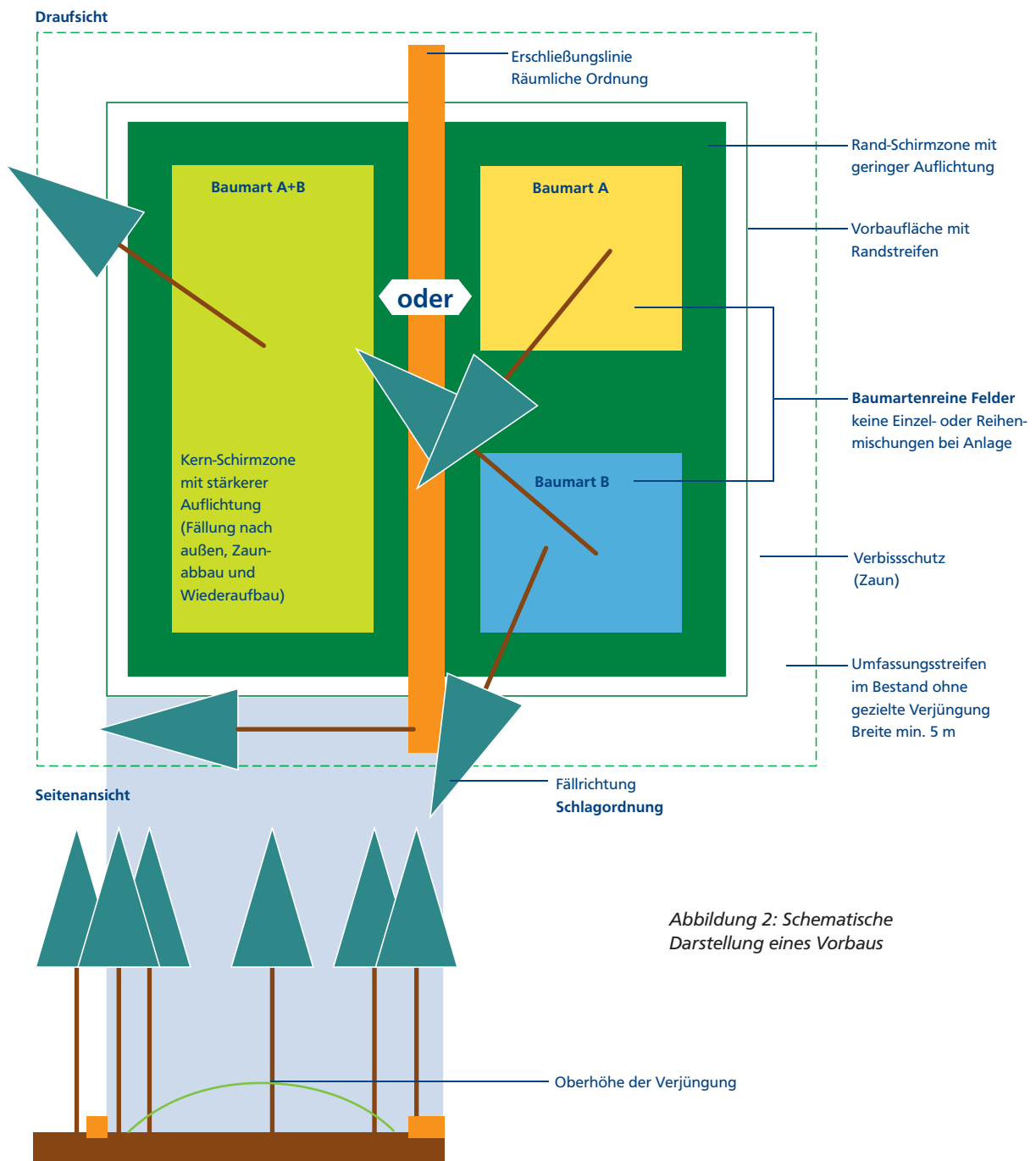


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Vorbaus

Abbildung 2 zeigt in sehr schematischer Form eine Vorbaueinheit mit Zaun und Feinerschließung. Sie weist auf folgende Punkte hin:

- Ort sorgfältig und überlegt auswählen;
- Vorbauorte an Erschließungslinien binden (Materialtransport, Fällungen);
- Mischungsformen entscheiden;
- Anschlusspflanzungen prüfen;
- Flächen vor Anlage des Vorbaus vorbereiten („Ent-rümpelungshieb“, Anlage und Markierung von Arbeitsfeldern für Baumartenmischungen, Aussparungen für Fällungen und Erschließung);
- Konflikte zwischen Schutz der Verjüngung und Fällungen zur Pflege der Verjüngung (Schlagordnung, Arbeitsfelder) lassen sich bei großen Vorbauflächen kaum vermeiden.

Auf jeden Fall vorteilhaft ist es,

- Abrückscheiden zu nutzen;
  - alle hinderlichen Bäume zu entnehmen, alle Bäume zu fällen, die nicht für circa zehn Jahre Stabilität versprechen;
  - Platz zum Fällen der Kronen zu lassen (die fallenden Schäfte verursachen kaum Schaden);
  - gegebenenfalls einzelne Bäume zum späteren Einwachsen vorsehen (z. B. Bäume mit Kronenbruch).
- Daher ist es kaum möglich, auf mehr als 50 Prozent der Fläche Vorbau zu begründen.

Nachlichtungen sind erforderlich, wenn bei Buchen der Gipfeltrieb schräg wächst oder die Belaubung schütter zu werden beginnt sowie bei Tannen die Höhentriebe zuwächse geringer sind als die der Seitentriebe und in Stammnähe die Nadeln abfallen (Heneka 1987). Nicht oder nur in geringem Maße sollte nachgelichtet werden, wenn die häufig mitwachsende Fichte ähnliche Höhenzuwächse erreicht.

Große Bedeutung kommt der Frage zu, ob bei Nachlichtungen der Hieb auf den starken oder auf den schwachen Stamm zu führen ist. Erfahrungswerte legen nahe (Weise 1995), bei mittleren Standortverhältnissen nach Kronenanteil zu entscheiden. Erreicht die mittlere Kronenlänge durchschnittlich mindestens 30 Prozent (tendenziell stabil, gutes Reaktionsvermögen), ist ein Hieb auf den starken, qualitativ schlechteren Stamm möglich. Bleibt die mittlere Kronenlänge durchschnittlich unter 30 Prozent (tendenziell instabil, wenig Reaktionsvermögen), empfiehlt es sich, den Hieb auf den schwachen, qualitativ schlechten, kurzkrönigen Stamm zu führen.



Abbildung 3: Buchenvorbau in einem Fichtenbestand, Grenze zwischen Rand- und Kernschirmzone (siehe Abbildung 2) (Foto: M. Schölch)



Abbildung 4: Richtiges Wachstum bei der Weißtanne: Der Höhentrieb sollte gleichlang oder länger wie die obersten Seitentriebe sein. (Foto: M. Schölch)

### Mischungsform

In der Regel spielt eine Baumart ihre Konkurrenzkraft aus. Nur wenige Standorte lassen ein längerfristiges Nebeneinander ohne Verdrängung zu. Vorbauten sollten daher ausnahmslos baumartenrein angelegt werden (Abbildung 1). Denn anderenfalls wird die unterlegene

Baumart verdrängt oder die kräftigere muss ausgehauen werden. Wozu dann auf diese Weise mischen? Bei den Mischungsformen Trupp (Durchmesser bis zu einer halben Baumlänge, d.h. circa 15 Meter) und noch deutlicher Gruppe (Durchmesser zwischen einer halben und einer ganzen Baumlänge) entstehen im Laufe der Zeit stabile Mischungen. Abzulehnen sind Einzelmischungen oder einzelne Reihemischungen, da sie zu häufig zum vollständigen Ausfall der konkurrenzschwächeren Baumart führten; Geld würde damit verschwendet.

## Kosten

Ein Beispiel soll die zu erwartenden Kosten verdeutlichen (betriebliche Zahlen, Beispiel Mittelgebirge mit Rotwild).

### Fixkosten

An „fixen Kosten“, d.h. unabhängig von Baumart und Stückzahl, fallen an:

- Flächenvorbereitung auf Teilflächen;
- Zaunmaterial, Zaunaufbau, Zaunkontrolle, Zaunreparatur, Zaunab- und -aufbau bei Nachlichtungen, Zaunabbau und Entsorgung;
- Kultursicherung und eventuell Schälschutz.

Für einen 100 mal 100 Meter großen gezäunten Vorbau summieren sich die Kosten auf circa 4.000 Euro (ohne Verzinsung und ohne Zaunreparatur gerechnet). Der Anteil des Verbissschutzes macht etwa 80 Prozent aus.

### Pflanzkosten

Für die Pflanzung selbst ist mit den üblichen Kosten zu rechnen, die sich auch bei einer Kulturbegründung ergeben würden. Für einen Vorbau mit 50 Prozent Buche und 50 Prozent Weißtanne sind dies etwa 4.000 bis 5.000 Euro pro Hektar (bei circa 50 Prozent bepflanzbarer Fläche!). Daraus ergibt sich ein Betrag von etwa 8.000 Euro je Hektar. Vorbauten sind teuer und müssen deshalb sicher zum Ziel geführt werden.

## Fehler und Risiken

Vorbauten sind stets mit Risiken verbunden. Auch unterlaufen immer wieder dieselben Fehler. Zu den geradezu typischen zählen:

- mangelnde Feinerschließung,
- zu geringe Auflichtung, die Vorbauten „verhocken“ oder werden instabil,

- zu starke Auflichtung, eine üppige Bodenvegetation und Ausfälle im Altbestand verlangen viel Pflege oder gefährden den Vorbau;
  - zu kleine Vorbauflächen hinterlassen viele Randbäume;
  - Steilränder entstehen, weil die Anschlussverjüngung nicht eingeleitet wurde;
  - unsachgemäßes Arbeiten führt zu Fäll- und Rückschäden;
  - der Vorbau entmischt sich, weil die Konkurrenz der Baumarten untereinander nicht berücksichtigt wurde;
  - Zäune werden undicht, Verbiss- und Fegeschäden sind die Folge;
  - der Vorbau wird „vergessen“ und fällt schließlich aus.
- Risiken und Fehler lassen sich jedoch bei sachgemäßer Begleitung gering halten oder vollständig vermeiden. Dann können Vorbauten ihre Trumpfkarte ausspielen: Jahrzehnte Vorsprung.

## Literatur

Hehn, M. (1993): *Buchen-Vorbau in Fichten-Beständen – dargestellt unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Südwestdeutschland*. Dissertation Universität Freiburg, 302+44 S.

Heneka, L. (1987): *Tannengroßpflanzen für den Umbau von Fichtenreinbeständen im mittleren Schwarzwald*. Allgemeine Forstzeitschrift 42, S. 203–205

Weise, U. (1995): *Zuwachs- und Jungwuchsentwicklung in Versuchen zur natürlichen Verjüngung von Fichten-Tannen (Buchen)-Beständen in Baden-Württemberg*. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, H. 192, 75 S

**Key words** Regeneration, advance planting, costs, risks

**Summary:** Advance plantings offer an excellent way for establishing new, robust stands in good time and silvicultural freedom. They demand competent planning and completion. The term defines the planting of the future main tree species under protection of the mature forest. Adjusted populations of hoofed game reduce costs and minimise risks.

---

# Produktivitätsrelation zwischen Fichte und Fichte/Buche – Konsequenzen angesichts des Klimawandels

Hans Pretzsch

**Schlüsselwörter:** Fichte, Buche, Mischungseffekt, Konkurrenz, Zuwachs

**Zusammenfassung:** Der Beitrag versucht, bisher existierende Mosaiksteine über Wechselwirkungen zwischen Fichte und Buche zu einem Gesamtbild zusammenzufügen. Es wird gezeigt, dass die Baumarten Fichte und Buche in Mischung, je nach Standortbedingungen, deutlich weniger, aber auch deutlich mehr Zuwachseleistung pro Fläche und Zeit erbringen können als die jeweiligen Reinbestände. Die Daten werden angesichts des Klimawandels auf der Basis von 23 langfristigen Versuchsflächen entlang eines weiten ökologischen Gradienten erhoben, der von der Schweiz über Süd- und Norddeutschland bis nach Polen reicht. Die Analyse des Zusammenhangs zwischen Mischungseffekt und Bestandesmerkmalen zeigt für die Fichte, dass eine Beimischung von Buche je nach Höhenbonität der Fichte einen positiven oder negativen Mischungseffekt bewirken kann. Auf armen Standorten übt die Beimischung der Buche einen positiven Mischungseffekt aus, der mit zunehmendem Buchenanteil ansteigt. Auf Fichten-Hochleistungsstandorten kann die Beimischung von Buche den Bestandeszuwachs negativ beeinflussen. Auf mittleren bis guten Standorten ist der Mischungseffekt für die Fichte eher neutral und läuft auf einen reinen Ersatzeffekt hinaus. Bei der Buche ist das Reaktionsmuster anders. Auch hier hängt der Mischungseffekt von der Standortqualität ab; allerdings ist auf armen Standorten mit einer wesentlich geringeren Mischungsreaktion zu rechnen als auf fruchtbaren Standorten. Im Unterschied zur Fichte fällt der Mischungseffekt insgesamt größer, positiver und seltener negativ aus. Offenbar fördert die Beimischung von Buchen das Wachstum der Fichte auf armen Standorten. Auf Grund der Konkurrenzreduktion der Buche fördert eine Beimischung der Fichte besonders auf wüchsigen Standorten dagegen das Wachstum der Buche. Dass die Fichte auf ärmeren Standorten von der Buchenbeimischung deutlich profitiert, auf fruchtbaren Standorten aber sogar Einbußen erleiden kann, wird folgendermaßen interpretiert: Auf ärmeren Standorten dominieren die positive Effekte der verbesserten Nährstoffversorgung wegen der Begünstigungswirkung der Buche. Auf fruchtbaren Standorten dagegen dominieren negative Effekte, da die Buche dort ihre überlegene Expansionskraft im Kronen- und Wurzelraum zu Lasten der Fichte ausspielen kann. Die Buche pro-

fitiert auf fruchtbaren Standorten von der Fichtenbeimischung deutlich, auf ärmeren Standorten dagegen hat sie weniger Vorteil. Dies lässt folgende Vermutung zu: Auf fruchtbaren Standorten ist die intraspezifische Konkurrenz im Buchen-Reinbestand am größten, deshalb fällt auch die Konkurrenzreduktion auf Grund der Beimischung der Fichte am deutlichsten aus. Dagegen ist auf ärmeren Standorten der intraspezifische Ausscheidungskampf geringer, die Struktur reicher und damit auch die entspannende Wirkung einer Fichtenbeimischung zur Buche nicht so groß. Die Ergebnisse und die getroffene Interpretation korrespondieren mit dem von Holmgren et al. (1997) sowie Callaway und Walker (1997) eingeführten konzeptionellen Modell, wonach Begünstigung am deutlichsten auf ärmeren, limitierten Standorten zu finden ist und Konkurrenzreduktion durch Mischung am deutlichsten auf reichen, fruchtbaren Standorten auftritt.

---

## Fragestellung

Wissenslücken über die Struktur und das Funktionieren von Waldökosystemen werden häufig erst dann alarmierend wahrgenommen und fieberhaft bearbeitet, wenn Störfaktoren die Waldökosysteme in Gefahr bringen. Geeignete Anpassungsmaßnahmen an Störfaktoren müssen dann unvermittelt entwickelt werden, obwohl das System selbst unter Normalbedingungen kaum verstanden ist. Man stelle sich eine Herzoperation zur Behebung von Rhythmusstörungen vor, ohne dass eine ausgereifte Modellvorstellung über Aufbau und Funktion des gesunden Herzens vorläge; dann wird klar, was gemeint ist und in welcher Lage sich die Forstwissenschaft und Forstwirtschaft etwa im Unterschied zur Medizin leider häufig befinden.

Bedauerlicherweise wird der Wald in seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung chronisch unterschätzt und folglich seine Beforschung erst dann hochgefahren, wenn Schaden droht. So braucht es erst Waldgefährdungen wie sie in den letzten Jahrzehnten u. a. atmosphärische Stoffeinträge, Grundwasserabsenkungen oder Klimaänderungen auslösten, für die notwendige Forschungsförderung, Beseitigung von Wissenslücken,



Abbildung 1: Fichten- Buchen-Mischbestand Zwiesel 111 Parzelle 3 (Foto: L. Steinacker)

Wissenssynthese und letztlich für die Entwicklung einer ersten Ökosystemtheorie.

Mit der aktuellen Frage, inwieweit Mischbestände zur Risikostreuung, Anpassung an Klimawandel oder gar Minderung des Klimawandels beitragen können, gerät die Forstwissenschaft erneut in die skizzierte Lage und Bringschuld. Die Forstwissenschaft ist weit davon entfernt, Mischung, Ursache und Ausmaß von Mischungseffekten oder gar die Ursachen von Mischungseffekten unter stabilen Standortsbedingungen verstanden zu haben. In dem Übergang zu Mischbeständen, die bisher selbst unter Normalbedingungen kaum verstanden sind, wird nun aber angesichts des Klimawandels eine wirksame Anpassungsmaßnahme vermutet. Für die Einschätzung, inwieweit eine Baumartenmischung Zuwachsreaktionen, Störungen, Risiken bei künftigen Standortsänderungen abpuffern kann, sollte auf dem bisher vorliegenden Wissen über den Zusammenhang zwischen Standort und Mischungsdynamik aufgebaut werden. Voraussetzung dafür ist, ein solches Wissen zusammenzutragen, auszuwerten und als konzeptuelles Modell zusammenzufassen; und genau hierzu soll im Folgenden beigetragen werden.

Dieser Beitrag will, aufbauend auf den Daten langfristiger Versuchsflächen, das Wissen über die Produktivität der Mischung Fichte/Buche im Vergleich zu den jeweiligen Reinbeständen zusammenfassen und zu einer ersten Modellvorstellung bündeln. Im Mittelpunkt stehen eventuelle positive oder negative Mischungseffekte und deren Abhängigkeit von den bisher herrschenden Wuchsbedingungen. Die Daten wurden entlang eines ökologischen Gradienten erhoben, der warme/trockene und kühle/feuchte Standorte sowie gut und schlecht mit Nährstoffen versorgte Standorte abdeckt. Wird aus diesen Versuchen die Wirkung des Standortes auf die artspezifische Konkurrenz im Mischbestand, die Stresstoleranz und eventuelle Mehr- oder Minderleistungen von Misch- gegenüber Reinbeständen herausgearbeitet, lässt das auch Schlussfolgerungen über die Wirkung von Standortsveränderungen auf Mischbestände zu. In unserem Zusammenhang interessiert insbesondere, inwieweit Mischung eine Verstärkung oder aber eine Abpufferung von Produktionsverlusten erwarten lässt, wenn sich Ressourcenversorgung oder Umweltbedingungen z. B. auf Grund des Klimawandels verändern.

Die Frage, ob Mischbestände mehr Zuwachs leisten als Reinbestände, beantworteten schon die Gründerväter der Forstwissenschaft unterschiedlich. Hartig (1791) verneinte und Cotta (1828) bejahte sie. Die zahlreichen bis in die Gegenwart reichenden Leistungsvergleiche auf Bestandesebene erbrachten selbst für die im deutschsprachigen Raum am gründlichsten erforschte Mischung aus Fichte und Buche bisher kein klares Bild (Assmann 1961; Burger 1941; Kennel 1965; Mettin 1985; Petri 1966; Wiedemann 1942). Neuere Arbeiten setzen auf Biogruppen- oder Baumebene an und enthüllen das baumartenspezifische Konkurrenzverhalten in Mischung (Kelty und Cameron 1995; Rothe 1997; Pretzsch und Schütze 2005, 2009). Allerdings erbrachten auch solche Feinanalysen bisher noch keine allgemeingültigen Aussagen, Gesetzmäßigkeiten oder gar theoretischen Grundlagen über die flächenbezogene Produktivität von Mischbeständen im Vergleich zu Reinbeständen (Scherer-Lorenzen et al. 2005).

Die Gründe für das noch immer mangelhafte Wissen über Mischungseffekte und deren Abhängigkeit von Standortsbedingungen liegen u.a. in der uneinheitlichen Fragestellung bisheriger Arbeiten. Bei Petri (1966) beispielsweise stehen Strukturunterschiede zwischen Rein- und Mischbestand, bei Kennel (1965) Zuwachsunterschiede und bei von Lüpke und Spellmann (1997) sowie Spellmann (1996) Stabilitätsunterschiede zwischen Rein- und Mischbestand im Mittelpunkt. Weiter stützen

sich bisherige Berichterstattungen auf eine uneinheitliche Auswertungsmethodik; beispielsweise basieren Angaben zu Mischungsreaktionen teils auf Vergleichen mit benachbarten Reinbeständen (Kennel 1965), teils auf Vergleichen mit Ertragstafeln (Wiedemann 1942, 1951). Aber auch wenn dieselbe Referenz verwendet wurde, gründen Vergleiche manchmal auf Volumenzuwächsen (Wiedemann 1942; Rothe 1997), manchmal auf Biomassenzuwächsen (Kennel 1965; Pretzsch und Schütze 2005, 2009). Schließlich erschwert die zersplitterte Datenbasis, insbesondere die Ansiedlung der ohnehin nur wenigen bestehenden Versuchsflächen in unterschiedlichen Ländern und Bundesländern, an unterschiedlichen Versuchsanstalten und Instituten, eine Auswertung über Institutionen und Standortbedingungen hinweg.

Die heterogenen Ergebnisse bisheriger Mischbestandsuntersuchungen wurden mehrfach zusammengefasst (Kelty 1992; Olsthoorn et al. 1999; Pretzsch 2005) und werden hier nicht wiederholt. Dieser Beitrag will auch nicht eine weitere Einzelauswertung an die vorliegenden Befunde anreihen. Vielmehr wird am Beispiel der praxisrelevanten Mischung aus Fichte und Buche versucht, die bisherigen Mosaiksteine zu einem Gesamtbild über Mischungseffekte zusammenzufügen. Mit den publizierten Ergebnissen anderer Autoren, den Fichten-Buchen-Mischbestandsversuchen in Bayern und den dankenswerterweise von den Versuchsanstalten in Göttingen/Niedersachsen, Trippstadt/Rheinland-Pfalz, Freiburg/Baden-Württemberg und Birmensdorf/Schweiz beige-steuerten Versuchen wurde ein breites Datenmaterial zusammengeführt und nach einheitlichem Schema mit Blick auf die folgenden Fragen ausgewertet:

- In welcher Größenordnung liegen Mehr- oder Minderzuwächse der Mischbestände gegenüber den benachbarten Reinbeständen?
- Hängen Mehr- oder Minderzuwächse von den Standortbedingungen und dem Mischungsverhältnis zwischen Fichte und Buche ab?

Mit der übergreifenden Auswertung lassen sich bisher einzeln beobachtete und häufig widersprüchlich erscheinende Befunde zur Produktivitätsrelation von Rein- und Mischbeständen aus Fichte und Buche in ein Kontinuum warm-trockener bis kühl-feuchter sowie gut bis schlecht nährstoffversorgter Standorte einordnen und verstehen. Erste gesetzmäßige Zusammenhänge zwischen Standort und Mischungsreaktionen sind zu erkennen.

## Standortsspektrum der Versuchsflächen

Die Analyse zu Fichten-Buchen-Mischbeständen deckt mit langfristigen Versuchen in der Schweiz, in Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Polen ein breites Spektrum an Standorten ab (Versuchsflächen von Süden nach Norden: Murten, Galmwald, Schongau, Denklingen, Freising, Ehingen, Geislingen, Zwiesel, Morbach, Mitterteich, Daun, Dillenburg, Zobten, Uslar, Kupferhütte, Wieda, Neuenheerse, Knobben, Oderhaus und Westerhof). Das Gebiet erstreckt sich über circa 600 Kilometer von Süden nach Norden ( $46^\circ$  bis  $51^\circ$  N) und 700 Kilometer von Westen nach Osten ( $7^\circ$  bis  $16^\circ$  O). Die Höhenlagen reichen von 150 bis 800 Meter über NN, die Jahresmitteltemperaturen von  $5,5$  bis  $8,5^\circ\text{C}$  und die Jahressniederschläge von 700 bis 1.270 Millimeter. Vergleichsweise wärmere und trockenere Buchenstandorte im Hunsrück werden ebenso abgedeckt wie kühle und frische Fichtenstandorte im Bayerischen Wald. Beste Wuchsbedingungen für beide Baumarten finden sich auf nährstoffreichen Böden im niederschlagsreichen bayerischen Voralpenraum.

Bis auf wenige Ausnahmen wurden nur solche Versuchsanlagen einbezogen, die auf gleichem Standort eine Parzelle mit reiner Fichte, eine mit reiner Buche und mindestens einer Mischbestandsparzelle aus Fichte und Buche abdecken. Insgesamt liegen der Analyse 23 Versuche zugrunde, 52 Triplettens bestehend aus Fichte, Buche und Fichte/Buche. Der Datensatz gründet auf 207 Aufnahmeperioden. Die älteste Aufnahme reicht bis in das Jahr 1895 zurück, die jüngste Aufnahme erfolgte im Jahr 2009. Die Mischungsanteile (hergeleitet aus den Anteilen der Baumarten an der oberirdischen Biomasse, siehe Abschnitt Methoden zur Quantifizierung des Mischungseffektes) zwischen Fichte und Buche umfassen auf den Mischbestandsparzellen Mischungsverhältnisse von  $m_{\text{Fi}}:m_{\text{Bu}}=0,05:0,95$ ; besonders häufig vertreten sind aber Verhältnisse von etwa  $0,5:0,5$ .

Abbildung 2 gibt einen Überblick über das Leistungsspektrum der einbezogenen Versuche. Die Oberhöhe im Alter 100 (Abbildung 2a) liegt bei den Fichten-Reinbeständen zwischen  $h_o = 19,7\text{--}52,1$  m (Mittelwert  $h_o = 35,1$  m) und bei den Buchen-Reinbeständen bei  $h_o = 18,8\text{--}45,1$  m (Mittelwert  $h_o = 29,9$  m). Die Werte für den periodischen Volumenzuwachs betragen  $ZV_{\text{Fi}} = 4,8\text{--}36,5$   $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  bei Fichte (Mittelwert  $14,7$   $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) und  $ZV_{\text{Bu}} = 4,3\text{--}29,9$   $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  bei Buche (Mittelwert  $10,5$   $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ). Die Leistungsrelation des Volumenzu-

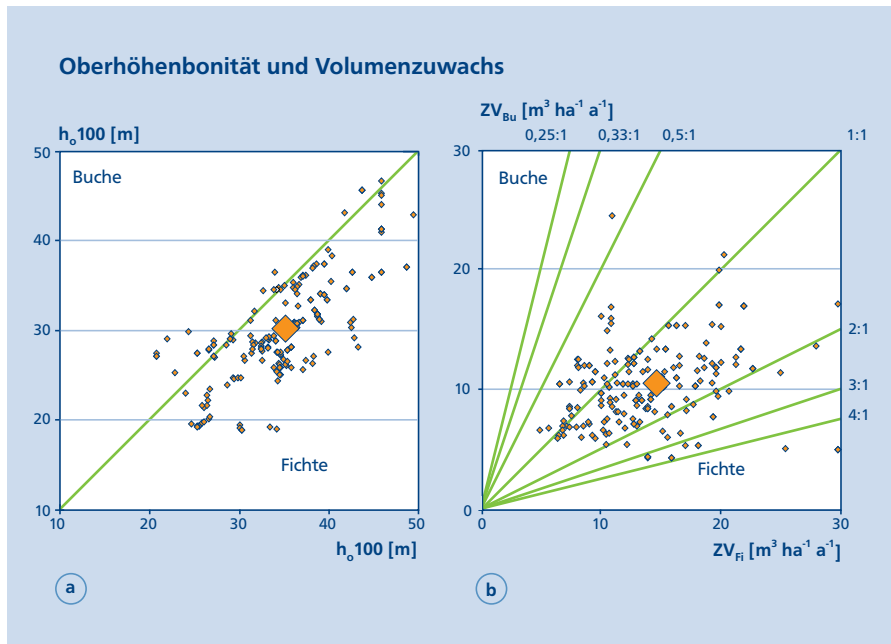


Abbildung 2: Charakteristika der Reinbestände aus Fichte und Buche, die bei der Analyse von Mischungseffekten als Referenz dienen; dargestellt ist (a) die Oberhöhenbonität der Reinbestände im Alter 100 und (b) der mittlere periodische Volumenzuwachs. Die großen Rauten zeigen die Mittelwerte des Datensatzes für Fichte und Buche im Reinbestand an ( $h_0$  Fichte 35,1 m, Buche 29,9 m; ZV Fichte 14,7 m³ ha⁻¹ a⁻¹, Buche 10,5 m³ ha⁻¹ a⁻¹).

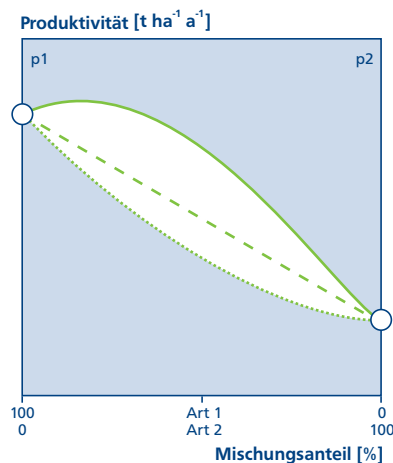


Abbildung 3: Hypothesen über den Effekt der Mischung zweier Arten auf ihre Produktivität in schematischer Darstellung; auf der linken und rechten y-Achse ist die Produktivität der Art 1 bzw. 2 ( $p_1$ ,  $p_2$ ) im Reinbestand angegeben. Die x-Achse gibt den Mischungsanteil an. Liegt die Produktivität eines Mischbestandes auf der geraden Verbindungslinie (gestrichelt), so handelt es sich um einen neutralen Ersatzeffekt, liegt die Produktivität auf der von unten gesehen konkaven Linie (durchgezogen), so zeigt das einen Mehrzuwachs gegenüber dem Reinbestand an, liegt die Produktivität dagegen auf der von unten gesehen konvexen Linie (gepunktet), so liegt Minderzuwachs vor.

wachses von Fichte zu Buche liegt im Wesentlichen zwischen 0,5:1,0 und 2,5:1 und geht damit weit über die von Assmann (1961, S. 351–353) beschriebene Leistungsrelation zwischen diesen Arten hinaus. Insbesondere werden auch solche Standorte (z. B. Schwäbische Alb,

Mitterteicher Basaltgebiet) abgedeckt, auf denen die Buche der Fichte im Zuwachs deutlich überlegen ist.

### Methoden zur Quantifizierung des Mischungseffektes

Im Folgenden bezeichnet  $ZV_{Fi}$  und  $ZV_{Bu}$  die Zuwachseleistung von Fichte bzw. Buche im Reinbestand und  $ZV_{Fi,Bu}$  die Leistung des jeweiligen Mischbestandes. Die Leistung von Fichte bzw. Buche im Mischbestand, hochskaliert auf einen Hektar, wird  $ZV_{Fi,(Bu)}$  bzw.  $ZV_{(Fi),Bu}$  genannt (vgl. Nomenklatur zur Analyse von Mischungseffekten bei Pretzsch und Schütze (2009)). Zum Leistungsvergleich zwischen Fichte und Buche wird der Mischungsanteil von Fichte bzw. Buche ( $m_{Fi}$ ,  $m_{Bu}$ ) im Mischbestand auf Basis des jeweiligen Vorrats an oberirdischer Biomasse in t ha⁻¹ herangezogen.

Die Leistungsrelation (m³ ha⁻¹ a⁻¹) zwischen dem Volumenzuwachs von Fichte und Buche im Reinbestand wird über den Quotienten  $ZV_{Fi}/ZV_{Bu}$  beschrieben. Dagegen gibt  $ZV_{Fi,(Bu)}/ZV_{(Fi),Bu}$  die analoge Leistungsrelation (m³ ha⁻¹ a⁻¹) für die Baumarten im Mischbestand an.

Eventuelle Mehr- oder Minderzuwächse des Gesamtbestandes werden über das Verhältnis zwischen der Leistung des Mischbestandes ( $ZV_{Fi,Bu}$ ) und dem Erwartungswert für die Leistung des Mischbestands  $\hat{ZV}_{Fi,Bu} = (ZV_{Fi} \cdot m_{Fi} + ZV_{Bu} \cdot m_{Bu})$  quantifiziert. Letztgenannter Referenzwert geht davon aus, dass Fichte und Buche im Mischbestand so wachsen wie in flächengleichen

Reinbeständen (gestrichelte Linie in Abbildung 3). Zur Bestimmung der absoluten Mehr- oder Minderzuwächse (durchgezogene bzw. punktierte Linie in Abbildung 3) wird die Differenz  $ZV_{Fi,Bu} - \hat{ZV}_{Fi,Bu}$  gebildet und zur Bestimmung relativer Mehr- oder Minderzuwächse der Quotient  $ZV_{Fi,Bu} / \hat{ZV}_{Fi,Bu}$ . Analog zum absoluten und relativen Mehr- oder Minderzuwachs des Gesamtbestandes kann der Mischungseffekt gesondert nach Baumarten quantifiziert werden. Für die Fichte gibt die Differenz  $ZV_{Fi,(Bu)} - (ZV_{Fi} m_{Fi})$  den absoluten Mischungseffekt und der Quotient  $ZV_{Fi,(Bu)} / (ZV_{Fi} m_{Fi})$  den relativen Effekt an. Für die Buche repräsentieren die Terme  $ZV_{(Fi),Bu} - (ZV_{Bu} m_{Bu})$  bzw.  $ZV_{(Fi),Bu} / (ZV_{Bu} m_{Bu})$  den absoluten bzw. relativen Mischungseffekt an Volumenzuwachs. Analog können die absoluten und relativen Mischungseffekte an oberirdischem Biomassenzuwachs ZB für den Gesamtbestand ( $ZB_{Fi,Bu} - \hat{ZB}_{Fi,Bu}$ ,  $ZB_{Fi,Bu} / \hat{ZB}_{Fi,Bu}$ ) und gesondert für die Baumarten Fichte [ $ZB_{Fi,(Bu)} - (ZB_{Fi} m_{Fi})$ ,  $ZB_{Fi,(Bu)} / (ZB_{Fi} m_{Fi})$ ] und Buche [ $ZB_{(Fi),Bu} - (ZB_{Bu} m_{Bu})$ ,  $ZB_{(Fi),Bu} / (ZB_{Bu} m_{Bu})$ ] berechnet werden.

Die Auswertung wurde zum einen auf der Basis des Stammvolumens V (Schaftholz für Fichte, Derbholz für Buche) ausgeführt, zum anderen auf der Basis der Biomasse B. Zur Auswertung auf der Basis der oberirdischen Biomasse wurde ausgehend vom Stammdurchmesser in 1,30 Metern das oberirdische Baumgewicht  $b$  baumweise über Funktionen für Fichte  $b=0,044d^{2,659}$  und Buche  $b=0,114d^{2,503}$  ( $b$  = oberirdische Biomasse,  $d$  = Stammdurchmesser des Baumes in der Höhe 1,3 m; siehe Pretzsch und Schütze 2005) hochgerechnet. Die Be-

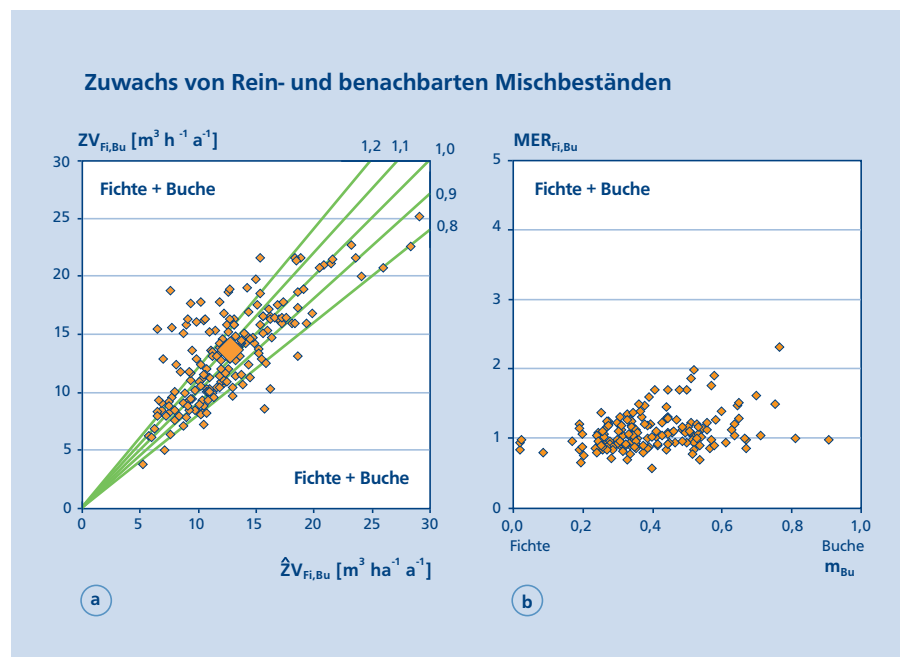
standesbiomasse B ergibt sich aus der Addition aller Einzelbaumbiomassen. Waren die Einzelbaumdimensionen im Datensatz nicht vorhanden, wurde auf der Basis der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes ( $d_g$ ) mit den genannten artspezifischen Funktionen hochgerechnet.

### Größenordnung der Zuwächse der Mischbestände gegenüber den benachbarten Reinbeständen

Zuerst wird nach der absoluten Über- oder Unterlegenheit des Volumenzuwachses der Mischbestände im Vergleich zu den benachbarten Reinbeständen gefragt.

Abbildung 4a zeigt den beobachteten mittleren periodischen Volumenzuwachs ( $m^3 ha^{-1} a^{-1}$ ) der Mischbestände über dem Erwartungswert  $\hat{ZV}_{Fi,Bu}$ . Je näher die eingetragenen Punkte der Winkelhalbierenden sind, umso geringer ist die Gesamtwirkung der Mischung. Im Mittel über alle Versuche liegt ein Mehrzuwachs von  $+0,51 m^3 ha^{-1} a^{-1}$  vor, aber sowohl Mehrzuwächse bis zu  $11,06 m^3 ha^{-1} a^{-1}$  als auch Minderzuwächse bis zu  $-7,23 m^3 ha^{-1} a^{-1}$  treten auf. Abbildung 4b zeigt die relativen Mehr- und Minderzuwächse auf der Grundlage der Biomassenzuwächse; bei neutralem Mischungseffekt (reiner Ersatzeffekt) würden alle Punkte auf der 1,0-Linie liegen. Es ist zu erkennen, dass die positiven und negativen Abweichungen von der 1,0-Linie mit zunehmendem Buchenanteil  $m_{Bu}$  zunächst ansteigen und dann bei höheren Mischungsanteilen wieder zurückgehen. Im Mit-

Abbildung 4: Zuwachs von Rein- und benachbarten Mischbeständen im Vergleich; dargestellt ist (a) der beobachtete absolute Volumenzuwachs der Mischbestände über dem Erwartungswert  $\hat{ZV}_{Fi,Bu}$  und (b) der relative Mischungseffekt an oberirdischer Trockenstoffleistung ( $t ha^{-1} a^{-1}$ ). Der absolute Mehrzuwachs des Mischbestandes beträgt im Mittel  $+0,51 m^3 ha^{-1} a^{-1}$ , der relative Mehrzuwachs an Biomasse beträgt  $MER_{Fi,Bu} = +8 \%$  ( $m_{Bu}$  steht für Mischungsanteil der Buche).



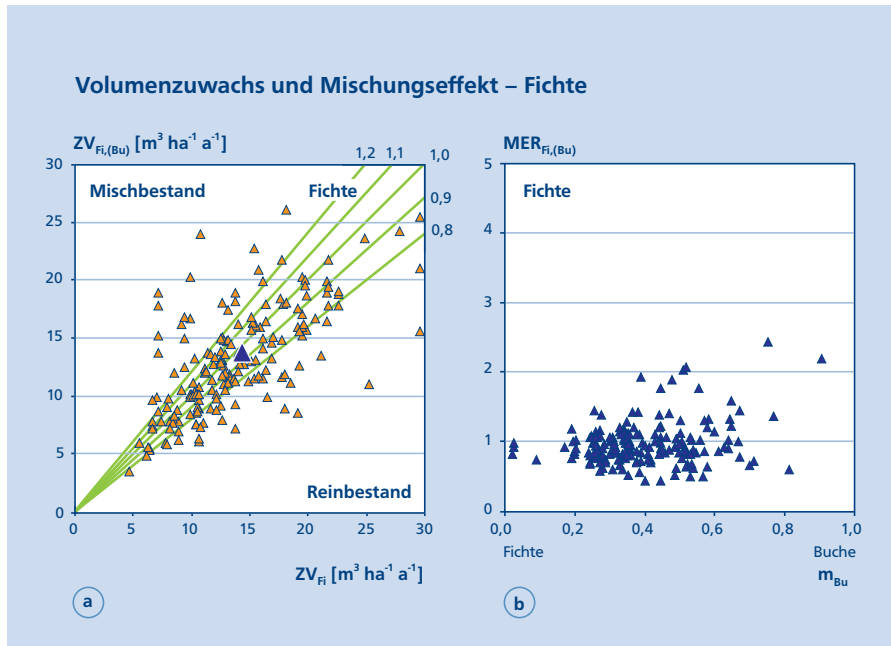


Abbildung 5: Zuwachs der Fichte im Mischbestand im Vergleich zum benachbarten Reinbestand; dargestellt ist (a) der beobachtete absolute Volumenzuwachs im Mischbestand im Vergleich zum Reinbestand und (b) der relative Mischungseffekt hinsichtlich der oberirdischen Trockenstoffleistung ( $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ). Der absolute Mischungseffekt der Fichte im Mischbestand beträgt im Mittel  $-0,94\ m^3\ ha^{-1}\ a^{-1}$  und der relative Effekt im Hinblick auf die oberirdische Trockenstoffleistung beträgt im Mittel  $MER_{Fi,Bu} = +1\ \%$ .

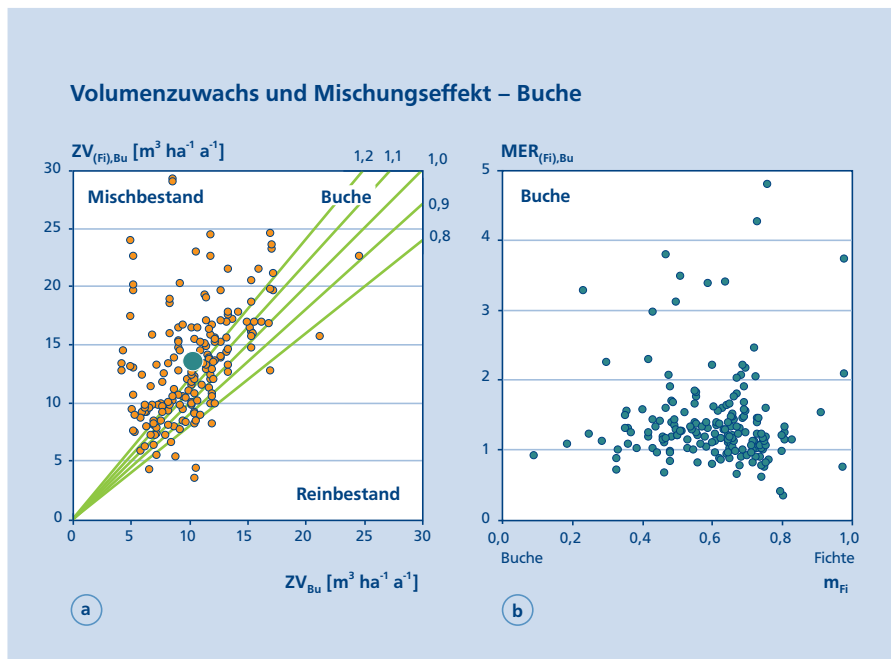
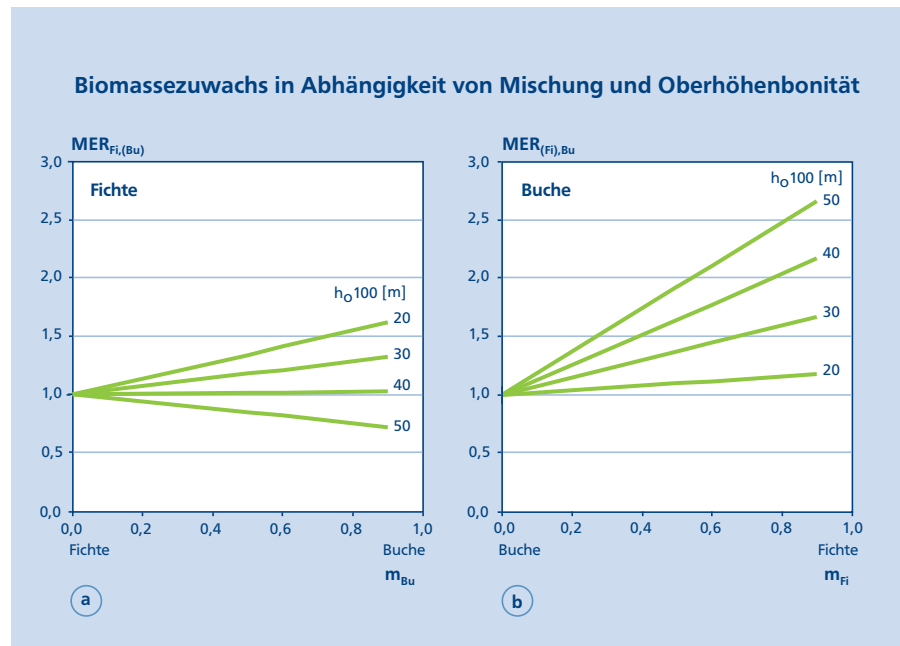


Abbildung 6: Zuwachs der Buche im Mischbestand im Vergleich zum benachbarten Reinbestand; dargestellt ist (a) der beobachtete absolute Volumenzuwachs im Mischbestand im Vergleich zum Reinbestand und (b) der relative Mischungseffekt hinsichtlich der oberirdischen Trockenstoffleistung ( $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ). Der absolute Mischungseffekt der Buche im Mischbestand beträgt im Mittel  $+2,65\ m^3\ ha^{-1}\ a^{-1}$ , der relative Effekt in Bezug auf die oberirdische Trockenstoffleistung beträgt im Mittel  $MER_{Fi,Bu} = 41\ \%$ .

tel liegt der relative Mischungseffekt bei 1,08, d. h. im Mittel über alle Flächen und Beobachtungszeitpunkte bilden die Mischbestände acht Prozent mehr oberirdischen Biomassenzuwachs als die benachbarten Reinbestände ( $MER_{Fi,Bu} = 1,0$ , d. h. der Mischbestand produziert wie Reinbestand,  $MER_{Fi,Bu} = 1,5$  zeigt einen Mehrzuwachs von 50 Prozent gegenüber benachbarten Reinbeständen an). Aber auch besonders positive Mischungseffekte von 2,38 (Mehrzuwachs 138 %) und negative Mischungseffekte von 0,54 (Minderzuwachs 46 %) kommen vor.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die entsprechenden Mehr- und Minderleistungen gesondert für die Baumarten Fichte bzw. Buche. Der Volumenzuwachs der Fichte (Abbildung 5) liegt im Mischbestand im Mittel über alle Versuche um  $0,94\ m^3\ ha^{-1}\ a^{-1}$  unter dem benachbarten Reinbestand. Bei besonders positivem bzw. negativem Mischungseffekt reichen die Mehr- und Minderzuwächse von  $+13,11\ m^3\ ha^{-1}\ a^{-1}$  bis  $-16,81\ m^3\ ha^{-1}\ a^{-1}$ . Die relativen Mischungseffekte des Biomassenzuwachses liegen im Mittel bei 1,01 und reichen von 2,41 bis 0,43.

Abbildung 7: Effekt der Mischung auf den Biomassenzuwachs; dargestellt ist (a) der zu erwartende Mischungseffekt für die Fichte in Abhängigkeit von der Beimischung an Buche und der Oberhöhenbonität der Fichte ( $MER_{Fi,(Bu)}=1,0$ , d. h. Zuwachs des Reinbestandes) und (b) der zu erwartende Mischungseffekt für die Buche in Abhängigkeit von der Beimischung an Fichte und der Oberhöhenbonität der Buche ( $MER_{(Fi),Bu}=1,0$ , d. h. Zuwachs des Reinbestandes).



Der Volumenzuwachs der Buche (Abbildung 6) liegt im Mischbestand im Mittel über alle Versuche um  $2,65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  über dem benachbarten Reinbestand. Bei besonders positivem bzw. negativem Mischungseffekt reichen die Mehr- und Minderzuwächse von  $+14,82 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bis  $-6,94 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Die relativen Mischungseffekte des Biomassenzuwachses liegen bei der Buche im Mittel bei 1,41 und reichen von 4,80 bis 0,42. Der positive Mischungseffekt ist bei der Buche also weitaus deutlicher ausgeprägt als bei der Fichte.

### Einfluss der Standortsbedingungen und des Mischungsverhältnisses zwischen Fichte und Buche auf den Zuwachs

Die auf der Grundlage des Biomassenzuwachses nachgewiesenen relativen Mehr- und Minderzuwächse von Fichte und Buche (Abbildungen 5b und 6b) hängen mit der Bonität und den Mischungsanteilen zusammen. Zwischen dem in Biomasse gemessenen Mehr- oder Minderzuwachs und jenem in Stammzuwachs gemessenen besteht ein sehr enger linearer Zusammenhang mit Steigung geringfügig  $<1,0$ . Wenn der Mehrzuwachs an Biomasse insgesamt beispielsweise zehn Prozent beträgt, dann beträgt er beim Stammvolumen acht Prozent. Ähnliche Relationen gelten für den

separat betrachteten Mehrzuwachs von Fichte (10 % zu 9 %) und Buche (10 % zu 9 %). Auf Grund dieses engen Zusammenhangs wird der Zusammenhang zwischen Mischungseffekt und Bestandesmerkmalen im Folgenden nur auf der Grundlage des Biomassezuwachses dargestellt.

Der Zusammenhang zwischen dem relativen Mehr- oder Minderzuwachs an Biomasse von Fichte bzw. Buche ( $MER_{Fi,(Bu)}$ ,  $MER_{(Fi),Bu}$ ) und Bonität ( $h_o$ ) bzw. Mischungsanteilen ( $m_{Fi}$ ,  $m_{Bu}$ ) lässt sich über Regressionen beschreiben, die in Abbildung 7 dargestellt sind. Abbildung 7a zeigt für die Fichte, dass eine Beimischung von Buche je nach Höhenbonität der Fichte einen positiven oder negativen Mischungseffekt bewirken kann. Auf armen Standorten übt die Beimischung der Buche einen positiven Mischungseffekt aus, der mit zunehmendem Buchenanteil ansteigt. Auf Fichten-Hochleistungsstandorten kann sich die Beimischung von Buche negativ auf den Bestandeszuwachs auswirken. Auf mittleren bis guten Standorten ist der Mischungseffekt für die Fichte eher neutral und läuft auf einen reinen Ersatzeffekt hinaus.

Bei der Buche ist das Reaktionsmuster entgegengesetzt (Abbildung 7b). Auch hier hängt der Mischungseffekt von der Höhenbonität ab, allerdings ist auf armen Standorten mit einer wesentlich geringeren Mischungseffekt zu rechnen als auf fruchtbaren Standorten. Unterschiede zur Fichte bestehen weiter darin, dass der Mischungseffekt insgesamt größer ist, positiver ausfällt und nur selten negative Werte annimmt. Die Regression deckt negative Mischungseffekte, wie sie aus den Originaldaten vereinzelt hervorgehen (Abbildung 6b) gar nicht mit ab. Die statistischen Zusammenhänge sind schwach und dienen hier eher der Bildung einer ersten Arbeitshypothese und weniger der Generalisierung oder gar weit reichenden Prognose. Die erste Arbeitshypothese wird auf Abbildung 8 grafisch skizziert. Dort werden die Befunde in Ökogramme eingetragen, die die Wuchsbedingungen der Baumarten Fichte (Abbildung 8a) bzw. Buche (Abbildung 8b) von minimal bis optimal aufspannen und auch schematisch die Limitierung durch Wasser bzw. mineralische Nährstoffe abbilden. Im Falle der Fichte (Abbildung 8a) sind die Mischungseffekt mit +20 bis +40 Prozent dann besonders groß, wenn die Bestände schwachwüchsig sind. Dagegen sind auf gutwüchsigen Standorten eher Zuwachseinbußen von -10 bis -30 Prozent zu erwarten. Bei der Buche (Abbildung 8b) können nahe der Limitierung nur geringe Verbesserungen oder neutrale Reaktionen (-20 bis +10 %) bei Beimischung von Fichten nachgewiesen werden. Dagegen treten bei guten Wuchsbedingungen positive Mischungseffekte von +40 bis +60 Prozent auf. Offenbar fördert die Beimischung von Buchen

das Wachstum der Fichte auf armen Standorten. Auf Grund der Konkurrenzreduktion der Buche fördert eine Beimischung der Fichte besonders auf wüchsigen Standorten dagegen das Wachstum der Buche. Ausgehend von den baumartenspezifischen Mischungseffekten  $MER_{Fi,(Bu)}$  und  $MER_{(Fi),Bu}$  kann der Gesamteffekt der Mischung  $MER_{Fi,Bu}$  berechnet werden als relativer Mischungseffekt  $MER_{Fi,Bu} = MER_{Fi,(Bu)} \times m_{Fi} + MER_{(Fi),Bu} \times m_{Bu}$ . Aus der Multiplikation der relativen Mischungseffekte mit dem für die jeweilige Bonität gültigen Biomassezuwachs ergibt sich der absolute Mischungseffekt in Abhängigkeit von der Bonität der Fichte und Buche sowie dem Mischungsanteil. Dabei ist zu beachten, dass  $m_{Bu} = 1 - m_{Fi}$ . Angenommen der Biomassezuwachs von Fichte bzw. Buche im Reinbestand beträgt  $ZB_{Fi}$  und  $ZB_{Bu}$ , dann ergibt sich für den absoluten Mischungseffekt (MEA = Mischungseffekt absolut)  $MEA_{Fi,Bu} = MER_{Fi,(Bu)} \times m_{Fi} \times ZB_{Fi} + MER_{(Fi),Bu} \times m_{Bu} \times ZB_{Bu}$ .

Abbildung 9 zeigt beispielhaft den Gesamteffekt der Interaktion zwischen Fichte und Buche für Standorte unterschiedlicher Bonität. Dargestellt ist der absolute Biomassezuwachs ( $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) für Fichte bzw. Buche im Reinbestand jeweils am linken bzw. rechten Rand der Grafiken. Dazwischen kann die Leistung des Mischbestandes bei unterschiedlichen Mischungsanteilen abgelesen werden. Der Gesamteffekt der Mischung hängt ab von den absoluten Zuwächsen von Fichte und Buche, den jeweiligen Bonitäten dieser Baumarten und ihrem Mischungsanteil.

### Zuwachs und Standortsbedingungen

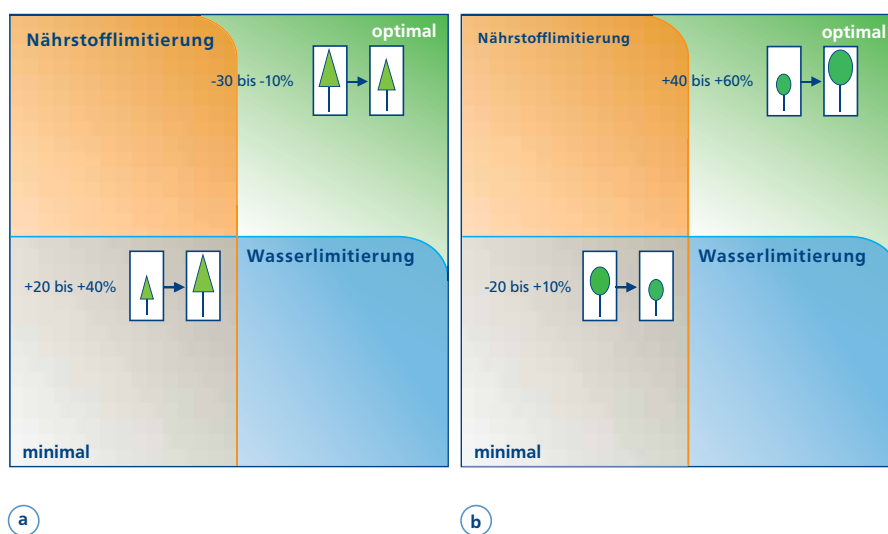


Abbildung 8: Mehr- bzw. Minderzuwachs von (a) Fichte und (b) Buche im Mischbestand in Abhängigkeit von den Standortsbedingungen; die Fichte profitiert von der Mischung mit Buche am deutlichsten auf trockenen, nährstofflimitierten Standorten. Die Buche profitiert von der Beimischung am deutlichsten auf guten Buchenstandorten, weil dort die Reduktion der intraspezifischen Konkurrenz am größten ist.

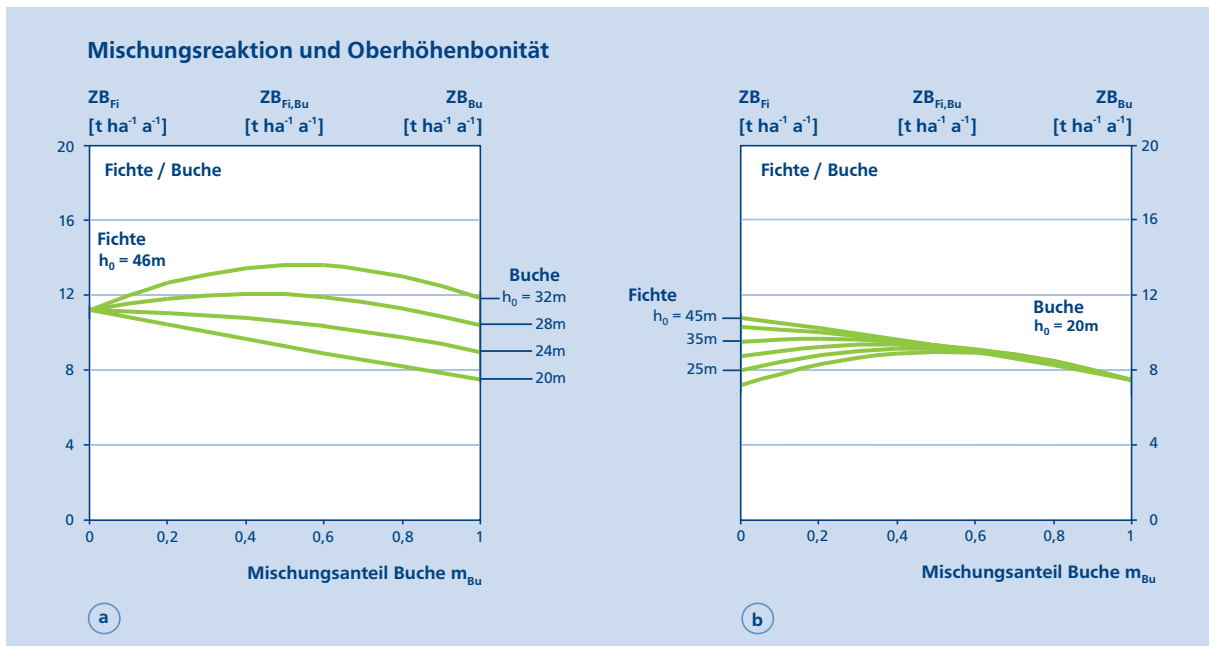


Abbildung 9: Gesamteffekt der Mischung auf den Biomassezuwachs in Abhängigkeit von Mischungsanteil und Höhenbonität von Fichte und Buche; dargestellt ist (a) die je nach Höhenbonität negative bis positive Mischungsreaktion, die sich aus der Einmischung von Buchen in bestwüchsige Fichtenbestände ergibt und (b) die zunehmend positive Mischungsreaktion, die sich bei abnehmender Bonität der Fichte einstellt.

Auf erstklassigen Fichtenstandorten (Abbildung 9a) finden wir je nach Bonität der Buche unterschiedliche Reaktionsmuster in der Mischung. Sie reichen von einem Mehrzuwachs bei hoher Buchenbonität über einen neutralen Mischungseffekt auf mittleren Standorten bis zu einem negativen Mischungseffekt auf ungünstigen Buchenstandorten. Damit werden Mischungsreaktionen wie Mehrzuwachs, neutraler Mischungseffekt und Minderzuwachs in einem Kontinuum abgebildet. Je nach Leistungsrelation zwischen den Baumarten kann das eine oder andere Reaktionsmuster beobachtet und prinzipiell über die zuletzt genannte sehr einfache Funktion beschrieben werden.

Diese Standortsabhängigkeit des Mischungseffektes hat u. a. Konsequenzen für die Bestandesreaktion auf Limitierung (z. B. periodische Trockenheit, Klimaänderungen). Abbildung 9b zeigt, dass Fichtenbestände unter günstigen Wuchsbedingungen kaum positive Zuwachsreaktionen auf eine Beimischung von Buche zeigen. Je

geringer die Bonität der Fichte wird, desto positiver wird der Förderungseffekt der Buche auf die Fichte. Während die obere Linie im Kurvenbündel auf Abbildung 9b fast den Verlauf einer Geraden hat, repräsentiert die untere Linie eine von unten gesehen konkave und eingipflige Verlaufsform, die gleichbedeutend mit einem Mehrzuwachs des Mischbestandes von circa 20 Prozent ist. Auf der Abbildung ist zu erkennen, dass der Förderungseffekt und positive Mischungseffekt umso größer wird, je ungünstiger die Wuchsbedingungen und je gravierender die Limitierung der Fichte ist. Das steht im Einklang mit dem u. a. von Holmgren et al. (1997) sowie Callaway und Walker (1997) eingeführten konzeptuellen Modell, wonach eine Begünstigung am deutlichsten auf ärmeren, limitierten Standorten zum Ausdruck kommt.

## Interpretation der Ergebnisse

In der Vergangenheit setzten Mischbestandsanalysen im Wald meist bei unmittelbar praxisrelevanten Variablen wie z. B. beim Vergleich der Volumenproduktion, Stammqualität und Bestandesstabilität an. Das Abschneiden von Mischbeständen hinsichtlich dieser Größen ist für die forstliche Praxis natürlich höchst relevant. Solange die Mischbestandsforschung allerdings allein von dieser Seite her aufgerollt wird und Analysen der Biomasseproduktion mit dem Einwand abgetan wurden, diese seien nicht relevant, blieb der Weg zu grundlegenden ersten Gesetzmäßigkeiten der Misch-

bestandsdynamik und -leistung verstellt. Nach hiesiger Auffassung sollte am Beginn die Quantifizierung der Stoffproduktion im Rein- und Mischbestand stehen. Stammqualität oder Derbholzvolumen sind wohl forstpraktisch von Bedeutung, für das Verständnis von Konkurrenz und Fitness im Darwin'schen Sinne aber weniger zielführend. Erst gilt es auf der Basis der Biomasseproduktion Struktur, Interaktionen und Stoffallokation zu verstehen; dann werfen die gefundenen Zusammenhänge praxisrelevante Größen als Nebenprodukte ab.

In dieser Arbeit wurde nur das Nettoergebnis der Interaktionen erfasst. Über die Ursachen der aufgedeckten Mehr- oder Minderzuwächse kann nur spekuliert werden. Werden Fichte und Buche gemischt, kann das zum einen negative und positive Folgen für die Produktivität der Fichte (im Vergleich zum Reinbestand) haben. Hinter negativen Konkurrenzeffekten von Buchen auf Fichten kann sich die Beschattungswirkung eingemischter Buchen verbergen, die die Entwicklung der Fichten im Vergleich zum Reinbestand verzögern (Kenel 1965). Konkurrenz kann auch auf die tiefeichende Durchwurzelung der Buche zurückgehen, die den Wurzelraum der Fichte einengt und damit ihre Wasser- und Nährstoffversorgung im Mischbestand begrenzt (Rothe 1997). Als positiver Effekt, der zur Begünstigung der Fichte in Beimischung von Buche führt, wurde wiederholt der verbesserte Stoffumsatz bei Einmischung der Buche nachgewiesen. Zur Umsatzsteigerung tragen primär die im Vergleich zu den Fichtennadeln leichter zersetzbare Buchenstreu bei (Wiedemann 1942), die tiefere Wurzelung der Buche und die reichere Bodenflora unter Buchen, die sich in den unbelaubten Phasen des Frühjahres entwickeln kann (Wiedemann 1951).

Zum anderen kann die Mischung von Fichte und Buche negative und positive Folgen für die Buche haben. Konkurrenz und damit verbundene Produktionsminderung entsteht der Buche vor allem auf Grund der zu meist überlegenen Höhenwuchsleistung der Fichte und Vorenthaltung der Strahlung (Pretzsch und Schütze 2005, 2009). Eine wirkungsvolle Förderung und Produktionssteigerung der Buche im Mischbestand gegenüber dem Reinbestand wird anhand von Konkurrenzreduktion ermöglicht (Kely 1992). Auf Grund der großen intraspezifischen Konkurrenz in Buchenreinbeständen und der geringen Selbsttoleranz der Buche im Vergleich zu allen anderen einheimischen Baumarten (Pretzsch und Biber 2005; Zeide 1985) bedeutet die Beimischung jeder anderen Art eine Konkurrenzreduktion für die Buche. Werden im Buchenreinbestand Artgenossen von Fich-

ten ersetzt, verändert sich die im Reinbestand vorherrschende Hallenstruktur hin zu einer stärker mit Lichtschächten aufgelockerten Bestandesstruktur, in der auch zwischen- und unterständige Buchen Platz haben (Otto 1994).

Die nach Baumarten differenzierten Befunde zum Mischungseffekt (Abbildungen 5 und 6) repräsentieren das Nettoergebnis von Konkurrenz- und Begünstigungswirkung der Mischung je Baumart, ohne dass die negative und positive Komponente im Einzelnen aufgedeckt werden kann. Die Gesamtleistung der Mischbestände im Vergleich zu den benachbarten Reinbeständen (Abbildungen 4 und 9) bilanziert quasi die Einzeleffekte der Baumarten.

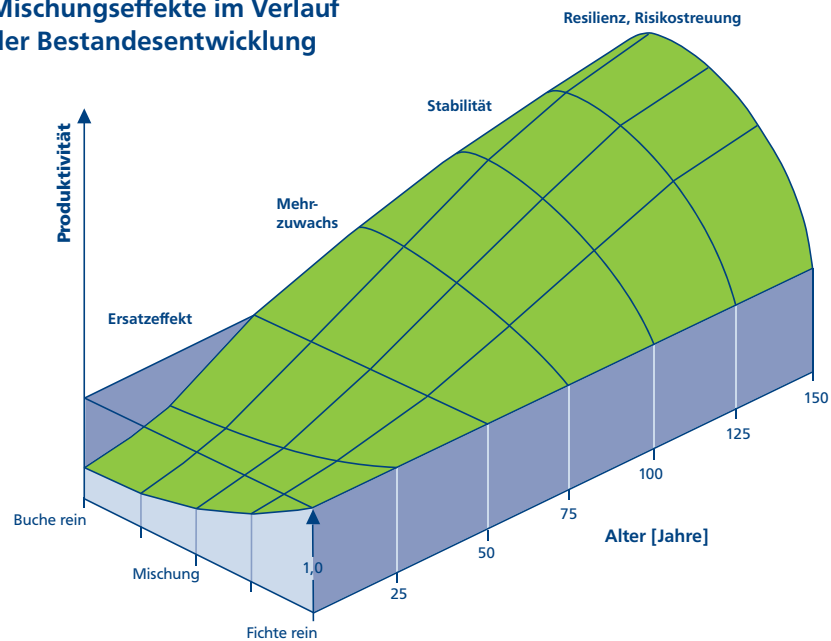
Dass die Fichte auf ärmeren Standorten von der Buchenbeimischung deutlich profitiert, auf fruchtbaren Standorten aber sogar Einbußen erleiden kann, wird folgendermaßen interpretiert: Auf ärmeren Standorten dominieren die positive Effekte der verbesserten Nährstoffversorgung wegen der Begünstigungswirkung der Buche. Auf fruchtbaren Standorten dagegen dominieren negative Effekte, da die Buche dort ihre überlegene Expansionskraft im Kronen- und Wurzelraum zu Lasten der Fichte ausspielen kann.

Die Buche profitiert auf fruchtbaren Standorten von der Fichtenbeimischung deutlich, auf ärmeren Standorten dagegen hat sie weniger Vorteil. Dies lässt folgende Vermutung zu: Auf fruchtbaren Standorten ist die intraspezifische Konkurrenz im Buchen-Reinbestand am größten, deshalb fällt auch die Konkurrenzmindern durch Beimischung der Fichte am deutlichsten aus. Dagegen ist auf ärmeren Standorten der intraspezifische Ausscheidungskampf geringer, die Struktur reicher (Pretzsch 2009) und damit auch die entspannende Wirkung einer Fichtenbeimischung nicht so groß.

Die Ergebnisse und die getroffene Interpretation korrespondieren mit dem von Holmgren et al. (1997) sowie Callaway und Walker (1997) eingeführten konzeptuellen Modell, wonach Begünstigung am deutlichsten auf ärmeren, limitierten Standorten zu finden ist und Konkurrenz und damit auch Konkurrenzreduktion auf Grund von Mischung am deutlichsten auf reichen, fruchtbaren Standorten auftritt.

### Mischungseffekte im Verlauf der Bestandesentwicklung

Abbildung 10: Mögliche Veränderung des Mischungseffektes zwischen Fichte und Buche im Verlaufe der Bestandesentwicklung in schematischer Darstellung



### Schlussfolgerungen

Die hier behandelte Interaktion zwischen Mischbaumarten durch gegenseitige Förderung oder Konkurrenzreduktion bildet nur einen möglichen Mischungseffekt neben vielen anderen, die im Verlauf des Bestandeslebens auftreten können. Ob die Mischung positiv oder negativ in der Produktivität abschneidet, hängt ganz wesentlich davon ab, in welchem Zeitraum der Bestandesentwicklung (z. B. Jugendstadium, Zerfallsphase), wie lange (z. B. Zwei-Jahres-Periode im Gewächshaus oder 50-Jahres-Periode auf langfristigen Versuchsflächen) und unter welchen Rahmenbedingungen (Gewächshaus oder Freiland, stark oder gering risikobehafteter Standort usw.) die Mischung analysiert wird.

Abbildung 10 zeigt schematisch, wie sich bei einer Mischung aus Fichte und Buche die Produktivität im Vergleich zu den jeweiligen Reinbeständen (rechter bzw. linker Randbereich des Diagramms) im Verlaufe der Bestandesentwicklung ändern kann.

In den ersten Jahren dominiert in dem Beispiel der reine Ersatzeffekt: Der Fichten-Reinbestand ist dem Buchen-Reinbestand überlegen, die Leistung der Mischbestände weist keinen positiven Wechselwirkungseffekt auf. Wenn sich die Bestände schließen und die Arten in enge Interaktion treten, können gegenseitige Förderung und Konkurrenzreduktion zu erheblichen Mehrzuwächsen gegenüber dem Reinbestand führen (konkave Kurvenform von unten). Insbesondere in der zweiten Hälfte des Bestandeslebens können Stabilisierung, Risikostreuung oder Resilienz eine weitere Überlegenheit der Mischung erbringen. Die in diesem Aufsatz getroffenen Aussagen zu Mischungseffekten basieren auf Rein- und Mischbeständen, die im Beobachtungszeitraum normal und ohne gravierende Störungen (d. h. ohne Zerstörung durch Borkenkäfer, Wind, Schneebruch) erwachsen sind.

Abbildung 10 verdeutlicht weiter die Bedeutung der Altersphase und Zeitspanne von Mischbestandsanalysen für die Ergebnisse: Auch unter sonst gleichen Bedingungen werden Analysen in verschiedenen Altersphasen zu divergierenden Ergebnissen kommen. Zum Verstehen der Mischung sind kurzfristige Erhebungen in allen Phasen nützlich, Konsequenzen für die Forstwirtschaft lassen sich aber vor allem aus langfristigen Beobachtungen unter Einbeziehung möglichst vieler Interaktions- und Störungseffekte ableiten.

## Literatur

- Assmann, E. (1961): *Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen*. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien, 490 S.
- Burger, H. (1941): *Beitrag zur Frage der reinen oder gemischten Bestände*. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 22, S. 164–203
- Callaway, R. M.; Walker, L. R. (1997): *Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities*. Ecology 78 (7), S. 1.958–1.965
- v. Cotta, H. (1828): *Anweisung zum Waldbau*. Arnoldische Buchhandlung, Dresden, Leipzig
- Hartig, G. L. (1791): *Anweisung zur Holzzucht für Förster*. Neue Akademische Buchhandlung, Marburg
- Holmgren, M.; Scheffer, M.; Huston, M. A. (1997): *The interplay of facilitation and competition in plant communities*. Ecology 78 (7), S. 1.966–1.975
- Kelty, M. J. (1992): *Comparative productivity of monocultures and mixed stands*. In: Kelty M. J.; Larson, B. C.; Oliver, C. D. (Hrsg.): *The ecology and silviculture of mixed-species forests*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, S. 125–141
- Kelty, M. J.; Cameron, I. R.; (1995): *Plot design for the analysis of species interactions in mixed stands*. Com For Rev 74, S. 322–332
- Kennel, R. (1965): *Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 136, S. 149–161, 173–189
- v. Lüpke, B.; Spellmann, H. (1997): *Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen*. Forstarchiv 68, S. 167–179
- Mettin, C. (1985): *Betriebswirtschaftliche und ökologische Zusammenhänge zwischen Standortskraft und Leistung in Fichtenreinbeständen und Fichten/Buchen-Mischbeständen*. Allgemeine Forstzeitschrift 40, S. 803–810
- Olsthoorn, A. F. M.; Bartelink, H. H.; Gardiner, J. J.; Pretzsch, H.; Hekhuis, H. J.; Franc, A. (1999): *Management of mixed-species forest: silviculture and economics*, IBN Scientific Contributions 15, 389 S.
- Petri, H. (1966): *Versuch einer standortgerechten, waldbaulichen und wirtschaftlichen Standraumregelung von Buchen-Fichten-Mischbeständen*. Mitteilungen der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz 13, 145 S.
- Pretzsch, H. (2009): *Zur Verteilung des Zuwachses zwischen den Bäumen eines Bestandes und Abhängigkeit des Verteilungsschlüssels von den Standortbedingungen*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 180. Jg., im Druck
- Pretzsch, H.; Biber, P. (2005): *A re-evaluation of Reineke's rule and Stand Density Index*. Forest Science 51, S. 304–320
- Pretzsch, H.; Schütze, G. (2005): *Crown allometry and growing space efficiency of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) and European beech (Fagus sylvatica L.) in pure and mixed stands*. Plant Biology 7, S. 628–639
- Pretzsch, H.; Schütze, G. (2009): *Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: Evidence on stand level and explanation on individual tree level*. European Journal of Forest Research 128, S. 183–204
- Rothe, A. (1997): *Einfluß des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald*. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 163, 174 S.
- Scherer-Lorenzen, M.; Körner, C.; Schulze, E.-D. (2005): *Forest diversity and function*. Ecol. Studies 176, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 399 S.
- Spellmann, H. (1996): *Leistung und Windstabilität von Fichten-Buchen-Mischbeständen*. Tagungsbericht des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde, Neresheim, S. 46–56
- Wiedemann, E. (1942): *Der gleichaltrige Fichten-Buchen-Mischbestand*. Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft 13, S. 1–88
- Wiedemann, E. (1951): *Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft*. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main
- Otto, H.-J. (1994): *Waldökologie*. UTB für Wissenschaft, Eugen Ulmer, Stuttgart
- Zeide, B. (1985): *Tolerance and self-tolerance of trees*. For Ecol Mngt 13, S. 149–166

**Key words:** Norway spruce, European beech, admixture effect, competition, growth

**Summary:** It is described empirically and condensed in an interaction model that, when cultivated in mixture, Norway spruce and European beech can produce much less (–46 %) but also much more (+138 %) biomass growth compared with the respective pure stands depending on site conditions. The database form 23 long-term mixed stand plots covering an ecological gradient reaching from nutrient-poor/dry to nutrient-rich/moist sites in Switzerland, Germany, and Poland. Growth of Norway spruce is accelerated on poor sites on account of facilitation by European beech. Growth of beech is fostered on excellent sites because of competitive reduction by admixture of spruce. The results are integrated into a species interaction model according to which overyielding can be found especially on poor sites where facilitation by beech offsets limitations, but also on rich sites where admixture of spruce reduces beech's severe intra-specific competition.

---

# Vom Umgang mit Fichtenwäldern

Harald Husel

**Schlüsselwörter:** Pflegekonzept für Fichtenbestände, gestaffelte Auslesedurchforstung, Bayerische Staatsforsten

**Zusammenfassung:** In der Rückschau auf 20 Jahre kontinuierliche Arbeit in einem Revier im Fichtenoptimum bestätigt sich auf stabilen Standorten das System der gestaffelten Auslesedurchforstung. Bei fehlender Differenzierung sichert die Jungbestandspflege (JP) mit frühem Kronenausbau und Dickenwachstum die Stabilität. Bei klimabedingter Umorientierung werden Mischbaumarten großzügig gefördert und Weichlaubhölzer erhalten. Die Jungdurchforstung (JD) schließt an mit doppeltem Pflegezyklus im Jahrzehnt und fördert circa 300 bis 400 Z-Bäume. Die Besitzstruktur im Kleinprivatwald betont die Stärken der Auslesedurchforstung: kleine Flächeneinheiten, regelmäßige Eingriffe und mäßige Entnahmemengen. Die Ziele Stabilisierung und Lenkung des Zuwachses werden erreicht, der Ausbau einer großen grünen Krone ermöglicht die Vitalisierung. Das neue Konzept für Fichtenbestände der Bayerischen Staatsforsten geht deutlich weiter. Die JP übergibt nicht mehr als 3.000 Stämme pro Hektar an die JD; bei ebenfalls zwei Eingriffen im Jahrzehnt werden nicht mehr als 100 Z-Bäume betont freigestellt und im Weiteren konsequent gefördert. Mit gewonnener Stabilität (Verhältnis Höhe zu Durchmesser (h/d) unter 70) und Bestandesstruktur (unbehandelte Zwischenfelder) wird der Vorrat ab der Altdurchforstung (AD) bei circa 500 Festmetern pro Hektar (fm/ha) gedeckelt. Im Rahmen einer maßvollen Zielstärkennutzung werden die Bestände in dauerwaldähnliche Zustände überführt. Im Privatwald in Südschwaben wachsen derzeit noch großflächig Fichtenreinbestände einer unsicheren Zukunft entgegen. Die „goldene“ Durchforstungsregel „früh-mäßig-oft“ stellt weiter die Weichen für Stabilität und Zuwachs, aber auch Vitalität und Gesundheit für die Zukunft. Klimatische Veränderungen schieben die Fichte zunehmend aus ihrem „Wohlfühlbereich“.

## Das Allgäu – ein Fichtenland

Das Allgäu ist bekannt für seine ertragreichen Fichtenbestände im Kleinprivatwald, besonders im Gebiet zwischen Lech und Iller. Jenseits des Lechs ändert sich hörbar die Sprache und deutlich sichtbar der Baustil. Die Wälder Richtung Osten weisen mit sinkender Meereshöhe viel häufiger die Tanne und Laubhölzer als Mischbaumarten auf. Westlich der Iller treten zunehmend die Plenterwälder in den Vordergrund. Aber im Ostallgäu ist die Fichte daheim, hier muss der Begriff von der Fichte als Brotbaum entstanden sein. Die zweite Bundeswaldinventur attestiert dieser Region Wälder mit den höchsten Vorräten, den besten Zuwächsen und dem größten Anteil an starkem Holz: Fichtenoptimum.

Die Vergangenheit ist vielerorts geprägt von wiederholten Verjüngungen von Fichte auf Fichte, häufig mit niederdurchforstungsartigen Eingriffen in den Jungbeständen und wenig Bereitschaft, die Wald-Wild-Frage offensiv anzugehen. In der Folge entstehen flächig überdichtete Fichtenreinbestände und damit ein Zielkonflikt im klassischen Kleinprivatwald – einerseits das Bild des Waldbesitzers vom ertragreichen Wald mit schlanken und vollholzigen Bäumen, die als Langholz gutes Geld bringen sollen und andererseits die waldbaulichen Erfordernisse mit den forstwirtschaftlichen Zielen Stabilität, Vitalität und Gesundheit.

Sehr viele Waldbesitzer gehen regelmäßig in ihren Wald gehen, beobachten ihn, lernen vom Wald über den Wald, ziehen ihre Schlüsse daraus und handeln dann aktiv. Einige sind der Ansicht, dass die Fichtenpflege sofort beginnen muss, nachdem die Pflanzen dem Äser des Rehwildes entwachsen sind.



*Abbildung 1: Fichten-Dickung, Reinbestand, Salchenried am Auerberg (Foto: H. Husel)*



*Abbildung 2: Erstaufforstung Fichte im Verband 2 x 2 Meter plus Edellaubholz-Naturverjüngung, Salchenried am Auerberg (Foto: H. Husel)*

### **„Früh, mäßig, oft“ – ein ideales Konzept für den Kleinprivatwald**

Zielkonforme Fichtenbestände vermeiden von Anfang an enge Standräume und hohe Stückzahlen, biologische Automation nach Gruppenschirmstellung verleiht Struktur. Seit langem gibt es hervorragende Beispielbestände, die aus einem 2 x 2-Meter-Verband erwachsen sind. Sehr häufig entstehen jedoch am Saum Fichtenbestände aus Naturverjüngung, die sehr stammzahlreich sind und bei entsprechend zügiger Abdeckung schnell in die Höhe wachsen. In diesen Jungbeständen sind möglichst frühzeitig Kronenentwicklung und Dickenwachstum der Schäfte zu fördern. Eine flächige Behandlung ermöglicht zudem das Auffinden von Mischbaumarten,

die sich auch in fichtendominierten Beständen immer einstellen. Gerade im Zuge der klimabedingten Umorientierung müssen die Mischbaumarten großzügig begünstigt und Weichlaubhölzer erhalten werden. Neben die Stabilisierung tritt mindestens gleichberechtigt die Vitalisierung. Verschiedene Modelle der Fichtenpflege konkurrieren in einer Zeitspanne der letzten 20 Jahre. Eines ist aber allen Durchforstungsmodellen gemeinsam: frühe Eingriffe und frühes Fördern.

Darauf aufbauend setzen die Feinerschließung und die Auslesedurchforstung ein, die – richtig verstanden – mäßig und in mehreren Eingriffen die Hauptzuwachs-träger fördert. Hier kommt die Stärke des Kleinprivatwaldes zum Tragen. Die Waldbesitzer selbst arbeiten auf kleineren Flächeneinheiten und greifen in der Regel außerhalb der Saftzeit regelmäßig, aber mäßig ein. Bei gleichmäßigem Sortenanfall und frühem Erreichen der Stammholzdimension erweist sich die Durchforstung als kostengünstige Maßnahme. Aufwand und Zeit stehen in guter Relation zu Ertrag und Masse.

Treten betriebswirtschaftliche Überlegungen in den Vordergrund, zeigen sich aber auch die Schwächen dieses Durchforstungsmodells. Große Durchforstungsmengen werden in ein bis zwei Eingriffen entnommen. Instabilität, Durchforstungsrisiko, Folgevegetation, Strukturverlust, Inflexibilität, geringe Bestandsschonung sind weitere negative Schlagworte und Assoziationen mit der Auslesedurchforstung.

Abbildung 3: Altdurchforstung im Stadtwald Marktoberdorf, Distrikt Hochwies (Foto: H.Husel)



### Das Resultat: Vitale, vorratsreiche Bestände

Die Rückschau auf eine längerfristige und kontinuierliche Arbeit in einem Revier ermöglicht, Bestände zu betrachten, die in zehn Jahren in einem System mit doppeltem Umlauf gepflegt wurden. Auf stabilen und wüchsigen Standorten wurden die Bestände im Anschluss an die Jungbestandspflege früh und mehrmals durchforstet. Heute stehen dort Jungdurchforstungen mit einem Vorrat von 350 fm/ha, Oberhöhenbonität 40, der BHD der vorherrschenden Bäume bewegt sich etwa bei 30 Zentimetern. Ähnliche Angaben finden sich für Durchforstungen, die zwischenzeitlich in die AD übergegangen sind. Bei einem durchschnittlichen Alter von 75 Jahren weist das Revierbuch einen Vorrat von 760 fm/ha aus, der BHD der vorherrschenden Klasse überschreitet gerade die 50-Zentimeter-Grenze. Trotz sehr hoher Durchforstungsanfälle besteht nach Ertrags-tafel immer noch Vollbestockung.

Das System der Auslesedurchforstung ist bei frühem Beginn und konsequentem zweimaligem Pfl egeturnus im Jahrzehnt auf stabilen Standorten eine erfolversprechende Variante. Die Ziele Stabilisierung und Lenkung von Zuwachs wurden erreicht, der Ausbau einer großen grünen Krone garantiert die Vitalität auch für die Zukunft.

Eignet sich die Auslesedurchforstung aber auch, um auf die Auswirkungen des Klimawandels zu reagieren, bei der die Fichte wie keine andere Baumart von den Ausmaßen betroffen sein wird?

### Vergleich mit dem Fichten-Pflegekonzept der Bayerischen Staatsforsten

Aus der Analyse der bisherigen Durchforstung ergeben sich Vor- und Nachteile der Auslesedurchforstung. Vordergründige Stärke ist die Stabilität, die das h/d-Verhältnis ausdrückt und direkt von der Länge der grünen Krone abhängt. Bei einer Kronenlänge von über 50 Prozent der Baumhöhe sinkt das h/d-Verhältnis unter 70. Starke Eingriffe reduzieren die Innenstruktur der Bestände, es droht ein Massen- und Wertverlust. Daraus wurden die Ziele des Konzeptes abgeleitet:

- Abkehr von einschichtigen und wenig durchmesser-differenzierten Beständen
- früher Beginn der Verjüngungsnutzung
- waldbauliche Freiheit bei der Verjüngung
- fließender Übergang zur Zielstärkennutzung mit langfristiger Verjüngung und Überführung in standortsgemäße Mischbestände
- dauerwaldähnliche Bestände

## Wie funktioniert die Umsetzung im Rahmen der Pflege?

Das System baut darauf, dass die JP Bestände mit 2.000 bis 3.000 (3.500) Stück pro Hektar übergibt. Bei mangelnder Differenzierung sind einmalige Eingriffe zur Mischbaumartenpflege und Standraumregulierung notwendig. Markante Unterschiede ergeben sich nach der JP-Phase.

Frühe Eingriffe in der beginnenden JD fördern nicht mehr als 100 Z-Bäume. Ziel ist ein günstiges h/d-Verhältnis von weniger als 70 und eine möglichst ausgebaute grüne Krone (über 50 Prozent). Z-Bäume sind vorherrschend, gesund und vital. Zielqualität ist B/C, d.h. die Astigkeit und Jahrringbreite als Qualitätsmerkmale verlieren an Bedeutung. Eingegriffen wird nur, um ein bis zwei Bedränger zu entnehmen, die Zwischenfelder bleiben unbehandelt. Der Rückegassenabstand beträgt 30 Meter. Die Erstanlage ist zeitaufwendig, vor allem bei positiv-negativ-Auszeichnung. Die Z1-Bäume dominieren aber bald sehr deutlich. Bei zwei Eingriffen im Jahrzehnt sollen jeweils 50-60 fm/ha entnommen werden.

Die AD setzt dieses System konsequent fort, deckelt aber den Vorrat bei circa 500 fm/ha. Die betonte Freistellung der Zuwachsträger fördert das Zwischenfeld passiv. Außerdem werden dort vorkommende Herrschende und Mitherrschende ab jetzt zunehmend als Z2 direkt gefördert. Diese sollen später bei beginnender Verjüngung die Z1 ersetzen.

Mit Erreichen des BHD 45 bzw. 50 Zentimeter (je nach Wuchspotential) setzt die Zielstärken-Nutzung ein. Bei Begrenzung der Entnahmemenge auf 20 Prozent der Z-Bäume oder 80 fm/ha sowie beginnendem Waldumbau geht der Bestand in dauerwaldähnliche Strukturen über.

Insgesamt ist das Fichtenkonzept der Bayerischen Staatsforsten ein Durchforstungssystem mit JP dort, wo sie dringend erforderlich ist, einer JD nach dem Grundsatz „früh+mäßig+oft“, einer Strukturbildung mit Hilfe der unbehandelten Zwischenfelder, einer Deckelung des Vorrats in der AD und ein Übergang zur Zielstärken-nutzung. Es ist ein gesamtheitlicher Ansatz für stabile Standorte über die verschiedenen Pflegestufen hin zum Dauerwald für Zeiten eines sich ändernden Klimas.

### Neue Fichtendurchforstungsgrundsätze

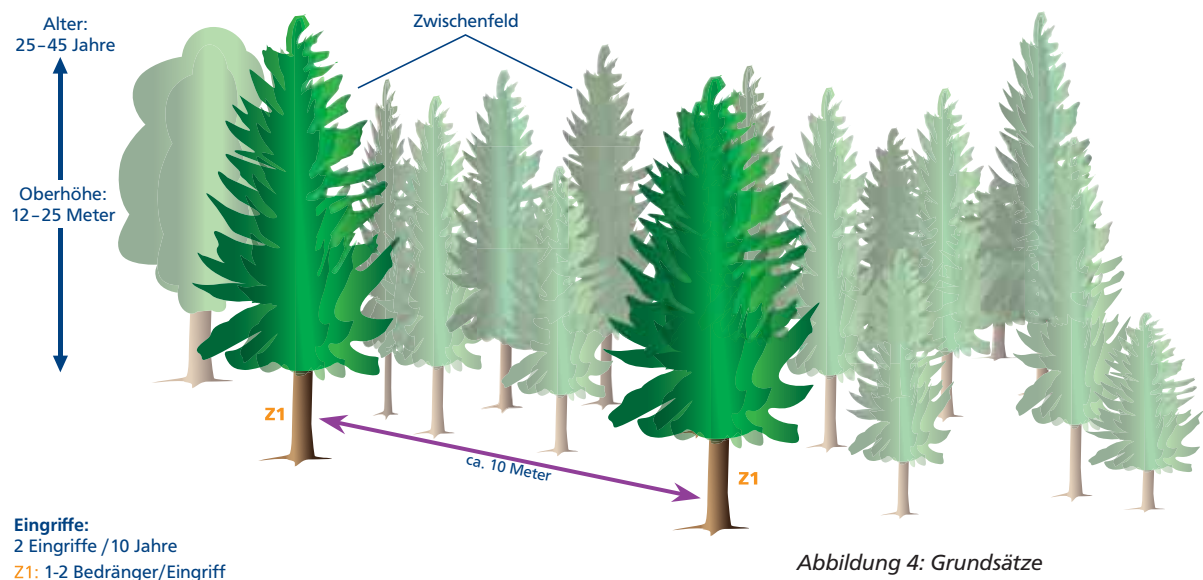


Abbildung 4: Grundsätze der Bayerischen Staatsforsten für die Bewirtschaftung von Fichtenbeständen im bayerischen Staatswald, Jungdurchforstung



Abbildung 5: Waldkörperschaft Buching-Trauchgau, „Keine Zukunft ohne Pflege“, Thema des 2. Ostallgäuer Waldpreises (Foto: A. Schneider)

## Der Ostallgäuer Waldpreis

Vieles hat sich in den Allgäuer Wäldern in den letzten 20 Jahren verändert. Positiver Meilenstein der jüngsten Zeit ist der „Ostallgäuer Waldpreis“, der dieses Jahr zum zweiten Mal ausgeschrieben wurde. Der erste Preisträger baute in dem eigenen Jagdrevier seinen Privatwald vom Fichtenwald flächig zum Buchenmischbestand um, der alle Ansätze eines künftigen Qualitätsbestandes, Stabilität, Vitalität und sehr befriedigendem Zuwachs zeigt. Der Öffentlichkeit wurde aber auch demonstriert, dass die Bandbreite der eingereichten Vorschläge äußerst vielfältig war und der Umbau von Fichtenreinbeständen in standortsangepasste Mischwälder im Allgäu einen breiten Raum einnimmt. Das Thema des Waldpreises Ostallgäu 2009 heißt „Keine Zukunft ohne Pflege“ und damit schließt sich wieder der Kreis.

## Fazit

Zu den Zielen bei der Behandlung von Fichtenwäldern ist eine weitere Komponente dazugekommen: Die Wälder auf das sich ändernde Klima vorzubereiten.

Das Ansehen der Fichte wandelt sich unter dem Eindruck des Klimawandels vom einstigen Brotbaum zum Sorgenkind künftiger Waldbestände. In Südschwaben stocken noch großflächig junge Fichtenbestände, die einer unsicheren Zukunft entgegenwachsen. Der Grundsatz „früh + mäßig + oft“ ist in der Fichtenpflege nach wie vor die goldene Durchforstungsregel. Diese Weichenstellung garantiert Stabilität und Zuwachsenkung, aber auch Vitalität und Gesundheit für die Zukunft. Klimatische Veränderungen verdrängen die Fichte zunehmend aus ihrem „Wohlfühlbereich“. Diesem Problem können adaptierte Pflegemaßnahmen jedoch nicht ausreichend begegnen. Oberste Priorität wird daher dem Umbau in standortsgerechte Mischbestände eingeräumt.

---

# Waldschutz und Klimawandel – „Wettlauf“ mit den Schädlingen?

Ralf Petercord

**Schlüsselwörter:** Fichte, Insekten, Borkenkäfer, Anpassungsfähigkeit

---

**Zusammenfassung:** In der allgemeinen Diskussion über die Folgen des Klimawandels werden Insekten häufig als Gewinner angesehen. Diese Einschätzung ist zunächst einmal folgerichtig, da Insekten zu den wechselwarmen Tieren gehören und damit von einer Temperaturerhöhung infolge des Klimawandels profitieren können. Für den angewandten Waldschutz reicht diese Annahme zur Risikoabschätzung der zukünftigen Gefährdung einer Baumart durch Schadorganismen aber nicht aus. Es bedarf vielmehr einer differenzierten Analyse, welche Arten in welcher Weise vom Klimawandel profitieren.

---

## Reaktionen auf den Klimawandel

Grundsätzlich können Insektenarten auf veränderte Umweltbedingungen in mehrfacher Hinsicht reagieren. Eine direkte Anpassung kann durch eine Veränderung der Vitalität, der Reproduktion oder des Verhaltens erfolgen. Physiologische Veränderungen der Wirtspflanze oder Veränderungen des Gegenspielerkomplexes als direkte Folge einer Umweltveränderung können sich indirekt auf die schädigenden Insektenarten auswirken. Neben diesen Anpassungsprozessen können mobile Arten auch auf eine Veränderung ihres Verbreitungsareals mit Ein- oder Auswanderung reagieren (Rigling et al. 2008). Diese Migrationsprozesse sind dabei nicht auf invasive Arten beschränkt, sondern können auch bei einheimischen Arten auftreten. Aktuell wird beim Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.) eine entsprechende Entwicklung beobachtet.

## Massenvermehrungen sind kein neues Phänomen des Klimawandels

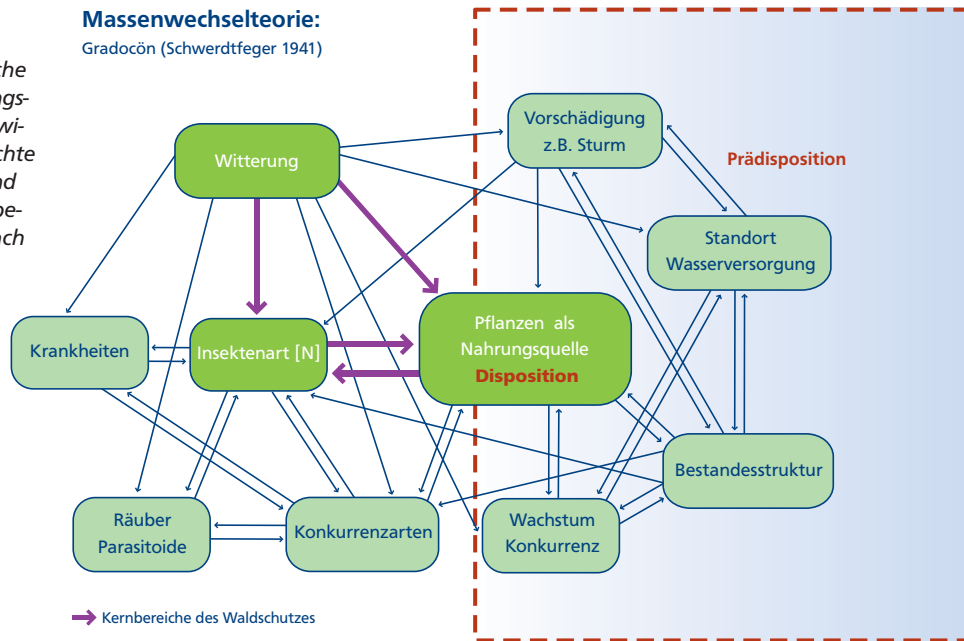
Der Zusammenhang zwischen den bereits zu beobachtenden Klimaveränderungen und dem aktuell von Schadorganismen verursachten Schadholzanfall lässt sich nicht immer wissenschaftlich belegen, ebenso wie man auch nicht jedes Sturmereignis auf den Klimawandel zurückführen kann. Massenvermehrungen (Gradationen) bestimmter Forstinsekten hat es in der Vergangenheit immer wieder gegeben. Von verschiedenen blatt- und nadelfressenden Arten sind relativ stabile Zyklen bekannt, in denen es zum Aufbau einer Gradation kommt. Das bekannteste Beispiel ist der Graue Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana* Gn.), dessen Gradationszyklen sich anhand von Jahrringanalysen über die vergangenen 1.200 Jahre nachvollziehen lassen (Esper et al. 2007). Auch für die Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella* Hbn.) und den Kleinen Frostspanner (*Operopthera brumata* L.) sind entsprechende Zyklen beschrieben, die nicht auf Klimafaktoren, sondern auf induzierte Resistenz (Habermann 2000) bzw. intraspezifische Konkurrenz (Lemme 2001) gründen.

Die älteste bisher bekannte Massenvermehrung des Buchdruckers, damals als „Wurmtröcknis“ bezeichnet, wurde 1618 im Tharandter Wald beobachtet (Blanckmeister und Hengst 1971), also in einer Klimaphase, die als „Kleine Eiszeit“ in die Geschichte einging. Auch spätere Massenvermehrungen dieses für die Fichte wichtigsten Schadinsekts wie die „Große Wurmtröcknis“ 1780 bis 1795 im Harz und 1873 bis 1876 im Böhmisches und Bayerischen Wald waren nicht auf eine Temperaturerhöhung, sondern auf das Brutraumangebot nach Schneebruch- und Sturmwurfschäden zurückzuführen (Gmelin 1787; Escherich 1923).

Die Notwendigkeit von Waldschutzmaßnahmen, insbesondere den Maßnahmen der „sauberen Wirtschaft“ sind gerade in der Bewirtschaftung der Fichte seit über 200 Jahren gängige Praxis und Bestandteil einer ordnungsgemäßen, nachhaltigen Forstwirtschaft. Der Klimawandel verschärft sicherlich die Bewirtschaftungsrisiken der Fichte (Kölling et al. 2007), die aber gerade im Hinblick auf die biotischen Risiken nicht neu sind.

**Massenwechseltheorie:**  
Gradocön (Schwerdtfeger 1941)

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Beziehungsgeflechtes (Gradocön) zwischen der Populationsdichte [N] eines Schadinsekts und den Faktoren, die diese beeinflussen. (verändert nach Schwerdtfeger 1941)



## Wie entstehen Massenvermehrungen von Insekten?

Massenvermehrungen von Schadinsekten werden nicht von einem Faktor allein gesteuert. Bereits 1941 hat Schwerdtfeger die Vielfalt der an einem Ort realisierten Faktoren, die auf eine Population einwirken und deren Dynamik bestimmen, mit dem Begriff „Gradocön“ bezeichnet. Danach bestimmt eine wechselnd große Vielzahl miteinander verknüpfter Faktoren den Massenwechsel (Abbildung 1). Damit kann ein einzelner Faktor wie die Temperatur, die Nahrungsqualität der Wirtspflanze oder die Wirkung von Gegenspielern „nur (dann) richtig gewertet werden ..., wenn gleichzeitig die anderen Faktoren mit ihren Wechselwirkungen in die Betrachtung einbezogen werden“ (Schwerdtfeger 1981).

Letztlich bestimmt die wechselseitige Beeinflussung (physiologische Interaktion) zwischen Wirtspflanze und Insekt das Schadensausmaß eines Insektenbefalls. Die Prädisposition der Wirtspflanze auf Grund von Vorschädigung, Nährstoff- und Wasserversorgung, Bestandesstruktur oder Konkurrenzsituation beeinflussen die Stoffwechselprozesse in ihr. Diese bestimmen die Möglichkeiten der Pflanze zur Abwehr und damit über die Nahrungsqualität den Resistenzstatus. Auf der anderen Seite wird die Angriffsstärke der Insekten über deren Entwicklungsgeschwindigkeit, Generationsabfolge, Vitalität und Vermehrungspotential (♀-Anteil) bestimmt. Über den Witterungsverlauf insbesondere extremer Witterungsereignisse wirkt die Klimaveränderung auf

die Nahrungsbeziehung zwischen den Baumarten und ihren Schädlingen ein und vermag je nach Verlauf eine der beiden Seiten zu begünstigen. Prognosen zur zukünftigen Klimaentwicklung liefern allerdings keine Aussagen zu den zu erwartenden Witterungsverläufen oder gar Extremereignissen.

## Entwicklungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur

Die Temperatur ist sicherlich ein wichtiger Faktor für die Entwicklungsgeschwindigkeit der Insekten. Gerade für Schadinsekten wie den Buchdrucker, die mehrere Generationen im Jahr durchlaufen können (plurivoltin), ist die Entwicklungsgeschwindigkeit innerhalb einer Generation entscheidend für die Zahl der Generationen insgesamt und damit für den Reproduktionserfolg innerhalb eines Jahres. Die Entwicklungsgeschwindigkeit lässt sich allerdings nicht unbegrenzt steigern, sondern folgt einer Optimumkurve. Jedes Entwicklungsstadium vom Ei über Larve und Puppe bis zum geschlechtsreifen Insekt hat seine eigene Optimumkurve, die durch ein Minimum, ein Optimum und ein Maximum charakterisiert wird. Bei Temperaturen unterhalb des Minimums und oberhalb des Maximums findet keine Entwicklung statt. Das Optimum ist der Temperaturwert, bei dem die Entwicklung am schnellsten verläuft. Vom Minimum zum Optimum steigt die Entwicklungsgeschwindigkeit linear mit der Temperaturzunahme an, fällt vom Optimum zum Maximum dann aber deutlich

stärker wieder ab. Jede Temperaturerhöhung oberhalb der Optimaltemperatur führt also zu einer überproportionalen Abnahme der Entwicklungsgeschwindigkeit. Schopf et al. (2008) geben für die Entwicklungsgeschwindigkeit des Buchdruckers bezogen auf die Gesamtentwicklung einer Generation das Minimum bei 8,3°C, das Optimum bei 30,4°C und das Maximum bei 38,9°C an. Für die deutliche Mehrheit der Forstinsekten wurden bisher keine Temperaturdaten zur Erstellung entsprechender Optimumkurven ermittelt.

## Schadinsekten der Fichte

Schwerdtfeger (1981) benennt in seinem Lehrbuch „Die Waldkrankheiten“ über 100 Insektenarten, die an der Fichte Schäden verursachen. Zur Abschätzung des zukünftigen biotischen Risikos der Fichte sind aber zunächst einmal nur die Arten von Interesse, die in der Vergangenheit unter vermeintlich ungünstigeren Klimabedingungen bereits bewiesen haben, dass sie zu bestandesbedrohenden Schäden befähigt sind. In Bayern sind dies der Buchdrucker (*Ips typographus* L.), der Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.), die Nonne (*Lymantria monacha* L.), die Fichtengespinstblattwespe (*Cephalcia abietis* L.) und die Kleine Fichtenblattwespe (*Pristiphora abietina* Christ). Die vorrangige Betrachtung dieser fünf Arten im Hinblick auf den Klimawandel und den sich daraus ergebenden waldbaulichen Fragestellungen ist konsequent, da Aussagen zu den übrigen Arten ohnehin nur spekulativen Charakter haben können und damit für die forstwirtschaftliche

Praxis wertlos sind. Dies bedeutet nicht, dass die zukünftige Entwicklung dieser Arten vernachlässigt werden kann, vielmehr muss das gesamte Spektrum potentieller einheimischer und invasiver Schadinsekten hinsichtlich ihrer Populationsdynamik und Verbreitung weiterhin intensiv beobachtet und erforscht werden. Nur auf diese Weise verfügt der Waldbesitz über die notwendige Reaktionszeit zur Durchführung von Vermeidungs- bzw. Bekämpfungsmaßnahmen im Sinne einer integrierten Waldschutzstrategie.

## Borkenkäfer als eindeutige Gewinner des Klimawandels

Die Entwicklung des Schadholzanfalls bei der Fichte nach 2003 verdeutlicht, dass Buchdrucker und Kupferstecher das Potential haben, den vom Klimawandel verursachten Temperaturanstieg zu umfangreichen Massenvermehrungen zu nutzen. Dabei spielen vermutlich zwei Faktoren eine Schlüsselrolle im Schadverlauf. Beide Borkenkäferarten sind in der Lage, mehrere Generationen und Geschwisterbruten im Jahr zu durchlaufen. Die Generationsabfolge ist wesentlich temperaturgesteuert, erst am Ende der Vegetationszeit, wenn die Tageslänge nicht mehr ausreicht, beenden die Käfer das Brutgeschäft (Diapause) (Abbildung 2). Hohe Temperaturen und Niederschlagsdefizite schwächen die Fichte und disponieren sie für den erfolgreichen Befall der Borkenkäfer.

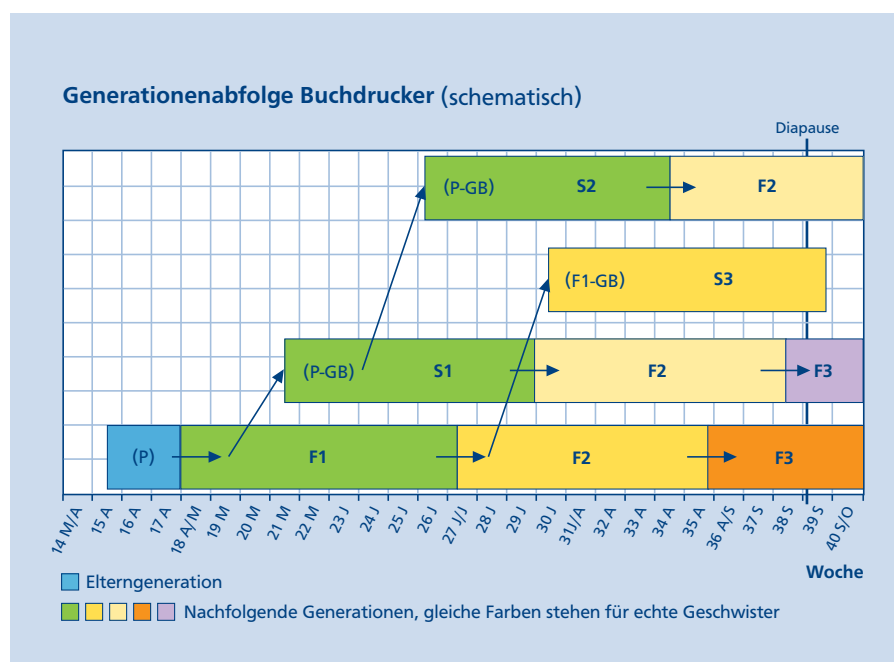


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Generationsabfolge des Buchdruckers

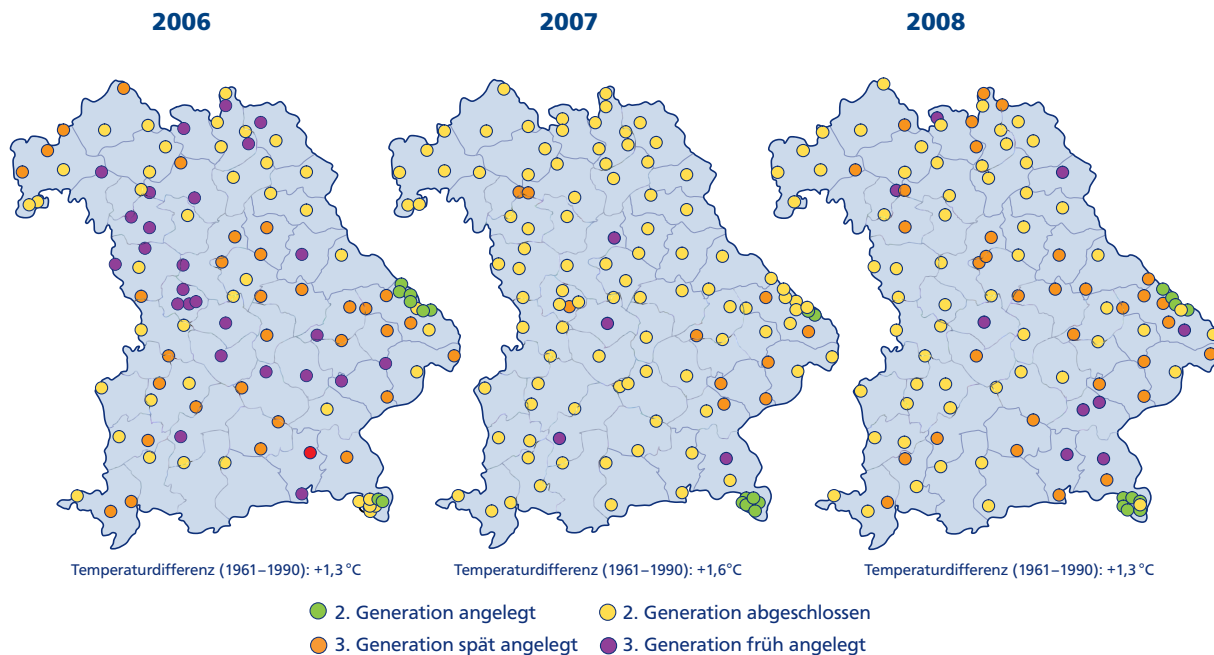


Abbildung 3: Generationsabfolge des Buchdruckers 2006, 2007, 2008 in Bayern entsprechend den Ergebnissen des Borkenkäfermonitorings

Seit 2004 wird in Bayern ein flächendeckendes Borkenkäfermonitoring durchgeführt. Es arbeitet mit circa 300 Borkenkäferfallen, die in einem Grundraster von 32 x 32 Kilometern aufgestellt sind. Dieses Grundraster ist im trocken-warmen Klimabereich dauerhaft verdichtet und wird flexibel auch in akuten Brennpunktbereichen verdichtet. Darüberhinaus werden Bruthölzer ausgelegt, um die Brutentwicklung verfolgen zu können. Die örtlich differenzierten Informationen aus den Ergebnissen zum Flugverlauf, zur Brutentwicklung, den Witterungsdaten und der örtlichen Lageeinschätzung bieten dem Waldbesitzer zu jedem Zeitpunkt einen aktuellen Überblick zur Gefährdungssituation. Gleichzeitig leitet die LWF aus den Ergebnissen des Monitorings aktuelle Handlungsempfehlungen zur Befallskontrolle und Bekämpfungsstrategie ab, um die Effizienz der Borkenkäferbekämpfung zu erhöhen.

Langfristige Auswertungen der Monitoringergebnisse erlauben zudem Aussagen über die Generationsabfolge in den einzelnen Jahren. In Kombination mit Daten zum Witterungsverlauf können auf diese Weise die verschiedenen Borkenkäferjahre miteinander verglichen und Faktoren, die die Generationsabfolge steuern, identifiziert werden. Eine entsprechende Auswertung des Buchdrucker-Monitorings für die Jahre 2006, 2007 und 2008 (Abbildung 3) verdeutlicht, dass der Buchdrucker in allen drei Jahren landesweit mindestens zwei Generationen durchlaufen konnte. Im ungünstigsten Falle – in den Hochlagen des Bergwaldes – wurde diese zweite Generation nur angelegt, die Brut musste als Larve, Puppe oder unreife Jungkäfer überwintern. Teilweise wurde die zweite Generation aber noch komplett abgeschlossen, eine dritte Generation noch spät angelegt oder bei günstigstem Temperaturverlauf die dritte Generation sogar vergleichsweise früh angelegt. Im Vergleich der Jahre untereinander zeigt sich, dass sich die Generationsabfolgen in allen drei Jahren deutlich unterscheiden. Im Jahr 2006 war die Generationsdauer am kürzesten, an deutlich mehr Fallenstandorten als 2007 und 2008 wurde eine dritte Generation früh angelegt. 2007 war die Generationsentwicklung dagegen am

langsamsten. Das Jahr 2008 nimmt eine Zwischenstellung ein. Dabei war im Vergleich der drei Jahre die Jahresdurchschnittstemperatur 2007 am höchsten. In den Jahren 2006 und 2008 war die Jahresdurchschnittstemperatur annähernd gleich hoch. In allen drei Jahren war es aber im Vergleich zur meteorologischen Vergleichsperiode 1961 bis 1990 deutlich über 1°C wärmer. Die Unterschiede zwischen den Jahren werden beim Vergleich der monatlichen Durchschnittstemperaturen deutlich. Im jeweiligen Witterungsverlauf ist die Erklärung für die unterschiedliche Generationsdauer zu sehen.

Der Schadholzanfall korrespondiert mit der Generationsdauer (Abbildung 4). Die Schadholzmenge war 2006, dem Jahr der raschesten Entwicklung, deutlich größer als 2007 und 2008. 2008 war sie wiederum höher als 2007. Diese auf ganz Bayern bezogene Aussage stimmt allerdings nicht für alle Landesteile gleichermaßen. Eine völlig abweichende, gegenläufige Entwicklung ist in Oberfranken mit einem zunehmenden Schadholzanfall von 2006 zu 2008 festzustellen. Diese ist auf ein hohes Brutraumangebot nach Sturmwurf (Sturmtief „Kyrill“ im Januar 2007) zurückzuführen. Die Entwicklung der Borkenkäferschäden bedarf also einer deutlich intensiveren Analyse und kann nicht über die Jahresdurchschnittstemperatur allein erklärt werden.

## Keine abschließende Bewertung möglich

Die Nonne (*Lymantria monacha* L.) ist als nadelfressende Schmetterlingsart ein bedeutender Schädling der Fichte. Einmaliger Kahlfraß ist in Folge der Überhitzung des unbeschatteten Kambiums tödlich. Die Nonne ist zu großräumigen Massenvermehrungen fähig. Gefährdet sind vor allem homogene, gleichaltrige Fichtenblöcke in warm/trockenen Gebieten. Die Nonne überwintert als Ei-Räupchen in der Eischale und ist damit gegen Witterungseinflüsse im Winter bestens geschützt. Die im April schlüpfenden Raupen fressen bis in den Juni hinein. Zunächst fressen die Raupen nur die Mainadeln, austreibende Knospen und den Pollen der männlichen Blütenstände. Erst ab dem 3. Raupenstadium werden auch die Altnadeln der Fichte als Nahrung angenommen. Insgesamt werden fünf (♂♂) bis sechs (♀♀) Raupenstadien durchlaufen. Die Entwicklungsdauer der Stadien hängt stark von der Temperatur ab. Nach Abschluss der Larvalentwicklung verpuppen sich die Tiere in einem lockeren Gespinnst am Fraßort, an Ästen oder am Stamm. Die nachtaktiven Falter findet man im Juli und August. Die 100 bis 200 Eier je Weibchen werden unter Rindenschuppen am Stamm abgelegt. Der Witterungsverlauf der vorangegangenen Raupenzeit beeinflusst Weibchenanteil und Eizahl. Hohe Temperaturen während der Raupenzeit bewirken gleichsinnig eine Erhöhung des Weibchenanteils in der Population als

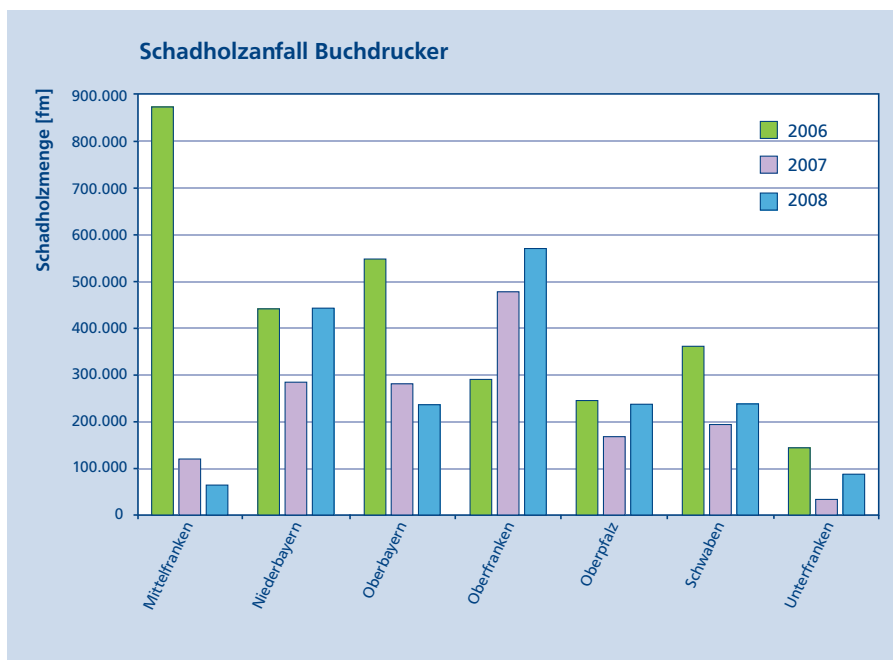


Abbildung 4: Schadholzanfall durch Buchdruckerbefall in den Jahren 2006, 2007 und 2008 in Bayern differenziert nach den Landesteilen

auch der Eizahl je Weibchen (Zwölfer 1934 zit. n. Schwerdtfeger 1981). Die Temperatur ist damit ein Schlüsselfaktor für die Entstehung von Massenvermehrungen der Nonne. Eine potentielle Förderung im Zuge des Klimawandels ist daher auch für diese Art anzunehmen.

In den vergangenen Jahren wurde in Bayern kein merklicher Anstieg der Populationsdichte bei der Nonne beobachtet. Möglicherweise wirkten andere Faktoren (fehlende Habitatstrukturen nach Waldumbau?) hemmend auf das Schadinsekt und verhinderten so eine Massenvermehrung, die entsprechend der günstigen Temperaturverläufe möglich gewesen wäre. Auf Grund des hohen Schadpotentials der Art ist die Überwachung der Populationsdichte über ein effizientes Monitoringverfahren ausgesprochen wichtig. In Bayern wird daher jährlich die Falterdichte über eine Pheromon-Prognose bestimmt.



Abbildung 5: Pronymphe der Fichtengespinstblattwespe im Boden (Foto: H. Lemme)

## Erneut im Kommen

Die Fichtengespinstblattwespe (*Cephalcia abietis* L.) war bis in die Mitte der neunziger Jahre ein Dauerschädling der Fichte im Bayerischen Wald, im Fichtengebirge und im Frankenwald in Höhenlagen oberhalb 600 Meter ü. NN. Bis 1997 waren mehrere großflächige Bekämpfungsmaßnahmen zur Walderhaltung notwendig. Die Fichtengespinstblattwespe gilt als Folgeschädling nach Immissionsschäden, die deutliche Abnahme der Populationsdichten nach der letzten Bekämpfung wurde auch auf die zunehmende Revitalisierung der Fichte nach der erfolgreichen Reduzierung der SO<sub>2</sub>-Emissionen zurückgeführt.

Die Fichtengespinstblattwespe durchläuft eine ein- bis dreijährige Generationsdauer. Die Wespen fliegen im Mai und Juni über einen Zeitraum von circa vier Wochen. Die Männchen fliegen sehr eifrig, die Weibchen dagegen sind eher flugträge und laufen an den Stämmen empor. Jedes Weibchen legt 100 bis 120 Eier in Paketen zu vier bis zwölf Stück ringsum an Nadeln des vorjährigen Triebes und des frischen Maitriebes ab. Nach zwei bis vier Wochen schlüpfen die Larven (Afterraupen) und wandern ein bis zwei Triebe abwärts, versammeln sich und bilden Gespinste, die zunächst unscheinbar sind, mit zunehmender Fraßdauer aber deutlich sichtbar werden. In der Regel fressen die Larven ausschließlich die Altnadeln, der frische Maitrieb bleibt erhalten. Die Larven durchlaufen während ihrer sechs- bis achtwöchigen Fraßzeit sechs Larvenstadien und lassen sich am Ende derselben (im August) zu Boden fallen. Als Nymphen (Ruhelarven) überliegen sie dann im Boden in einer Tiefe bis zu 30 Zentimetern ein bis drei Winter lang. Die Ruhephase (Diapause) endet mit der Entwicklung einer Pronymphe. Charakteristisch ist die Ausbildung eines Puppenauges, die bereits im Herbst des Jahres vor dem Flugjahr einsetzt. Diese Entwicklung ermöglicht eine Abschätzung des Wespenfluges im kommenden Frühjahr mittels Winterbodensuchen als Standardprognoseverfahren. Die Pronymphen werden ab Mitte April zu Puppen und aus diesen schlüpfen nach zwei bis drei Wochen die geschlechtsreifen Wespen (Schwerdtfeger 1981).

In der Winterbodensuche 2008/09 wurde erstmals wieder ein deutlicher Anstieg der Pronymphenzahlen in einzelnen Probeständen des ehemaligen Dauerschadgebietes festgestellt. In einzelnen Beständen wurde daher im Juni ein starker Wespenflug beobachtet. Inwieweit die regelmäßigen Starkniederschlagsereignisse im Sommer 2009 die Entwicklung der Larven be-



Abbildung 6: Fichtengespinstblattwespen während des Schwärmfluges im Juni (Links: Weibchen; Rechts: Männchen) (Foto: H. Lemme)

einflussten, ist derzeit noch unklar. Entsprechende Untersuchungen zum Befalls- und Schadverlauf werden aktuell durchgeführt. In welchem Umfang die Fichtengespinstblattwespe von den Witterungsveränderungen des Klimawandels profitieren kann, ist ungewiss. Die lange Ruhephase im Boden führt möglicherweise zu einer erhöhten Mortalität bei mildereren, feuchteren Wintern, andererseits bietet sie der Art eine hohe Flexibilität, günstige Witterungsbedingungen für sich zu nutzen (Battisti 2004). Eine abschließende Bewertung der Folgen des Klimawandels für die Fichtengespinstblattwespe ist bisher nicht möglich.

Der Fraß der Fichtengespinstblattwespe ist für die Fichte, da die Maitriebe verschont bleiben, in der Regel nicht primär tödlich, führt aber zu einer Vitalitätsabnahme, die den Sekundärbefall anderer Arten begünstigt. Das Risiko eines Borkenkäferbefalls steigt deutlich an. In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung der Dichteentwicklung der Fichtengespinstblattwespe mit einem effektiven Monitoringverfahren für den Waldbesitz von hoher Bedeutung.

### Erste Erfolge des Waldumbaus

Auch die zweite bedeutende Blattwespen-Art an der Fichte trat in der Vergangenheit in Bayern als Dauerschädling in Erscheinung. Das Dauerschadgebiet der Kleinen Fichtenblattwespe (*Pristiphora abietina* Christ) war auf die südöstlichen Landesteile beschränkt, stell-

te hier aber die ertragsfähige Bewirtschaftung der Fichte bei jährlich wiederkehrendem Fraß in Frage (Feemers et al. 2002).

Wie die Fichtengespinstblattwespe ist auch die Kleine Fichtenblattwespe zum Überliegen befähigt. Zwar entwickeln sich 50 bis 80 Prozent Ende September des Fraßjahres zu Pronymphen und haben damit eine einjährige Entwicklung. Die restlichen 20 bis 50 Prozent überliegen aber mindestens ein weiteres Jahr und können sogar bis zu sechs Jahre im Boden überdauern. Die Wespen schwärmen Ende April/Anfang Mai und belegen Fichtenknospen eines ganz bestimmten Austriebsstadiums mit Eiern. In diesem Stadium sind die Knospenschuppen gerade abgesprengt, die Nadeln aber noch nicht gespreizt. Je Knospe werden sechs bis 35 Eier abgelegt. Die Weibchen haben einen Vorrat von 40 bis 100 Eiern und legen jedes Ei einzeln an eine Nadel in einem speziellen Eischlitz ab. Die nach drei bis acht Tagen schlüpfenden Larven (Afterraupen) ernähren sich ausschließlich von den frischen Maitrieben, deren Nadeln sie bis auf die Stümpfe abfressen. Je nach Witterungsverlauf dauert die Larvalentwicklung zwei bis vier Wochen, die letzten Larvenstadien lassen sich Ende Mai/Anfang Juni zu Boden fallen. Sie überwintern als Nymphen in einem dicht gesponnenen, fünf bis sieben Millimeter großen, rotbraunen Kokon in der Streuauflage und verpuppen sich im März/April des Flugjahres (Schwerdtfeger 1981; Feemers et al. 2002).

Forschungsarbeiten zur Nachhaltigkeit chemischer Bekämpfungsmaßnahmen zeigten, dass diese, entsprechend der Fähigkeit zum Überleben eines Teils der Population, nur kurzfristig Entlastung bringen und bereits nach wenigen Jahren wieder vergleichbare Fraßschäden wie vor der Behandlung auftreten (Gebert und Skatulla 1997). Zielführender erschien die Beschränkung der Populationsdynamik über waldbauliche Maßnahmen. Im Dauerschadgebiet wurden daher chronisch geschädigte Fichtenreinbestände in Mischbestände umgebaut. Die Staatsregierung förderte die Umbaumaßnahmen mit dem Ziel, über die Einbringung von Laubbaumarten die Streuauflage zu Ungunsten der Kleinen Fichtenblattwespe zu verändern (Feemers et al. 2002). Die Entwicklung der Populationsdichte im Dauerschadgebiet zeigt, dass diese Waldumbaumaßnahmen ausgesprochen erfolgreich waren. Seit mehreren Jahren sind keine Fraßschäden der Kleinen Fichtenblattwespe mehr zu verzeichnen. Entsprechende Erfolge mit dem Vor- bzw. Unterbau von Laubhölzern in Nadelholzreinbeständen wurden bereits in der Vergangenheit berichtet und auf die Veränderung der Streuauflage bezogen (Lüdge 1971).

Inwieweit Klimaveränderungen diese Erfolge im Hinblick auf die Kleine Fichtenblattwespe in Frage stellen können, ist unbekannt. Eine Beobachtung der zukünftigen Populationsdynamik und des Fraßgeschehens ist daher weiterhin von hoher Bedeutung.

### Schlussfolgerungen für den „Wettlauf“

Die vorgestellten Beispiele verdeutlichen, dass die verschiedenen Schädlinge der Fichte artspezifisch unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren können. Die Veränderung der Jahresdurchschnittstemperatur ist dabei von untergeordneter Bedeutung, wichtig ist vielmehr der Witterungs- und Temperaturverlauf während bestimmter Entwicklungsphasen der jeweiligen Insektenart. Offensichtlich sind die Borkenkäfer dank ihres raschen Generationswechsels in besonderem Maße in der Lage, von wärmeren Temperaturen zu profitieren. Entsprechend der dargestellten Unsicherheiten lässt sich das zukünftige Schadpotential der einzelnen Arten und deren Zusammenspiel nicht prognostizieren. Gerade hinsichtlich der Borkenkäferschäden bleibt festzuhalten, dass die altbekannten Maßnahmen der „sauberen Waldwirtschaft“ diese deutlich beschränken können.

### Wie bereiten wir die Wälder vor?

Grundsätzlich gilt: *„Wer den Wettlauf gewinnen will, muss bereit sein zu laufen“!* „Laufen“ meint im Zusammenhang mit dem Klimawandel, anpassungsfähig sein. Nur wenn es gelingt, auf neue Herausforderungen angemessen zu reagieren, kann die Forstwirtschaft bei veränderten Risiken durch biotische Schadfaktoren auch in Zukunft ertragssicher arbeiten. Dazu müssen einerseits im Wege eines konsequenten Waldumbaus klimastabile Wälder aufgebaut werden. Der Anpassungsfähigkeit der Wälder kommt in Bezug auf das zukünftige Risiko eine Schlüsselrolle zu. Der Waldumbau zielt daher darauf ab, diese zu erhalten und zu fördern. Alte Wälder verfügen über die höchste genetische Anpassungsfähigkeit und sind daher besonders wertvoll (Kätzel und Konnerth 2009). Ihre genetische Ausstattung ist Grundlage für den Waldumbau mit Baumarten einheimischer Herkünfte.

Andererseits kann der aufgezeigten Unsicherheit hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit einzelner forstschädlicher Arten an den Klimawandel und den sich daraus ergebenden Risikopotentialen nur mit Hilfe effektiver Monitoringverfahren begegnet werden. Sie liefern dem Waldbesitz die notwendige Reaktionszeit, um auf absehbare Waldschutzrisiken rechtzeitig zu reagieren. Gleichzeitig müssen neue Vermeidungs- und Bekämpfungsstrategien entwickelt werden. Dabei kommt dem präventiven Waldschutz durch einen angepassten Waldbau eine besondere Bedeutung zu, wie das Beispiel der Kleinen Fichtenblattwespe eindrucksvoll belegt. Andererseits werden aber trotz der Risikominimierung auf Grund des Waldumbaus unabhängig von der verwendeten Baumart weiterhin Schäden durch einheimische als auch invasive Forstinsekten auftreten. Diese gilt es über Waldschutzmaßnahmen im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes effektiv zu bekämpfen. Dass dies erfolgreich möglich ist, hat die moderne Forstwirtschaft in den vergangenen 200 Jahren bewiesen.

## Literatur

Battisti, A. (2004): *Forests and climate change – lessons from insects*. Forest@ 1 (1), S. 17–24

Blanckmeister, J.; Hengst, E. (1971): *Die Fichte im Mittelgebirge*. Neumann, Radebeul, 286 S.

Escherich, K. (1923): *Die Forstinsekten Mitteleuropas, Band II* (Spezieller Teil, Erste Abteilung: Urinsekten, Geradflügler, Netzflügler und Käfer). Verlag Paul Parey, Berlin, 664 S.

Esper, J.; Büntgen, U.; Frank, D. C.; Nievergelt, D.; Liebhold, A. (2007): *1200 years of regular outbreaks in alpine insects*. Proceedings of the Royal Society B 274, S. 671–679

Feemers, M.; Hiller, E.; Immler, T. (2002): *Kleine Fichtenblattwespe*. LWF-Merkblatt Nr. 9, 4 S.

Gebert, A.-K.; Skatulla, U. (1997): *Zur Nachhaltigkeit von Bekämpfungen der Kleinen Fichtenblattwespe (Pristiphora abietina Christ) mit dem Häutungshemmer Alsystin*. Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 70 (1), S. 1–3

Gmelin, J. F. (1787): *Abhandlung über die Wurmtrocknis*. Verlag der Crusiussischen Buchhandlung, Leipzig, 176 S.

Habermann, M. (2000): *The larch casebearer and its host tree: I. Population dynamics of the larch casebearer (Coleophora laricella Hbn.) from latent to outbreak density in the field*. Forest Ecology and Management 136, S. 11–22

Kätzler, R.; Konnert, M. (2009): *Klimawandel – Möglichkeiten und Grenzen der Anpassungsfähigkeit von Waldbäumen*. Seminar der Tagung des Deutschen Forstvereins in Potsdam 2009 (mündliche Mitteilung)

Kölling, C.; Zimmermann, L.; Walentowski, H. (2007): *Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte?* AFZ/Der Wald 62 (11), S. 584–588

Lemme, H. (2001): *Populationsdynamik der Frostspanner Operophtera fagata (Scharfenberg) und Operophtera brumata (Liné) während einer Retrogradation in Ebereschen-Bestockungen des Erzgebirges*. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, Heft 12, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 238 S.

Lüdge, W. (1971): *Der Einfluß von Laubholzunterbau auf die Schädlingsdichte in den Kiefernbeständen der Schwetzingen Hardt*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 142, S. 173–178

Rigling, A.; Forster, B.; Meier, F.; Wermelinger, B. (2008): *Insekten – Schlüsselfaktoren der zukünftigen Waldentwicklung?*; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Infoblatt Forschungsbereich Wald 23, 4 S.

Schopf, A.; Baier, P.; Pennerstorfer, J. (2008): *Entwicklung eines Systems zur örtlichen und zeitlich differenzierten Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch den Buchdrucker (Ips typographus L.) in Sachsen auf Basis des Modells PHENIPS*. Unveröffentlichter Zwischenbericht, Wien, 69 S.

Schwerdtfeger, F. (1941): *Über die Ursachen des Massenwechsels der Insekten*. Zeitschrift für angewandte Entomologie 28, S. 254–303

Schwerdtfeger, F. (1981): *Die Waldkrankheiten*. 4., neubearbeitete Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 486 S.

**Key words:** Norway spruce, insects, bark beetles, adaptability

**Summary:** In the general discussion about climate change insects are often regarded as winners. This assessment at first seems logical because insects are poikilothermic animals and they should benefit from an increase of temperature due to climate change. For the applied forest protection, this assumption is not sufficient for the assessment of tree species' future risk by harmful organisms. Rather, it requires a sophisticated analysis to determine which species can benefit from climate change.

---

# Natürliche Fichtenwälder im Klimawandel – Hochgradig gefährdete Ökosysteme

Stefan Müller-Kroehling, Helge Walentowski, Heinz Bußler und Christian Kölling

**Schlüsselwörter:** Boreo-montaner und subalpiner Nadelwald, Biodiversität, Klimawandel, Laufkäfer, xylobionte Käfer, Naturschutz

**Zusammenfassung:** Natürliche Fichtenwälder sind in Deutschland außerhalb des Hochgebirges ein seltener, auf Höhenlagen oberhalb der Buchenstufe und kleinflächige Sonderstandorte wie z. B. hohlraumreiche Block-Ansammlungen mit Kaltluftströmen oder lokalklimatisch kühlfeuchte, spätfrostgefährdete Moorwälder beschränkter Nadelwald. Auf derartigen, zur Anhäufung von organischem Material tendierenden Standorten ist die Konkurrenzkraft von Tanne und Buche stark eingeschränkt. Natürliche Fichtenwald-Vorkommen verfügen über eine charakteristische Flora und Fauna aus boreo-montan und alpin verbreiteten Arten, deren Vorkommen sie von Fichtenforsten in der Buchenstufe abhebt. Im Klimawandel gerät der Waldlebensraum Fichtenwald zunehmend unter Druck, wie Modellrechnungen zeigen. Diesen Prozess beschleunigen auf erheblicher Fläche noch massive Borkenkäfer-Kalamitäten, die von Fichtenforsten auch auf natürliche Fichtenwälder übergreifen. Die Fichte nimmt in Deutschland riesige Flächen ein. Selbst dort, wo sie von Natur aus weder als Baumart noch als Bestandsbildnerin vorkommt, ist sie oftmals heute die führende Baumart. Der Umbau dieser häufig aus fast reiner Fichte bestehenden Bestände in naturnähere Wälder ist wohl die zentrale Aufgabe des Waldbaus in Zeiten des Klimawandels. Angesichts der Omnipräsenz der Baumart wird jedoch gelegentlich übersehen, dass natürliche Fichtenwälder in Deutschland im Vergleich zu den Fichtenforsten eine relativ kleine Fläche einnehmen. Selbst viele Mittelgebirge wären von Natur aus fichtenfrei oder doch frei von natürlichen Fichtenwäldern. Diese sind ein bedeutungsvolles Schutzgut, um das es nicht zum Besten bestellt ist.

## Fichtenwald-Vorkommen in Europa

Die Gemeine Fichte (*Picea abies*) besitzt heute in der die Nordhalbkugel umspannenden borealen Nadelwaldzone (subpolare Taiga) in Eurasien ein riesiges Verbreitungsgebiet. In Europa werden vor allem zwei Sippen unterschieden, die Europäische Fichte (*P. abies* ssp. *abies*), die den Hauptteil des europäischen Areals von *P. abies* einnimmt und die Sibirische Fichte (*Picea abies* ssp. *obovata*), die ihre Hauptverbreitung in Sibirien hat, im Norden Europas jedoch westlich bis nach Schweden reicht (Lang 1994). Im breiten Überlappungsbereich beider Sippen gibt es Übergangsformen mit allen erdenklichen Merkmalsabstufungen. Das Areal der Europäischen Fichte strahlt von Osten her über den osthercynisch-karpatischen Gebirgsbogen (Matuszkiewicz 1984) und von den Ostalpen her bis in das alpennahe Alpenvorland nach Süddeutschland ein. Sie hatte die letzte Eiszeit in Mittellusland, den Karpaten und am Südostrand der Alpen überdauert. In Mitteleuropa finden wir heute unter folgenden Bedingungen natürlicherweise fichtendominierte Wälder vor:

- In der subalpinen Höhenstufe, in der die Vegetationszeit für Buche und Tanne schon zu kurz ist, besetzt die Fichte waldbildend auch den „standörtlichen Mittelbereich“ in diversen Fichtenwald-Klimaxgesellschaften, die sich standörtlich (krautreiche auf Kalk, zwergstrauchreiche auf Silikat) oder pflanzengeografisch (Alpen/osthercynische Mittelgebirge) voneinander unterscheiden (Ewald 1998, 1999; Walentowski et al. 2006).
- Unterhalb der subalpinen Höhenstufe ist die Fichte als natürlich führende Baumart auf extreme Sonderstandorte beschränkt. Solche kleinflächigen ökologischen Nischen mit reliktschen Fichtenwald-Enklaven blieben dort erhalten, wo Buche und Tanne nicht Fuß fassen konnten. Zu nennen sind Fichtenwälder in Mooren sowie Fichten-Kalk- und Fichten-Silikatblockwälder mit mächtigen Tangel- oder Rohmus-Ansammlungen in kaltluftführenden Felsblock-Humus-Mosaiken.



Abbildung 1: Der Moosglöckchen-Fichtenwald (*Linnaeo borealis-Piceetum*, FFH-Lebensraumtyp 9010 – Western Taiga) ist als klimazonale Schlusswaldgesellschaft in der borealen Zone Fenno-Skandiaviens auf mittleren Standorten weit verbreitet. Das abgebildete Vorkommen in der nordborealen Zone nahe der nördlichen klimatischen (= polaren) Waldgrenze wird von *Picea abies* ssp. *obovata* dominiert, deren Hauptareal in der sibirischen Taiga liegt und westlich bis Nordostnorwegen reicht. Der Wuchs ist an den winterlichen Schneedruck angepasst, mit ausgeprägtem Individualcharakter, beachtlicher Kronenlänge sowie schmalen, spitzen Kronenformen („Säulenfichte“). (Fotos: H. Walentowski)

In klimatisch rauen Bergmischwäldern (tiefmontane, montane und hochmontane Höhenstufe) der Alpen (Ewald 2005), der alpenrandnahen Jungmoräne und der östlichen Mittelgebirge konnte die Fichte sich neben Buche und Tanne bis heute als natürliche Haupt- oder Nebenbaumart behaupten (Walentowski et al. 2001).



## Fichtenwald-Flora und -Lebensraumtypen

Die Fichtenwälder im engeren Sinne werden von der Fichte dominiert, dazu gesellen sich je nach pflanzengeografischen und standörtlichen Gegebenheiten sowie nach Waldentwicklungsphase auch Lärche, Zirbe (Alpen), Tanne, Kiefer, Birken-Arten und Vogelbeere. Die Arten der Bodenvegetation besitzen meist ebenso wie die Fichte ein boreal-eurasatisches oder gar ein circumpolares „Taiga-Areal“. Darunter fallen z. B. eine Reihe von Wintergrünengewächsen der Gattungen *Monotropa*, *Orthilia*, *Pyrola* und *Moneses*, Bärlapp-Gewächse (*Huperzia selago*, *Lycopodium annotinum*), Beersträucher der Gattung *Vaccinium*, das Moosglöckchen (*Linnaea borealis*), der europäische Siebenstern (*Tritalis europaea*), Orchideen-Gewächse (*Corallorhiza trifida*, *Listera cordata*), der Wald-Wachtelweizen (*Melampyrum sylvaticum*) und zahlreiche Moosarten (z.B. *Barbilophozia*-Arten, *Bazzania trilobata*, *Hylocomium umbratum*, *Plagiochila asplenoides*, *Plagiothecium undulatum*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis*, *Rhytidadelphus subpinnatus*, *Sphagnum quinquefarium*, *S. girgensohnii*).



Abbildung 2: Der nordische Fichten-Moorwald (*Rubus chamaemorus-Piceetum*, FFH-Lebensraumtyp 91D0\*, Subtyp 44.A4 – Mire spruce woods) wächst als azonaler Waldtyp in Fenno-Scandinavien in anmoorigen Geländemulden oder im Lagg offener Aapamoore. Die Mortalität der Fichte bzw. der Totholzanteil im Fichten-Moorwald-Ökosystem ist natürlicherweise hoch. Auf den ärmeren Moorstandorten ist die Wüchsigkeit der Fichte gering. In reicheren Geländemulden findet man dagegen Vorkommen mit 200–310 Festmetern lebendem und 70–110 Festmetern totem Holz pro Hektar (Siitonen und Saaristo 1999), die einen spezifischen Lebensraum für die xylobionte Käferart *Pytho kolwensis* (FFH-Anhang-Art) darstellen. Dieser Käfer ist in Fenno-Scandinavien extrem gefährdet und hat auf Grund der forstwirtschaftlichen Nutzung dieser Wälder drastische Arealverluste erlitten. (Fotos: H. Walentowski)

Daneben enthalten die Fichtenwälder Mitteleuropas und der Alpen osthercynisch-karpatische und ostpräalpine Florenelemente, die in der borealen Nadelwaldzone fehlen. Zu nennen sind das Wollige Reitgras (*Calamagrostis villosa*), Berg-Trodelblume (*Soldanella montana*), Grüner Alpenlattich (*Homogyne alpina*) und Hainsimsen-Gewächse (*Luzula luzulina*, *L. sylvatica* ssp. *sieberi*). Einige unserer vertrauten Fichtenwald-Arten sind nach dem Gesetz der relativen Standortskonstanz in Fenno-Scandinavien weitestgehend auf die ozeanischen Fjell-Birkenwälder begrenzt, z.B. die Farne *Blechnum spicant* und *Thelypteris limbosperma*,

die Wald-Hainsimse (*Luzula sylvatica*) und das Moos *Rhytidiadelphus loreus* (Dierssen 1996). Damit zeigen die Fichtenwälder der osthercynischen Mittelgebirge (*Calamagrostis villosa-Piceetum*) und der Alpen (z.B. zwergstrauchreiches *Homogyne alpinae-Piceetum*, krautreiches *Adenostylo glabrae-Piceetum*) – trotz vielen Gemeinsamkeiten – eigenständige Artenkombinationen, die von den borealen Fichtenwäldern (z.B. zwergstrauchreiches *Linnaeo borealis-Piceetum*, krautreiches *Melico nutantis-Piceetum*) abweichen. Dies ist auch bei den Fichtenwäldern auf Sonderstandorten der Fall, z.B. unterscheidet sich der boreale Fichten-Moorwald (*Rubus chamaemorus-Piceetum*) trotz einer erstaunlich großen Anzahl verbindender Arten wegen einiger arktisch-nordisch-kontinentaler Taiga-Arten von dem präalpiden Fichten-Moorwald (*Bazzanio trilobatae-Piceetum*).

Damit zeigt sich einmal mehr, dass die Vorkommen in allen standörtlichen und in allen biogeografisch bedingten Abwandlungen in einem günstigen Zustand erhalten werden müssen, wenn man die biologische Vielfalt der Fichtenwälder schützen möchte. Im Interpretation Manual of European Habitats (EU Kommission 2007) werden die Fichtenwälder der osthercynischen

Mittelgebirge und der Alpen als eigener Lebensraumtyp 9410 („*Acidophilous Picea forests of the montane to alpine levels (Vaccinio-Piceetea)*“) gefasst, die in demselben Landschaftsrum vorkommenden (ost-)präalpiden Fichten-Moorwälder fallen als eigener Subtyp (91 D4\*) in den Lebensraumtyp (91D0\*). Die zwergstrauchreichen Fichtenwälder der borealen Zone gehören zum LRT 9010 („*Western Taiga*“), die krautreichen in den Typ 9050 („*Fennoscandian herb-rich forests with Picea abies*“). Der nordische Fichten-Moorwald wird als eigener Subtyp (44.A4 – *Mire spruce woods*) in den Lebensraumtyp LRT 91D0\* gestellt.

Die von boreal-montan und ostpräalpid verbreiteten Arten geprägten natürlichen Fichtenwald- und Fichtenmoorwald-Vorkommen in Deutschland gelten gegenüber Klimaerwärmung, verlängerten Vegetationszeiten, Austrocknung und Eutrophierung als wenig resilient.

### Natürliche Fichtenwälder im Klimawandel: Fallstudie Bayerischer Wald

Auf die starke Bindung der Baumart Fichte an Gebirgslagen und Kälte allgemein hat schon Plinius d. Ä. 77 v. Chr. in seiner Naturgeschichte hingewiesen: „*Picea montes amat atque frigora*“ („Die Fichte liebt die Berge und die Kälte“). Es deutet einiges darauf hin, dass sowohl die natürliche als auch künstliche Verbreitung der Fichte in der Kälteperiode der „Kleinen Eiszeit“ gefördert wurde (Kölling et al. 2009a).

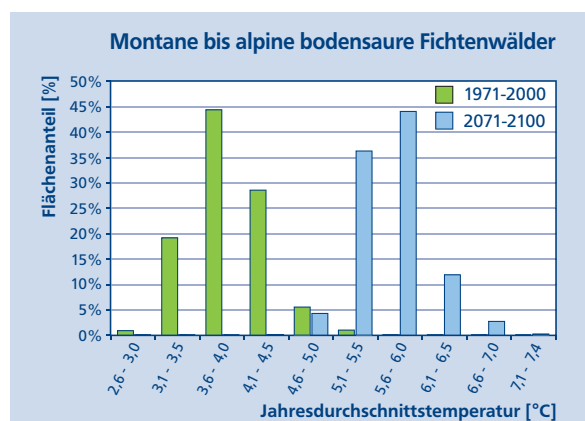


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Jahresdurchschnittstemperaturen innerhalb der als LRT 9410 kartierten Flächen der FFH-Gebiete 6844-371, 6946-301 und 7248-302 für die Periode 1971–2000 (grüne Säulen) und 2071–2100 (blaue Säulen)

Die starken Temperaturanstiege nach dem Ende dieser Periode zwischen 1900 und 1950 und zuletzt nach 1990 verschlechterten die Lebensbedingungen für die Baumart Fichte vor allem in den Randbereichen ihrer ökologischen Nische stark (Kölling et al. 2009b).

Der Bayerische Wald verfügt über die größten Vorkommen natürlicher Fichtenwälder Bayerns außerhalb der Alpen. In seinen Hochlagen bilden auf etwa 6.000 Hektar natürliche Fichtenwälder eine eigene klimatisch bedingte Höhenstufe. Als für die FFH-Gebiete 6844-371 „Großer und Kleiner Arber mit Arberseen“, 6946-301 „Nationalpark Bayerischer Wald“, 7248-302 „Hochwald und Urwald am Dreisessel“ jüngst die Lebensraumtypen nach FFH kartiert wurden (FFH-Kartierteam Niederbayern 2005, 2008, 2009, unveröffentlicht; Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald 2008), ergab sich in diesen Gebieten für den entsprechenden Lebensraumtyp 9410 „Montane bis subalpine bodensaure Fichtenwälder“ eine Gesamtfläche von über 5.500 Hektar. Damit sind bis auf wenige Randflächen und das kleine Gebiet um den Osser die natürlichen Fichtenwälder der Hochlagen des Bayerischen Waldes vollständig kartiert.

Die räumliche Verbreitung dieses charakteristischen Lebensraumtyps ist streng an die Länge der Vegetationsperiode, wie sie sich in der Jahresdurchschnittstemperatur ausdrückt, gebunden. Unterhalb einer Jahresdurchschnittstemperatur von etwa 4 °C (entsprechend einer Seehöhe von 1.150 bis 1.200 Metern ü.NN) sind Buche, Weißtanne und Bergahorn nicht mehr am Aufbau der Baumschicht beteiligt, Fichte und wenig Eberesche bleiben übrig. Die Krautschicht bauen Dominanzbestände aus Wolligem Reitgras (*Calamagrostis villosa*), Drahtschmiele (*Avenella flexuosa*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Alpen-Frauenfarn (*Athyrium distentifolium*) und Wald-Hainsimse (*Luzula sylvatica*) auf. Daneben kommen zahlreiche Moosarten vor. Abbildung 3a zeigt die Verteilung der Jahrestemperatur (Periode 1971 bis 2000 nach Zimmermann et al. 2007) in den als Lebensraumtyp 9410 kartierten Flächen. Wie die Häufigkeitsverteilung in Abbildung 3 ausweist, liegt der Schwerpunkt der Verbreitung mit 95 Prozent unter 4,5 °C, über zwei Drittel der Vorkommen weisen sogar Jahresdurchschnittstemperaturen unter 4,0 °C auf. Wärmere Vorkommen des Lebensraumtyps stocken vorwiegend auf edaphischen und lokalklimatischen Sonderstandorten wie Moorbildungen oder Blockhalden.

Montane bis alpine bodensaure  
Fichtenwälder FFH-LRT 9410

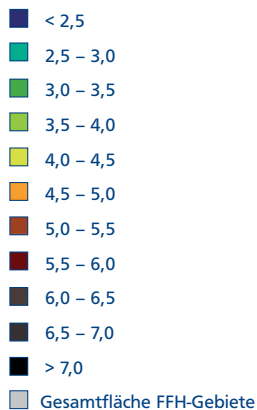


Abbildung 4a: Jahresdurchschnittstemperaturen auf der 2008 kartierten Fläche des LRT 9410 der FFH-Gebiete 6844-371, 6946-301 und 7248-302 in der Periode 1971–2100 (Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung)

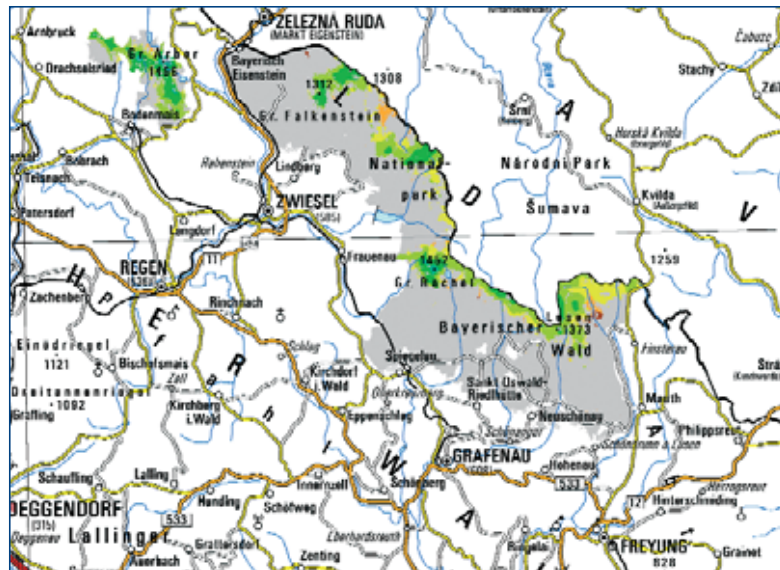
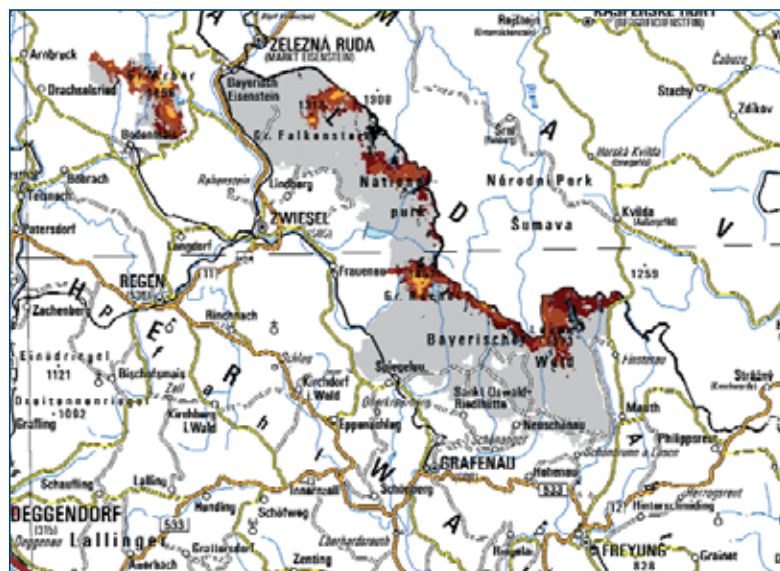


Abbildung 4b: Jahresdurchschnittstemperaturen auf der 2008 kartierten Fläche des LRT 9410 der FFH-Gebiete 6844-371, 6946-301 und 7248-302 in der Periode 2071–2100 nach der WETTREG-Regionalisierung (Szenario B1) (Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung)



Flächenbilanz 2100 – 2000

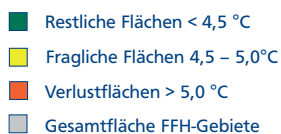
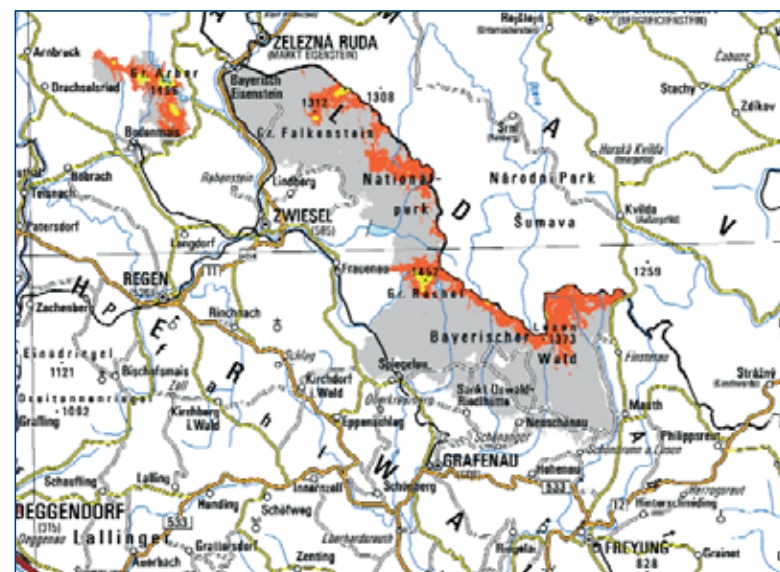


Abbildung 5: Modellierte Flächenveränderungen des LRT 9410 der FFH-Gebiete 6844-371, 6946-301 und 7248-302 zwischen den Jahren 2000 und 2100 (Quelle: Bayerische Vermessungsverwaltung)





*Abbildung 6: Waldregeneration im Hochlagenfichtenwald nach Borkenkäfermassenvermehrung am Spitzberg (1.233 m ü.NN) im Nationalpark Bayerischer Wald (Foto: C. Kölling)*

Es überrascht nicht, dass der Klimawandel eine hochgradig an Kälte angepasste Lebensgemeinschaft wie der natürliche Fichtenwald in den Hochlagen des Bayerischen Waldes stark in Bedrängnis bringt. In Abbildung 4b sind für die Fläche des kartierten Lebensraumtyps 9410 die in der Periode 2071 bis 2100 herrschenden Jahresdurchschnittstemperaturen unter Verwendung der ausgewiesenen Änderungsbeträge (Anomalien) der Periode 2071 bis 2100 nach der WETTREG-Regionalisierung (Szenario B1, Spekat et al. 2007) dargestellt. Selbst bei dem vergleichsweise „milden“ Szenario B1, das für Bayern mit einer mittleren Temperaturerhöhung von „nur“ 1,8 °C verbunden ist, gerät die Hälfte der Fläche des Lebensraumtyps in ein neues, bis heute im Areal des Lebensraums kaum beobachtetes wärmeres Klima über 5,5 °C (Abbildungen 5 und 4b). Nur noch in den allerhöchsten Gipfelflagen verbleiben Refugien mit Jahresdurchschnittstemperaturen unter 5 °C. Die derzeitige Fläche von 5.551 Hektar schmilzt dabei auf 360 Hektar, das entspricht einer Verminderung um über 90 Prozent. Darüber hinaus kommt es zu einer deutlichen

Fragmentierung des Lebensraumes in disjunkte und teilweise äußerst kleine Teilflächen, die häufig viele Kilometer auseinanderliegen.

Nicht nur in den Fichtenforsten außerhalb des natürlichen Fichtenareals, auch in den natürlichen Fichtenwäldern der Hochlagen der Mittel- und Hochgebirge wird der Klimawandel also massive Folgen zeigen. Zwar verjüngen sich die Hochlagen-Fichtenwälder nach den verheerenden Borkenkäferschäden der letzten Jahre wieder mit Fichten und zeigen ein hohes Regenerationspotential (Abbildung 6). Es ist jedoch nur eine Frage der Zeit, dass wärmeliebendere Baumarten wie Rotbuche, Bergahorn und Weißtanne die Flächen des Lebensraumtyps erobern und nachhaltig verändern werden. Anders als in vielen Regionen des Flach- und Hügellandes und der niedrigeren Mittelgebirge steht hier, bei Temperaturen auch künftig unter 7 °C, die Fichte nicht per se, als Baumart, am Rande ihrer Möglichkeiten. Sie wird auch im sich nach und nach etablierenden neuen Bergmischwald der Hochlagen weiterhin eine Rolle spielen, wenngleich die Störungen auf Grund von Borkenkäferbefall an Häufigkeit und Intensität eher zunehmen dürften. Der von Kälte geprägte Hochlagenfichtenwald wird aber stark an Fläche verlieren und in vielen Mittelgebirgen bis auf sehr wenige

Restflächen auf kältegeprägten Extremstandorten wie „Kaltluft-erzeugenden Blockhalden“ (Molenda 1996) oder dem Rand von Hochmooren verloren gehen.

Die Situation in den drei kartierten FFH-Gebieten ist repräsentativ für den gesamten Bayerischen Wald und vergleichbare Mittelgebirge, sie wiederholt sich mit gewissen Abwandlungen auch in einem Hochgebirge wie den Bayerischen Alpen. Zwar sind dort die Gipfelhöhen der Berge um einiges größer, dennoch sind der Höhenwanderung der Fichtenwälder deutliche Grenzen gesetzt. Entweder befinden sich oberhalb der Vorkommen natürlicher Fichtenwälder unbesiedelbare Felszonen, oder verjüngungsfeindliche Latschenfelder schließen an, die erst nach und nach erobert werden müssen. Häufig sind auch almwirtschaftlich genutzte Flächen benachbart, die die Ausbreitung der Fichtenwälder unmöglich machen. Bezogen auf die Landesfläche Bayerns kann man die montanen bis subalpinen Fichtenwälder als hochgradig gefährdeten Lebensraum betrachten. Adäquate Schutzkonzepte sind kaum denkbar, allenfalls könnte man an Verjüngungsprogramme in Latschenfeldern oder an den Ankauf von Almflächen denken. Es kommt daher auch in dieser Frage alles darauf an, mit einer wirksamen Klimaschutzpolitik den unvermeidlichen Temperaturanstieg auf ein erträgliches Maß zu beschränken.

### **„Warm erwischt“: Auswirkungen auf die Fauna**

Der Rückgang natürlicher Fichtenwälder wird sich natürlich auch massiv auf die ursprüngliche Fauna dieses Lebensraumes auswirken. Mit den bodenbewohnenden Laufkäfern und den Tothholzkäfern stellen wir exemplarisch zwei gut erforschte Gruppen dar, die an die Standortbedingungen und Habitattradition ursprünglicher Fichtenwälder angepasster Arten verfügen. Zahlreiche weitere Arten, beispielsweise aus den Gruppen der Spinnen und Weberknechte und den Kurzflüglern, wären hier ebenfalls zu nennen und sind im Grundsatz in ähnlicher Weise betroffen.

### **Die Laufkäferfauna natürlicher Fichtenwälder**

Die Laufkäfer (*Carabidae*) sind eine besonders artenreiche, gut analysierte und eng an ihre Habitate angepasste Gruppe von Käfern, ohne dabei direkt an bestimmte Wirtspflanzen gebunden zu sein. Sie eignen sich daher besonders gut zur Charakterisierung von Lebensräumen und können wegen ihrer engen Bindung an die prägenden Standortbedingungen der Lebensräume dabei stellvertretend auch für die anderen Gruppen der Bodenfauna stehen.

Ursprüngliche Fichtenwälder Deutschlands waren bisher nicht Gegenstand systematischer laufkäferkundlicher Erhebungen, wahrscheinlich wegen der vermeintlichen Häufigkeit dieses Bestockungstyps, den die weite Verbreitung von Fichtenforsten vortäuscht. Dennoch lassen sich aus verschiedenen Arbeiten aus Bayern (Liepold 2003; Förster 1986, 1987; Otte 1989; Fischer-Leipold, unveröffentlicht; Müller-Kroehling, unveröffentlicht), Baden-Württemberg (Horion 1951, 1954; Lamparski 1988; Rausch 1993a,b; Trautner et al. 1998) und Mitteldeutschland (Rabeler 1967; Kleinsteuber 1969; Nüßler 1977) deutliche Grundzüge einer subalpinen Fichtenfauna der deutschen Mittelgebirge ableiten. Eigene Daten zum Thema stammen u.a. aus Hochlagen-Fichtenwäldern am Plöckenstein (NWR Markscheide) und dem Arber sowie aus Aufichtenwäldern des Bayerischen Waldes und hoch gelegenen Fichtenwäldern im Fichtelgebirge und Erzgebirge.

Natürliche Fichtenwälder sind die Heimat vorwiegend montaner sowie eines erheblichen Anteils boreomontan und boreoalpin verbreiteter, kältepräferenter Laufkäfer-Arten. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die charakteristischen Arten als jenen Arten, die regelmäßig in subalpinen Fichtenwäldern anzutreffen sind. Berücksichtigt sind nur Arten, die in mindestens einem deutschen Mittelgebirge vorkommen, d.h. nicht jene mit auf die Alpen beschränkter Verbreitung. Sofern in den Alpen eine andere Unterart verbreitet ist, beziehen sich die Angaben in der Tabelle auf die Unterart der deutschen Mittelgebirge. Die Tabelle soll auf Grund ihrer nach den einzelnen Mittelgebirgen differenzierten Darstellung auch als Referenz für vergleichende Untersuchungen in Fichtenwäldern dienen.

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Bewohner natürlicher Fichtenwälder mehreren Habitaten entstammen, darunter Arten der Blockstandorte und der Hochlagen-Moore. Beides sind kältegeprägte Extremstandorte. Hinzu kommen einige kälteadaptierte, azidophile Nadelstreubewohner, die auch in tieferen Lagen leben.

### Heimat Blockhalde und Blockfichtenwald

Einige der Arten können außerhalb der Alpen nur in den höchsten Lagen jener Mittelgebirge auftreten, die die subalpine Stufe erreichen, wie Bayerischer Wald, Harz und Schwarzwald, oder über kaltauftgeprägte Blockhalden als dauerkalten Refugialstandort (Molenda 1996) verfügen. In dieser Gruppe wären vor allem *Leistus piceus* und *Nebria castanea* zu nennen. Beide sind flugunfähig und deshalb ausgesprochen ausbreitungsschwach. Alle Arten dieser Gruppe finden sich regelmäßig auch in den kaltauftgeprägten Blockhalden. In diesem Habitat ist eines der Herkunftshabitate einer originären, streng an Fichtenwälder angepassten Fauna zu vermuten.

Auch der Alpine Zartlaufkäfer *Trechus alpicola* gehört in diese Gruppe, verdient auf Grund seiner extremen Spezialisierung aber besondere Erwähnung. Diese Art ist ein Bewohner der oft winzigen Kondenswasser-Vermooren am Fuß der kaltauftzeugenden Halden und kommt außerhalb der Alpen nur im Bayerischen Wald vor. Neben dem Vorkommen in vermoorten, natürlichen Hochlagenwäldern und Blockhalden tritt er auch noch in den klimatisch ähnlichen Aufichtenwäldern der Tallagen auf, jenen ebenfalls von ihrem hohen Maß an Kälte geprägten, natürlichen Fichtenwäldern (Priehäuser 1952). *Trechus alpicola* vermittelt daher zwischen beiden ursprünglichen Fichtenwaldtypen, jenen auf Blockstandorten und jenen auf Mooren.

### Heimat Fichten-Moorwald

Schon Rabeler (1967) sah in Fichten-Hochlagen-Moorwäldern ein mögliches Ursprungshabitat einer originären Fichtenwaldfauna, also von Arten, die nicht auch in hochmontanen Laubwäldern vorgekommen sein können.

Gerade einige der boreoalpinen Arten sind relativ eng an dieses Habitat angepasste Bewohner natürlicher Fichten-Hochlagenmoore, wie der Grubenhalbläufer *Patrobus assimilis* (Müller-Kroehling 2007) und der Fichten-Moorrandwälder wie *Trechus splendens*.

*Patrobus assimilis* ist eine in Nordeuropa weit verbreitete Art, die in Mitteleuropa sehr eng an Hochlagenmoore gebunden ist und vor allem in Fichten-Moorwäldern der Hochlagen gefunden wurde, z.B. im Bayerischen Wald (Müller-Kroehling 2007). Klein (1965) fand diese Art bevorzugt in „Sterbehörsten“, also in Übergangsbereichen zwischen Fichtenwald und offenem Moor mit Fichten-Moorkrüppelwald. Dies deckt sich exakt mit den Verhältnissen der drei Fundorte im Bayerischen Wald. Gegenüber dem offenen Moor sind hier der Strahlungs- und Temperaturgang weniger extrem und dennoch ausreichend Licht und Feuchtigkeit vorhanden (Klein 1965).

Kleinstüber (1969) fand *Trechus splendens* dominant im Fichtenmoorwald des Erzgebirges. Albrecht (2002) führt ihn für die Fichtenmoore des Thüringer Waldes in hoher Stetigkeit auf, wenn auch zum Teil nicht mehr rezent nachzuweisen, sondern nur in früheren Aufnahmen. Im Bayerischen Wald und Fichtelgebirge erreicht dieses Eiszeitrelikt (Pawłowski, mündliche Mitteilung) im Fichten-Moorwald hohe Stetigkeiten.

| Art                                                                                          | Arealtyp                                                 | Schutzver-<br>antwortung- | RL D  | Alpen     | Bayerischer<br>Wald  | Fichtelgebirge  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|-------|-----------|----------------------|-----------------|
| <b>Arten der Blockfichten-<br/>wälder</b>                                                    |                                                          |                           |       |           |                      |                 |
| <i>Nebria castanea</i><br>(in endemischen Unterarten)                                        | sumavica:<br>hercyn. (Böhmerwald)<br>boschi: Schwarzwald | E!! rz                    | R     | X         | X<br>(N.c. sumavica) | –               |
| <i>Leistus piceus</i>                                                                        | Eur.<br>(Alp-Karp-Balk.)                                 | [rz]                      | - [3] | X         | X                    | X (verschollen) |
| <b>Montane Waldarten</b>                                                                     |                                                          |                           |       |           |                      |                 |
| <i>Carabus sylvestris</i><br>(Unterart <i>sylvestris</i> ; in<br>Alpen <i>haberfelneri</i> ) | Eur. (Alp.-hercyn- Karp.)                                | re                        | –     | X         | X                    | X               |
| <i>Carabus linnei</i>                                                                        | Alp-hercyn-Karp.                                         | rz                        | –     | X         | X                    | X               |
| <i>Carabus auronitens</i>                                                                    | Eur. - (mit Schwer-<br>punkt in ME)                      | [re]                      | –     | X         | X                    | X               |
| <i>Carabus violaceus</i> (s.str.)                                                            | Eur                                                      | [re]                      | –     | X         | X                    | X               |
| <i>Carabus glabratus</i>                                                                     | Eur (NO-Eur)                                             |                           | - [3] | X         | X                    | X               |
| <i>Pterostichus pumilio</i>                                                                  | Eur                                                      | [re]                      | –     | X         | X                    | –               |
| <i>Pterostichus unctulatus</i>                                                               | Alp-bohem-Karp.                                          | rz                        | –     | X         | X                    | –               |
| <b>Azidophile Nadelstreu-<br/>bewohner</b>                                                   |                                                          |                           |       |           |                      |                 |
| <i>Calathus micropterus</i>                                                                  | Euras.                                                   | –                         | V     | X         | X                    | X               |
| <i>Notiophilus biguttatus</i>                                                                | Euras.                                                   | –                         | –     | X         | X                    | X               |
| <b>Fichtenmoorwaldbewohner</b>                                                               |                                                          |                           |       |           |                      |                 |
| <i>Trechus splendens</i>                                                                     | O-Alp-Karp.                                              | rz                        | -     | X         | X                    | X               |
| <i>Trechus alpicola</i>                                                                      | O-Alp-bohem.                                             | rz                        | R     | X         | X                    | –               |
| <i>Patrobus assimilis</i>                                                                    | Euras.                                                   | –                         | 2 [1] | X         | X                    | –               |
| <i>Pterostichus diligens</i>                                                                 | Euras.                                                   | –                         | D     | X         | X                    | X               |
| <i>Pterostichus rhaeticus</i>                                                                | Eur.                                                     | [re]                      | –     | X         | X                    | X               |
| <b>Artensumme</b>                                                                            |                                                          |                           |       | <b>16</b> | <b>16</b>            | <b>11</b>       |

Tabelle 1: Charakteristische Laufkäfer der subalpinen  
 Hochlagen-Fichtenwälder  
 (Eur. = Europa, Euras = Eurasien; Alp. = Alpen; Karp. = Kar-  
 paten; Balk. = Balkan; hercyn. = hercynische Mittelgebirge;  
 bohem. = Böhmisches Massiv; RL Deutschland nach Trautner  
 et al. (1997); Entwurf der Neufassung (Müller-Motzfeld et  
 al., in Vorbereitung.) in eckigen Klammern, sofern abwei-

chend; Raumbedeutsamkeit und Schutzverantwortung  
 nach Müller-Motzfeld et al. 2004, ergänzt (Werte in ecki-  
 gen Klammern, da in der Bezugsarbeit nur Arten mit Ge-  
 fährdungseinstufung behandelt wurden): re = raumbedeut-  
 sam auf europäischer Ebene, rz = raumbedeutsam auf  
 mitteleuropäischer Ebene, E = Endemit, ! = hohe Schutzver-  
 antwortung, !! = sehr hohe Schutzverantwortung

| Erzgebirge | Thüringer Wald | Harz | Schwarzwald     | Weitere Mittelgebirge und Regionen                    | Habitat, Bemerkungen                                                                                                                   |
|------------|----------------|------|-----------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| –          | –              | –    | X (N.c. boschi) | Odenwald (Blocknalden)                                | auch in Blockhalden und alpin unter Steinen                                                                                            |
| X          | X              | X    | X               | Rhön, Taunus, Sauerland u. a.                         | auch in Blockhalden und alpin unter Steinen                                                                                            |
| X          | X              | X    |                 | auch im Frankenwald u. a.                             | nur montan; nicht auf Blockfichtenwälder beschränkt; dringt regelmäßig auch in Blockhalden ein                                         |
| X          | X              | X    | –               | auch im Frankenwald u. a.                             | nur montan; Angaben für den Harz nach PETRY (1914) nur irrtümlich, nach HORION (1941) hingegen belegt; heute dort offenbar verschollen |
| X          | X              | X    | X               | in Norddeutschland auch im Flach- und Hügelland       | in tieferen Lagen vor allem in Laub- und Mischwäldern                                                                                  |
| X          | X              | X    | X               | Verschiedene                                          |                                                                                                                                        |
| X          | X              | X    | X               | in Norddeutschland auch im Flach- und Hügelland       |                                                                                                                                        |
| –          | –              | –    | X               | Spessart, Rhön, Pfälzer Wald                          | nicht auf Blockfichtenwälder beschränkt; dringt regelmäßig auch in Blockhalden ein                                                     |
| –          | –              | –    | –               | auch im Voralpenraum einschließlich Baden-Württemberg | S. TRAUTNER (1992)                                                                                                                     |
| X          | X              | X    | X               | in Norddeutschland auch im Flach- und Hügelland       |                                                                                                                                        |
| X          | X              | X    | X               | weit verbreitete Art                                  | auch in Fichtenforsten und anderen Waldtypen, nicht montan                                                                             |
| X          | X              | –    | –               | –                                                     |                                                                                                                                        |
| –          | –              | –    | –               | –                                                     | auch in Blockhalden (Kondenswassermoores am Haldenfuß)                                                                                 |
| X          | –              | X    | –               | auch in Kesselmooren Norddeutschlands                 | Hochlagen-Moorwälder                                                                                                                   |
| X          | X              | X    | X               | verbreitet (in fast allen Mooren)                     | vor allem in Mooren verbreitet                                                                                                         |
| X          | X              | X    | X               | verbreitet (in fast allen Mooren)                     | vor allem in Mooren verbreitet                                                                                                         |
| 12         | 11             | 10   | 10              |                                                       |                                                                                                                                        |

## Hochmontane Arten

Manche der charakteristischen Fichtenwaldbewohner wie der Großlaufkäfer *Carabus sylvestris* kommen jedoch nicht bloß oberhalb der Laubwaldzone in der subalpinen Nadelwaldzone oder ihr vergleichbar kalten Sonderstandorten vor, sondern auch in der (hoch)montanen Stufe. Nur auf Sonderstandorten wie in kühlen Schluchten und in Mooren steigen sie in noch tiefere Lagen hinab. *Carabus sylvestris* findet sich im ostbayerischen Grenzgebirge nur in Wäldern über 600 Meter ü. NN., tiefer nur in azonalen Wäldern wie Moorwäldern und Schluchtwäldern. Diese Art ist daher neben dem Bayerischen Wald auch im Fichtelgebirge oder dem Thüringer Wald zu finden (Abbildung 7), also nicht ganz so eng auf die höchsten Mittelgebirgsszüge beschränkt. Immerhin weist sie aber im niedrigeren Oberpfälzer Wald eine auffällige Verbreitungslücke auf. Regelmäßig wird auch diese Art mitten in Blockhalden gefunden (beispielsweise im Steinwald).

Ganz offenbar ist diese Art jedoch nicht auf natürliche Fichtenwälder beschränkt, sondern es gelang ihr zumindest in den Hochlagen, auch auf Fichtenforste als Ersatzgesellschaften montaner Buchenwälder überzuwechseln. Nur so ist ihr Vorkommen beispielsweise im Frankenwald zu erklären, einem Mittelgebirge, in dem es bestenfalls sehr kleinflächig natürliche Fichtenwälder gab (Türk 1993).

Von 918 Exemplaren auf 61 Probeflächen mit Nachweis von *Carabus sylvestris* im ostbayerischen Grenzgebirge wurden 71 Prozent in montanen und höher gelegenen Nadelwäldern, 22 Prozent in Mooren einschließlich Moorwald sowie drei Prozent in Latschenfeldern und Blockhalden nachgewiesen. Nur circa 3,5 Prozent fanden sich in Laubwäldern, überwiegend auf den kältegeprägten Waldstandorten des Mitterteicher Basaltgebietes.

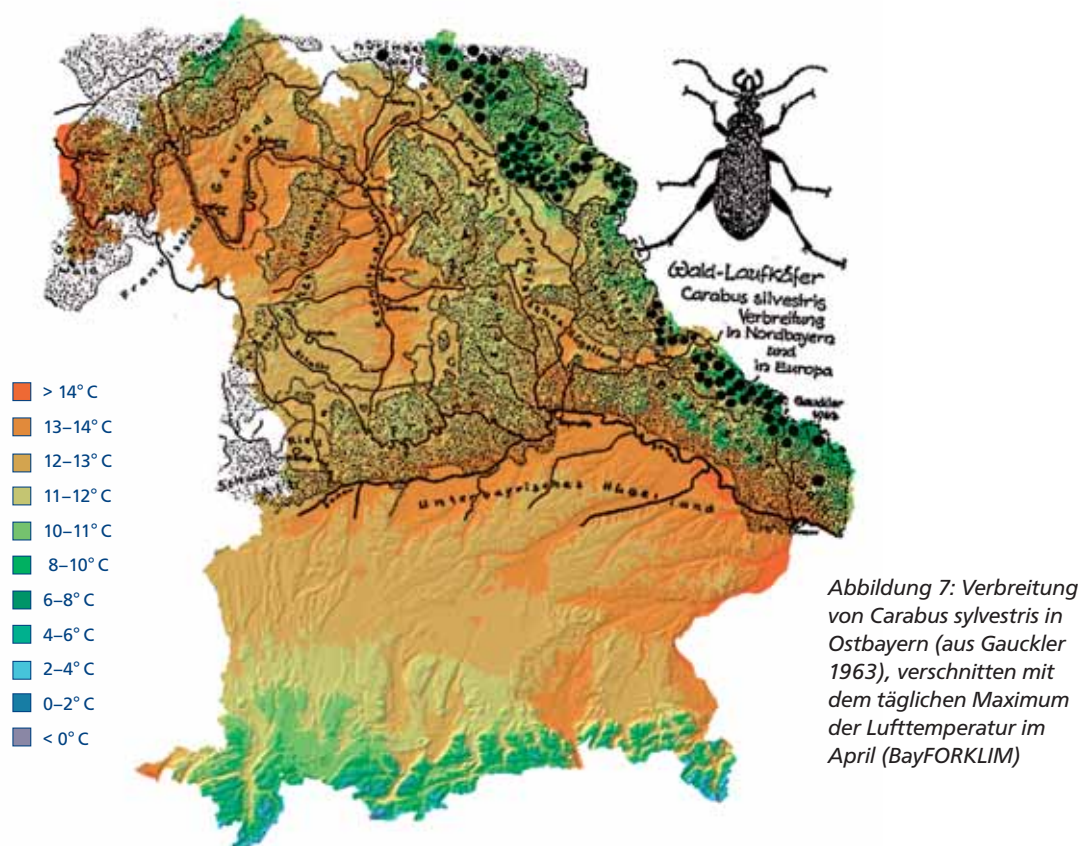
Demnach sind nicht die Habitatstrukturen für das Vorkommen dieser Art entscheidend, sondern eine ausreichende Kältesumme. Als Zeiger der Ursprünglichkeit von Fichtenbestockungen kann sie nicht fungieren, wohl aber als charakteristische Art natürlicher und naturnaher Fichtenwälder als ihrem Vorzugshabitat gelten.

Andere Arten wie *Carabus auronitens* sind in tieferen Lagen eher Bewohner von Laubwäldern, die Fichtenforste meiden, kommen in hoher Stetigkeit aber auch in natürlichen subalpinen Fichtenwäldern vor. Dieser höhenbedingte Habitatwechsel könnte mit der gegenüber naturfernen Forsten höheren Dichte und Vielfalt an Nahrungstieren in naturnahen Wäldern jedweder Höhenlage zusammenhängen.

## Ausbreitungsgeschichte

Alle in der Tabelle 1 genannten charakteristischen Laufkäfer-Arten sind flugunfähig und daher relativ ausbreitungsschwach. Sicher spielt daher auch die Ausbreitungsgeschichte von Fichtenwäldern, aber auch die der in ihnen lebenden Arten eine Rolle für ihr heutiges Verbreitungsbild. Der Streubewohner *Pterostichus unctulatus* bewohnt zwar bevorzugt alpine Lagen (Trautner 1992), kommt jedoch nur in den Alpen und im Bayerischen Wald vor. Wie der eng verwandte *Pterostichus pumilio*, der jedoch auch montane Buchenwälder besiedelt, scheint er dabei Fichtenwälder zu bevorzugen. Im Voralpenraum dringt er allerdings auch in tiefere Lagen wie den Ebersberger Forst (Nachweis im Fichtenforst der Waldklimastation Ebersberg) vor, ist also keine Zeigerart für ursprüngliche Fichtenwälder. Die Mittelgebirge in der Mitte Deutschlands vermochte diese Art nicht zu besiedeln, denn wie die meisten Bewohner von Hochlagenwäldern ist er ausgesprochen ausbreitungsschwach und flugunfähig. Nur wenige Arten dieses Habitats sind Pioniere wie die boreoalpine *Amara nigricornis*, die auch den Zusammenbruch nach großflächigem Borkenkäferfraß oder Brand als Lebensraum nutzen können (Lundberg 1984). Auch diese Art tritt wiederum in dauerkalten Talmooren auf, da hier ihr „Kältebedürfnis“ erfüllt ist.

Insgesamt gesehen setzt sich die spezialisierte Laufkäferfauna der Fichten-Hochlagenwälder auffallend aus ausbreitungsschwachen Kältespezialisten zusammen. Das kann als Anpassung an stabile Habitate gedeutet werden. Die hochspezialisierten Arten entstammen den Fichten-Moorwäldern und Fichten-Blockwäldern sowie Blockhalden.



Viele der Arten haben weltweit gesehen ein kleines Areal, unsere Schutzverantwortung für sie ist hoch. Von den 17 Arten sind 12 europäisch verbreitet, davon die Hälfte sogar auf Alpen, Hercynische Gebirge und Karpatenraum beschränkt. Nur fünf der Arten sind eurasiatisch oder holarktisch verbreitet. Mit *Patrobis assimilis* ist eine der Arten deutschlandweit „stark gefährdet“ (Neufassung: „vom Aussterben bedroht“), sechs weitere stehen auf der Vorwarnliste.

Schlüsselfaktoren für ihr Überleben sind der Erhalt jener Faktoren, die kühl-feuchte Lebensbedingungen gewährleisten wie etwa eine nicht großflächig entfernte Baumschicht, viel bodenbürtiges Totholz als Versteck- und Jagdplätze sowie ein intakter Wasserhaushalt.

### Fichtenforste = sekundäre Fichtenwälder?

Die Laufkäfer-Fauna unserer natürlichen Fichtenwälder weist nur sehr geringe Gemeinsamkeiten mit der Fauna von Fichtenforsten (z.B. Geiler 1974; Baguette und Gerard 1993; Elek et al. 2001) auf. Wegen ihrer versauernden Nadelstreu mit Ausbildung einer trockenen Moder-Auflage, ihrer Strukturarmut, des sehr schattigen Be-

standsklimas sowie der hohen Interzeptionsverluste des Niederschlages und ihrer Armut an Totholz sind Fichtenforste ein deutlich anderer Lebensraum. Fichtenforste im Laubwaldgebiet haben daher eine Wald-fauna, die in ihrer Art Ausstattung mehr Gemeinsamkeiten mit der ursprünglichen (Buchen)-Fauna aufweist, jedoch unter Verlust von Laubwaldspezialisten und ohne das Hinzutreten kältepräferenter Nadelwaldspezialisten.

### Einzigartige mitteleuropäische Fichtenwälder

Die Fichtenwälder der Hoch- und Mittelgebirge Osteuropas (Hurka 1958; Holdhaus und Deubel 1910) sind Heimat einer in manchen Grundzügen ähnlichen Laufkäfer-Fauna, jedoch kommen dort einige Karpaten-Endemiten wie *Nebria carpatica* und *Trechus striatulus* hinzu, bei uns heimische Endemiten wie *Nebria castanea* und *Trechus alpicola* aber fehlen. Diese Artengemeinschaft ist also nur den mitteleuropäischen Fichtenwäldern eigen.

Ein geringeres Maß an Übereinstimmung besteht mit der Fauna natürlicher Fichtenwälder Nordeuropas, die während der Eiszeiten stark verarmte. Dort fehlen alpin und alpin-karpatisch verbreitete Arten, dafür kommen einige rein nördlich verbreitete Arten wie *Agonum mannerheimii* (Niemelä et al. 1997; Lindelöw 1990) hinzu. Obwohl die nordeuropäischen Fichtenwaldökosysteme im Gegensatz zu denen unserer Breiten von großmaßstäblichen Störungen wie Feuer und Windwurf geprägt sind, gibt es sogar dort auch einige Arten, die als ausbreitungsschwache Altwaldrelikte anzusehen sind (Hörnberg et al. 1998).

Im Klimawandel werden sich die hochspezialisierten Arten wahrscheinlich wieder in ihre Ausgangsbiootope, Blockhalde und Fichtenmoor, „zurückziehen“, wenn es dem Hochlagen-Fichtenwald zu heiß wird. Besonders die Bewohner der Hochlagen-Waldmoore dürften dabei einem erheblichen Aussterberisiko unterliegen, wenn ihre Habitate abrupt kahl werden.

### Xylobionte Käferarten an der Fichte

Die Kenntnis der xylobionten Käferarten an der Fichte reduziert sich meist auf Buchdrucker, Kupferstecher und Fichtenbock. Sie umfasst jedoch 300 bis 400 Arten (Palm 1959; Ammer 1991; Benisek 2002). Nur sehr wenige Arten sind monophag an Fichte gebunden. Die meisten Fichtenbesiedler nutzen auch andere Nadelhölzer als Brutbaumarten. Auch einige Urwaldreliktarten und in Deutschland seltene Spezies mit boreomontaner Verbreitung gehören zu ihrem Artenspektrum. Populationen dieser Reliktarten sind streng an Gebiete mit natürlichen Fichtenvorkommen gebunden.

### „Brotbaum“ oder „Brutbaum“?

Der „Wettstreit“ zwischen Mensch und holzbesiedelnden Käferarten hat eine lange Tradition (Grove 2002). An der Fichte (*Picea abies*) sind in der West- und Zentralpaläarktis 39 verschiedene Borkenkäferarten nachgewiesen (Pfeffer 1995). An flächigen Gradationen sind in Deutschland nur zwei Arten entscheidend beteiligt: Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*). Der Buchdrucker ist in Eurasien der bedeutendste Schädling reifer Fichtenbeständen (Grodzki et al. 2004; Wermelinger 2004). Von 1950 bis 2000 betrug in Europa der „Käferholz“-Anfall zwei bis neun Millionen Festmeter, hauptsächlich verursacht vom Buchdrucker (Schelhaas et al. 2003). Die „Große

Borkenkäferkalamität in Südwestdeutschland von 1944 bis 1951“ (Wellenstein 1954) begann mit einer Massenvermehrung des Buchdruckers und wurde erst, als der Schlagabraum nicht mehr beseitigt werden konnte, vom Kupferstecher „unterstützt“. Dagegen begann die Kalamität in Nordbayern nach dem Trockenjahr 2003 mit einer Kupferstecherkalamität, auf die der Buchdrucker nachfolgte. Seit 2003 sind allein in Westmittelfranken trotz aller Eindämmungsversuche 4.500 Hektar Fichtenbestände verschwunden. Auch isolierte Bestände mit Fichte weitab geschlossener Waldflächen sind betroffen, die Massenvermehrung verläuft hier endogen. Entgegen verbreiteter Meinung befällt der Kupferstecher nicht nur schwaches Material. 2005 erreichte die Gradation der Art in Nordbayern ihren Höhepunkt. Dabei wurden stärkste Fichten ohne Beteiligung des Buchdruckers bis in den Erdstamm befallen.

### Die Rolle des Buchdruckers im natürlichen Fichtenareal

In der gesamten nördlichen Hemisphäre wird in Folge des Klimawandels eine Zunahme der Borkenkäfergradationen beobachtet (Schelhaas 2003). Im Bergmischwald mit Weißtanne und Rotbuche kommt es bei Borkenkäferbefall der Fichte nur zu einer periodischen Verschiebung der führenden Baumarten zugunsten von Tanne oder Rotbuche, der Bergmischwald als Lebensraum und die Existenz der Fichte ist nicht beeinträchtigt. Daneben entstehen „Lücken“ mit höherer Belichtung und Einstrahlung und nachfolgend einem höheren Blütenangebot, die in einem von Natur aus dynamischen System Schlüsselstrukturen für die Artenvielfalt sind (Müller et al. 2008). An standortsheimische Fichtenwälder gebunden sind der bisher wenig beachtete Nutzholzborkenkäfer *Xyloterus (Trypodendron) laevis* Eggers (Bußler und Schmidt 2008) und der Nordische Fichtenborkenkäfer *Dryocoetes hectographus* Rtt. Beide Arten sind im Bayerischen Wald und den Alpen verbreitet. Die Auslöser großer Massenvermehrungen sind im natürlichen Fichtenareal hauptsächlich Windwürfe, die in Gebirgs- und Mittelgebirgslagen schon immer regelmäßig und mit besonderer Intensität auftreten. Bei der Zersetzung von Totholz werden Calcium und Magnesium frei, der pH-Wert im Oberboden erhöht sich um bis zu einer Stufe (Müller et al. 2005a), die vorhandene Vorausverjüngung wird geschont, Schalenwild wird aus dem Verhau abgehalten, das Totholz speichert Wasser und dient als Keimbett nachgeborener Naturverjüngung. Nicht zuletzt ist Totholz der Stoff, an dem die Artenvielfalt der Wälder hängt. Beispielsweise

| Taxon                          | Rezente Nachweise aus Deutschland |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Olisthaerus substriatus</i> | Karwendel-Fereinalm               |
| <i>Ampedus tristis</i>         | Vorderriß, Bad Tölz               |
| <i>Peltis grossa</i>           | Weißachtal, Sylvenstein           |
| <i>Calytis scabra</i>          | Vorderriß, Sylvenstein            |
| <i>Cryptolestes abietis</i>    | Naturwaldreservat Wetterstein     |
| <i>Corticeus suturalis</i>     | Kreuth                            |
| <i>Bius thoracicus</i>         | Nationalpark Berchtesgaden, Arber |
| <i>Tragosoma deparium</i>      | Vorderriß, Reit im Winkl          |

Tabelle 2: Urwaldreliktarten an Fichte mit boreomontaner Verbreitung

ist der Dreizehenspecht (*Picoides tridactylus*) zum Nahrungserwerb auf „Borkenkäferbäume“ angewiesen. Deshalb ist er an Wälder mit hohen Totholzmengen auf ganzer Fläche gebunden, zudem benötigt er Teilflächen mit einem Schwellenwert von 60 bis 70 Festmetern Totholz pro Hektar (Bütler und Schlaepfer 2004). Eine dauerhafte Besiedlung eines Gebietes ist nur möglich, wenn permanent neues „Käferholz“ entsteht. Im natürlichen Verbreitungsgebiet der Fichte ist die „Störung“ Bestandteil des dynamischen Ökosystems, der Buchdrucker ist in diesem System eine Schlüsselart, ob wir es wollen oder nicht.

### Nordische Fichtenwald-Spezialisten

Von 115 „Urwaldreliktarten“, die in Deutschland nachgewiesen sind (Müller et al. 2005b) sind 29 Arten mehr oder weniger eng an die Fichte gebunden. Ihre Vorkommen sind vor allem an autochthone Fichtenstandorte im Alpenraum und im Bayerischen Wald gekoppelt, aber auch im Schwarzwald und Harz sind einige Arten nachgewiesen. Im Fichtelgebirge wurde bisher nur eine Art nachgewiesen (*Xestobium austriacum* Rtt.). Dies lässt darauf schließen, dass natürliche Fichtenvorkommen hier von Natur aus kaum, allenfalls kleinflächig, in den Hochlagen von Schneeberg und Ochsenkopf vertreten waren. Zwölf der Urwaldreliktarten mit Bindung an die Fichte sind boreomontane Arten, deren Vorkommen nach der letzten Eiszeit in ein Nord- und ein Süddareal fragmentiert wurde und das großflächige Auslöschungszonen im Flachland kennzeichnen. Acht dieser Arten sind innerhalb Deutschlands nur aus Bayern nachgewiesen (Tabelle 2).

Alle genannten Arten sind flugfähig, kommen aber wegen einer anzunehmenden Bindung an klimatische Faktoren nur an wenigen isolierten Standorten mit autochthoner Fichte vor. Wie bei den Laufkäfern sind montane und weitere boreomontan verbreitete Arten ein Charakteristikum des xylobionten Gesamtspektrums ursprünglicher Fichtenwälder. Darunter befindet sich als Art der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der Gestreifte Bergwaldböhrkäfer (*Stephanopachys substriatus*). Auch die Bockkäferfauna beherbergt etliche „sehr seltene und spezialisierte“ Arten wie *Semanotus undatus*, *Acmaeops septentrionis*, *Lepturobosca virens*, *Evodinus clathratus*, *Anastrangalia reyi*, *Judolia sexmaculata* und die „Handwerkerböcke“ *Monochamus sartor*, *M. sutor* und *M. saltuarius*. Auch zwei extrem seltene fennoscandinavische Schimmelkäferarten leben in autochthonen Fichtenwäldern Bayerns. *Corticaria interstitialis* wurde aus Lappland beschrieben und im Nationalpark Bayerischer Wald 2001 erstmals nachgewiesen. Ebenfalls im Nationalpark wurde *Corticaria obsoleta* im Jahr 2000 als neue Art für Deutschland entdeckt. Sie ist aus Schweden und Finnland beschrieben, holarktisch verbreitet und lebt in Nordamerika an *Picea engelmannii*. Aus Mitteleuropa war bisher nur ein Fund vom Alpenhauptkamm im Pustertal in Südtirol bekannt. Die insgesamt größere Ausbreitungsfähigkeit der xylobionten, in der Regel flugfähigen Käferarten erklärt die größere Übereinstimmung im Arteninventar mit den nordischen Fichtenwäldern im Vergleich zu den Laufkäfern.

Alle Arten sind an hohe Einstrahlung und Sommertrockenheit angepasst. Auch in den lichten Nadelwäldern Nordeuropas liegt die Niederschlagsmenge oft nur bei 500 bis 600 Millimetern. Die Vertreter der „Tundrenfauna“ und „kühlen Steppenfauna“ benötigen jedoch kalte Winter, die außerhalb der Alpen nur in Mittelgebirgen oder extrazonalen, kalten Sonderstandorten wie Moorwäldern auftreten. Die prognostizierten milderen Winter im Zuge des Klimawandels gefährden vor allem die boreomontanen Reliktarten in den Alpen und in den Mittelgebirgen.

### Diskussion und Schlussfolgerungen Schutzstrategien

Fichtenwälder nehmen in den Gebirgen und Mittelgebirgen Mitteleuropas nur eine relativ geringe Fläche ein. In jenen Gebirgen, in denen in der nacheiszeitlichen Warmephase ein Ausweichen der kälteadaptierten Fauna in größere Höhenlagen nicht möglich war, ist die eiszeitliche Fauna der subalpinen Fichtenwälder stark verarmt (Holdhaus und Deubel 1910; Petry 1914). Das gilt selbst für Gebirge mit so ausgedehnten subalpinen Flächen wie die Karpaten (Holdhaus und Deubel 1910) und zeigt, welchen Risiken sich unsere natürlichen Fichtenwälder im Klimawandel ausgesetzt sehen werden.

Auch wenn Absterben auf Grund von Borkenkäferbefall zur natürlichen Dynamik dieses Waldtyps gehört, können doch nicht automatisch alle Absterbeprozesse von Fichtenwäldern als natürliche Vorgänge bezeichnet werden.

Werden in ein Konzept des „Prozessschutzes“ im Fall von Fichtenwäldern auch nicht- und halb-natürliche, reine und noch dazu relativ gleichaltrige Fichtenbestockungen einbezogen, kann es, anders als in natürlichen Fichtenwäldern, zu massiven Massenvermehrungen von Fichtenborkenkäfern und flächenhaftem Absterben kommen, das unter diesen Umständen auch in natürliche Fichtenwälder übergreift (Abbildung 8).

Einige der charakteristischen Arten, vor allem die wärmeliebenden Totholzkäfer, werden von großflächigem Zerfall zumindest kurzfristig profitieren. Andere Arten, wie jene, die auf den Halbschatten des Überganges von Fichtenmoorwäldern zu Hochmooren angewiesen sind, hingegen nicht. Nur differenzierte Schutzstrategien werden auch in natürlichen Fichtenwäldern die natürliche Artenvielfalt erhalten helfen.

Fichtenwälder sind sensible Ökosysteme. Die Fichte hat im Konkurrenz- und Wirkungsgefüge des Ökosystems Wald ihre Schwächen. Als „dünnhäutige“ Baumart ist sie eine „leichte Beute“ für verschiedene Borkenkäfer-Arten, die zu Massenvermehrungen neigen. Die Fichten-Gespinstblattwespe setzt ihr örtlich zu, ebenso Schneebruch und Hallimasch. Ihre Verjüngung ist, anders als auch vielen Standorten im Flach- und Hügelland, trotz geringer Verbissgefährdung und Mäusefraßgefahr keineswegs ein Selbstläufer, denn gerade in ihrem natürlichen Areal ist sie sehr stark auf die Rannenverjüngung angewiesen und verjüngt sich bei fehlendem liegendem Starktotholz oftmals praktisch gar nicht.

### Erfolgskontrolle und Forschung

Der Schutz natürlicher Fichtenwälder ist ein Naturschutzthema, das stärker als bisher einer fachlichen Diskussion um die richtige Kombination aus Handlungsvarianten bedarf. Der prozentual in strengen Schutzgebietskategorien gesicherte Flächenanteil dieses Waldtyps ist schon deswegen kein fachlich geeignetes Maß für den Erfolg der Schutzbemühungen, da der Klimawandel und seine Folgen vor Schutzgebietsgrenzen nicht halt machen. Geeignete Indikatoren wären beispielsweise das durchschnittliche Alter der Bestände, die Verbundsituation ihres Areals, das Vorhandensein aller prägenden Standortbedingungen und Habitatrequisiten, das Vorkommen der charakteristischen Arten aus Fauna und Flora und auch die Prognose im Klimawandel. Die charakteristischen Arten zeigen als „Bioindikatoren“ stellvertretend für die ganze Artengemeinschaft alle genannten Faktoren auf.

Die LWF erforscht im Rahmen eines Projektes zusammen mit der TU München derzeit die Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldlebensgemeinschaften anhand eines Höhengradienten im Bayerischen Wald, in den auch subalpine Fichtenwälder einbezogen sind.



*Abbildung 8: Abgestorbener natürlicher Altbestand des Fichten-Hochlagenwaldes am Kleinen Arber (Foto: S. Müller-Kroehling)*

## Literatur

Auf Anfrage bei den Verfassern

**Key words:** Boreo-montane and subalpine conifer forests, biodiversity, climatic change, ground beetles, xylobiontic beetles, nature conservation

**Summary:** Outside of the Alps, natural occurrences of spruce forests are rare in Germany. They are limited to harsh and cold areas at high elevations (with snowy winters, cool-humid summers and mean annual temperatures of 4°C or less) or to azonal sites (e.g., e.g. scree slopes and frost hollows that are favorable to the formation of cold air masses or bog-woodlands characterized by cold and damp microclimate with late frosts), where organic material has accumulated and beech and fir are strongly disadvantaged. Natural occurrences of spruce forests feature a cha-

racteristic relict fauna and flora of boreo-montane and alpine species that differs clearly from anthropogenic spruce forests. Computer climate models suggest that spruce forest ecosystems in Central Europe will be under increasing pressure from the consequences of global warming. This process will be accelerated by massive bark beetle infestations encroaching from widely planted commercial conifer forests into natural spruce forests. In the cultivated landscape of Germany, spruce was largely brought to dominance for economic purposes, mostly outside of its natural range (as a so-called apophyte). The transformation from unstable spruce stands and monocultures to siteadapted and natural mixed forests is a crucial task for today's silviculture. Considering the omnipresence of apophytic spruce, it should be kept in mind that natural spruce forests within the temperate deciduous forest region would naturally be restricted to small areas near the alpine timberline. Without human interference all uplands outside the hercynian mountain ranges, the prealpine foothills and the Alps would be free of spruce and spruce forests. In the face of climatic change, maintaining the biodiversity of relict spruce forests in Central Europe is a challenging task.

---

# Vom Wissen zum Handeln

Alfons Leitenbacher, Stefan Theßenvitz und Carina Schwab<sup>1)</sup>

**Schlüsselwörter:** Waldumbau, gesellschaftliche Gruppen, Ansprüche an den Wald, Dialog

**Zusammenfassung:** Bei der Diskussion um den klimagerechten Waldumbau stehen fachliche Aspekte meist im Vordergrund. Der Waldumbau erfordert jedoch das Handeln von Menschen. Der Umbau des Waldes für den Klimawandel gelingt nur, wenn die Waldbesitzer für die Sache gewonnen werden können. Dazu ist ein partnerschaftlicher, respektvoller Dialog notwendig. Der Waldumbau ist eine große und langwierige Aufgabe, an der viele Anspruchsgruppen beteiligt sind, außer den Waldbesitzern beispielsweise Förster, Jäger, forstliche Zusammenschlüsse sowie bestimmte gesellschaftliche Gruppen. Jede dieser Gruppen setzt sich aus Menschen zusammen, die anders für den Wald empfinden und unterschiedliche Ansprüche an ihn stellen. Nur wenn man auf die einzelnen Gruppen eingeht und ihre Bedürfnisse und Ideen respektiert, ist ein gemeinsames Ziehen an einem Strang möglich.

## Der Faktor Mensch

Bei der Diskussion um den klimagerechten Waldumbau stehen fachliche Aspekte wie Klimaszenarien, Risikoabschätzungen, Baumarteneignung und Standortveränderung meist im Mittelpunkt. Allzu oft wird vergessen, dass der Waldumbau das Handeln von Menschen erfordert. Am nachhaltigsten und konsequentesten handeln Menschen aus Eigeninteresse und Eigenmotivation. Der Umbau des Waldes für den Klimawandel gelingt daher nur, wenn die davon betroffenen Menschen für die Sache gewonnen werden können. Dies erfordert einen echten Dialog, der nur dann stattfindet, wenn die Einstellungen, Emotionen, Wertvorstellungen und Ziele der Partner zum Ausdruck kommen.

Dazu müssen zunächst die wichtigsten Gruppen in unserer Gesellschaft identifiziert werden, die das Thema Waldumbau berührt. Kennen wir ihre grundlegenden Wertvorstellungen und Motivationen sowie ihre Nutzen-erwartung an den Wald, haben wir die Grundlage, um diese Gruppen empfängerorientiert, das heißt individuell und gezielt, anzusprechen und dort „abzuholen“, wo sie gerade stehen. Aus solchen echten Dialogen können dann auf Basis der bestehenden Interessenslagen gemeinsame Aktionen entwickelt werden, die den Waldumbau nachhaltig voranbringen.

## Die Anspruchsgruppen an den Wald – Steckbriefe

Jeder einzelne stellt an den Wald verschiedene Ansprüche. Dennoch können Menschen auf Grund einer ihr Handeln besonders bestimmenden Lebenssituation oder Interessenslage zu Gruppen zusammengefasst werden, die relativ einheitliche Wertvorstellungen zu einem bestimmten Thema kennzeichnen. Beim Thema Waldumbau im Klimawandel lassen sich folgende besonders wichtige Anspruchsgruppen zusammenfassen (Abbildung 1): Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer, forstliche Zusammenschlüsse, Behörden (StMELF und ÄELF), Försterinnen und Förster, Jägerinnen und Jäger<sup>2)</sup>, gesellschaftliche Gruppen (z. B. Naturschutzverbände).

Jede dieser Anspruchsgruppen hat andere dominierende Werte im Hinblick auf den Wald. Diese muss man berücksichtigen, will man mit den Gruppen in einen Dialog kommen. Anhand der Waldbesitzer, der forstlichen Zusammenschlüsse und der Förster soll dies im Folgenden verdeutlicht werden. Waldbesitzer beispiels-

---

<sup>1)</sup> Den von den Referenten Leitenbacher und Theßenvitz als Dialog gehaltenen Vortrag brachte die Redaktion für diesen Beitrag in Textform. Den Foliensatz finden Sie unter [www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de).

<sup>2)</sup> Der besseren Lesbarkeit wegen wird im weiteren Text nur die maskuline Form verwendet. Sie schließt selbstverständlich das Femininum ein.

## Anspruchsgruppen am Wald

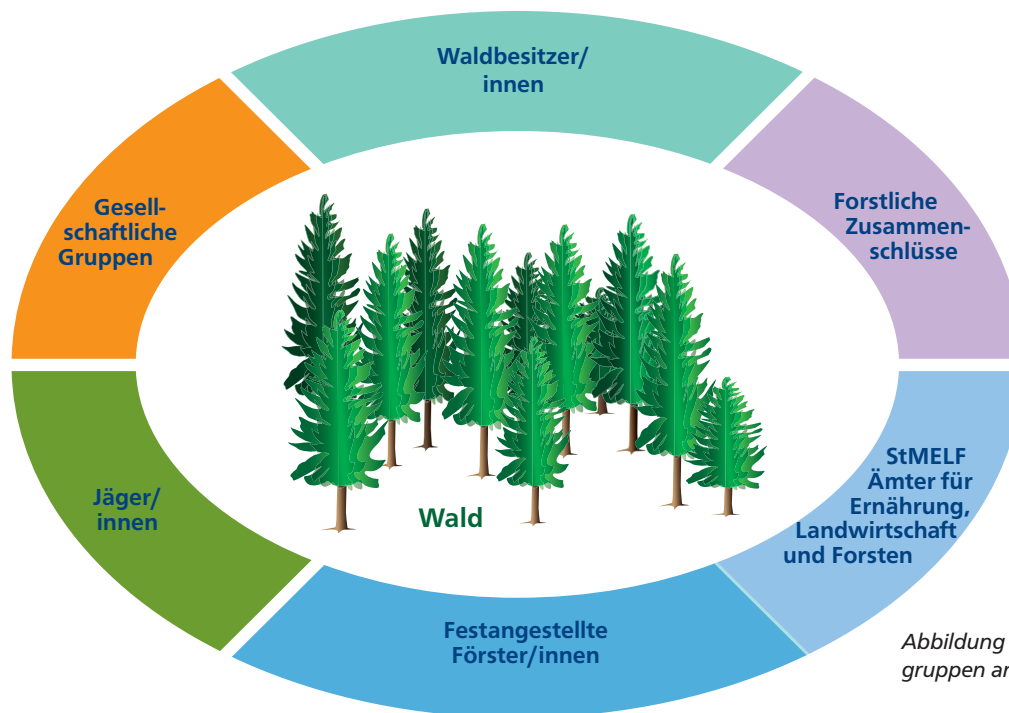


Abbildung 1: Die Anspruchsgruppen an den Wald

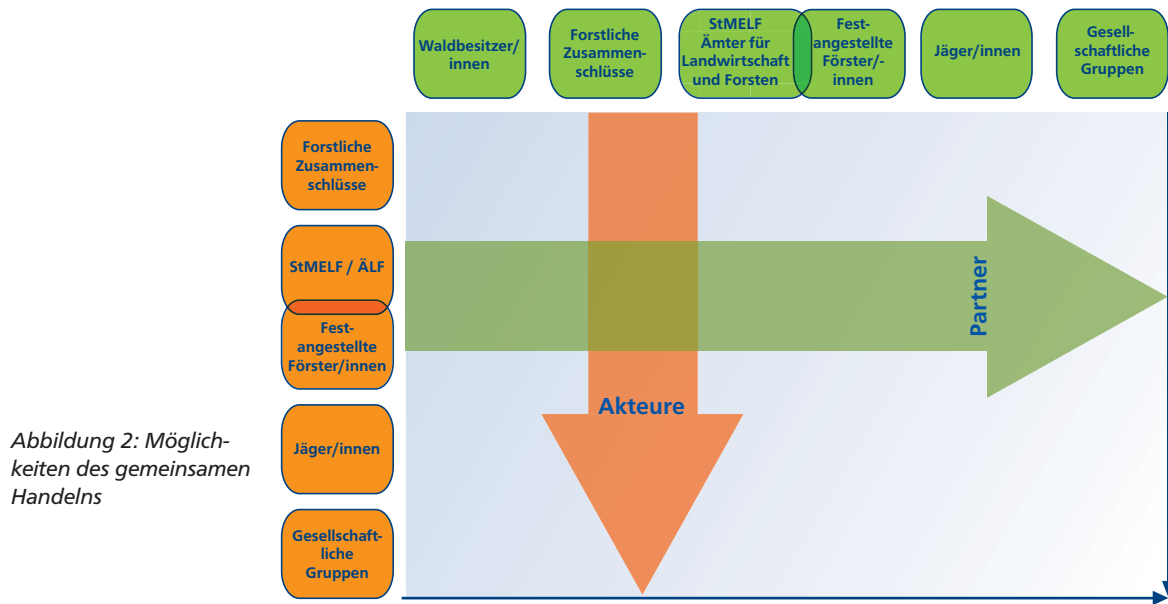
weise legen großen Wert auf Tradition. Sie sind stolz auf ihren Wald und wollen ihn bewahren. Dennoch wollen sie einen Nutzen daraus ziehen. Dieser kann sich ganz unterschiedlich darstellen. Dem einen liegt vor allem der monetäre Nutzen am Herzen, aus der Vermarktung, als Vermögensanlage oder für den Eigenbedarf. Einem anderen ist der Erholungsnutzen besonders wichtig, für Hobby und Freizeit. Der nächste zehrt überwiegend vom emotionalen Nutzen. Er pflegt die Familientradition, leistet einen Beitrag zum Naturschutz oder zum Gemeinwohl. Wieder ein anderer wünscht sich hauptsächlich den ästhetischen Nutzen. Er erfreut sich an der Natur und der Schönheit des Waldes. Es ist sinnlos, gegen den jeweils empfundenen Nutzen zu argumentieren. Wenn man auf die Waldbesitzer zugeht, muss das Anliegen von dem Wunsch einer respektvollen Partnerschaft getragen werden. Nur wenn der vermutete neue Nutzen (nach Waldumbau) den bisher empfundenen Nutzen deutlich überwiegt, wird eine Bereitschaft zum Waldumbau bestehen.

Das Augenmerk der forstlichen Zusammenschlüsse (FZus) liegt vor allem auf der Ökonomie. Die Bewirtschaftung des Waldes steht im Zentrum. Die Produktion von Stammholz, sein Umsatz, die daraus resultierenden Erträge und schließlich die Zufriedenheit der Mitglieder sind der Nutzen für die FZus. Die große Herausforderung ihres Handelns liegt in den Widersprü-

chen zwischen kurz- und langfristiger Bewirtschaftung der Wälder. Denn der erwünschte schnelle Erfolg, den ein FZus seinen Mitgliedern präsentieren will, darf nicht zu Lasten langfristiger Nachhaltigkeit gehen. Die Chancen der FZus liegen vor allem in ihrer Funktion als „Netzwerker“. Sie schmieden zahlreiche Allianzen und können maßgeblich zum Interessensausgleich zwischen ihren Mitgliedern und anderen beitragen. Die FZus kann man leicht erreichen, wenn man ihre Sprache spricht und ihre Sicht auf den Wald respektiert. Sie lassen sich nicht mit kurzfristigem Optimismus, sondern nur mit vernünftigen Langzeitperspektiven und einem berechenbaren Risikomanagement für den Waldumbau gewinnen.

Förster identifizieren sich sehr mit ihrem Wald und bauen eine starke emotionale Bindung zu ihm auf. Ihre Tätigkeit, z. B. in der Beratung, ist daher von Idealismus geprägt, der bisweilen in missionarischem Eifer mündet. Im Bestreben, den Begriff der Nachhaltigkeit voll und ganz umzusetzen sowie Ökologie, Ökonomie und Soziales miteinander zu verknüpfen, geraten sie in ein Dilemma zwischen Ökologie und Ökonomie. Sie wollen den Wald zwar bewirtschaften, möchten ihn gleichzeitig aber auch schützen.

### Möglichkeiten des gemeinsamen Handelns



Außerdem hat die Öffentlichkeit meist kein schlüssiges Bild vom Förster. Auch wenn mit dem Berufsbild in aller Regel fachliche Kompetenz verbunden wird, ist seine Tätigkeit den Bürgern oft nicht klar. Er wird nicht selten mit dem Jäger gleichgesetzt und als derjenige gesehen, der im Winter die Rehe füttert. Für einen ziel führenden Dialog mit anderen Anspruchsgruppen müssen Förster zunächst wesentlich stärker in Sympathie investieren. Erst auf der Grundlage einer aufgebauten Sympathie können sie Kompetenz und fachliche Anliegen wirksam vermitteln. Auf der Basis des dann entstandenen Vertrauens ist es Förstern möglich, auch schwierige Sachverhalte zu diskutieren und gemeinsame Projekte auf den Weg zu bringen.

### Konkrete Handlungsempfehlungen für jede Anspruchsgruppe

So vielfältig wie die Ansprüche an den Wald sind auch die für einen Waldumbau förderlichen Handlungsmöglichkeiten, die jede Anspruchsgruppe charakterisieren. Was also kann jede am Waldumbau interessierte Gruppe von sich aus unternehmen, um den Waldumbau systematisch und mit Nachdruck voranzutreiben?

Die Waldbesitzer können eine Beratung aktiv einfordern. Sie sollten ihre eigenen Interessen klar formulieren und sich mit anderen Waldbesitzern zusammentun. Die FZus könnten differenzierte Vertragsmodelle entwickeln und beispielsweise den Waldumbau als ein solches Vertragsmodell gestalten. Sie könnten auf diese Weise mehr und vor allem strikt kundenorientierte Dienstleistungen auf Basis hoher fachlicher Qualifikation anbieten, wozu allerdings auch mehr Fachpersonal notwendig sein dürfte. Ein solch hoher Qualitätsanspruch an die eigene Arbeit ergibt automatisch Anerkennung und einen guten Ruf bei den Mitgliedern. Förster sollten in Kommunikation, Mediation, sicherem Auftreten und Rhetorik geschult sein, um so zu sympathischen und souveränen Botschaftern des Waldumbaus zu werden. Förster sollten dabei immer dienstleistungsorientiert arbeiten.

### Möglichkeiten des gemeinsamen Dialogs

Sind Wert- und Zielvorstellung sowie spezifische Handlungsmöglichkeiten jeder Anspruchsgruppe hinsichtlich des Waldumbaus geklärt, ist der Zeitpunkt gekommen, miteinander zu sprechen. Dabei sollte jede Anspruchsgruppe auf die passende Weise angesprochen werden.

Der Dialog mit den Waldbesitzern muss von einer respektvollen Partnerschaft als Grundeinstellung getragen sein. Dazu ist wichtig, die von Waldbesitzer zu Waldbesitzer unterschiedlichen Motive zu achten und zu versuchen, einen auf dieses jeweilige Motiv bezogenen Mehrwert zu schaffen. Die FZus sind für einen vernunftorientierten Dialog mit (be)rechenbaren Argumenten am besten zu gewinnen. Förster sollten versuchen, ihre Kompetenz und Leidenschaft mit authentischer Sympathie zu verknüpfen.

## Möglichkeiten des gemeinsamen Handelns

Menschen und Gruppen, die vom Waldumbau überzeugt sind, kommen schneller und einfacher ans Ziel, wenn sie gemeinsam an einem Strang ziehen. Was können sie unternehmen, um das gemeinsam erkannte Ziel des Waldumbaus voranzubringen?

Stellt man die Akteure den verschiedenen Partnern gegenüber, erhält man für jede Gruppenkonstellation unterschiedliche Möglichkeiten, gemeinsam den Waldumbau voranzutreiben.

Die FZus könnten mit den Vertragsmodellen die spezifischen Motivationen der Waldbesitzer wie Ertragsziele, Erholungsnutzung, ästhetische Ziele oder Naturschutzziele verwirklichen helfen. Die Förster sollten auf der Grundlage hoher Sympathie mit den Waldbesitzern sachbezogen zusammenarbeiten und mit den FZus auf der Basis gemeinsam definierter Ziele solche Gemeinschaftsprojekte verwirklichen helfen.

## Fazit

Der Waldumbau ist eine große und langwierige Aufgabe, an der viele Anspruchsgruppen beteiligt sind. Jede dieser Gruppen setzt sich aus Menschen zusammen, die anders für ihren Wald empfinden und unterschiedliche Ansprüche an ihn setzen. Diese „menschliche“ Komponente darf im Zuge des Waldumbaus keinesfalls übergangen werden. Nur wenn man auf die einzelnen Gruppen eingeht und ihre Bedürfnisse und Ideen respektiert, ist ein Miteinander möglich. Das Ziehen an einem Strang ist für die Umsetzung und Bewältigung des Waldumbaus unerlässlich.

Desweiteren ist es empirisch belegt, dass der Erfolg in der Umsetzung von Vorhaben oder in der Veränderung des Verhaltens in dem Maße wahrscheinlicher wird, je geringer der zeitliche Abstand zwischen Absicht und Tat ist. Das heißt, je früher wir beginnen, desto größer wird unser Erfolg sein. Also packen wir es an!

**Key words:** Stand conversion, social groups, demands to the forest, dialogue

**Summary:** In the foreground of the discussion around the climate-compatible forest conversion are mostly technical aspects. But forest conversion requires the action of people. The conversion of the forest for the climate change only works, if forest owners can be enlisted for it. That needs a dialogue based on partnership and respect. Forest conversion is a huge and protracted job that involves many stakeholders. Beyond the forest owners that are for example foresters, hunters, forestal federations and certain social groups. Each of these groups consists of people who feel different for the forest and make unequal demands on it. To pull together is only possible if you respond to the individual groups and respect their requirements and ideas.

# Anschriften der Autoren

## **Dr. Martin Bachmann**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Martin.Bachmann@lwf.bayern.de*

## **Günter Biermayer**

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
Ludwigstraße 2  
80539 München  
*E-Mail: Guenter.Biermayer@stmelf.bayern.de*

## **Franz Brosinger**

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
Ludwigstraße 2  
80539 München  
*E-Mail: Franz.Brosinger@stmelf.bayern.de*

## **Heinz Bußler**

Am Greifenkeller 1 b  
91555 Feuchtwangen  
*E-Mail: Heinz.Bussler@lwf.bayern.de*

## **Dr. Elke Dietz**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Elke.Dietz@lwf.bayern.de*

## **Wolfgang Falk**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Wolfgang.Falk@lwf.bayern.de*

## **Harald Husel**

Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
Kaufbeuren  
Heinzelmannstraße 14  
87600 Kaufbeuren  
*E-Mail: poststelle@aelf-kf.bayern.de*

## **Prof. Dr. Thomas Knoke**

Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung  
der Technischen Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*E-Mail: Knoke@forst.wzw.tum.de*

## **Dr. Monika Konnert**

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht  
Forstamtsplatz 1  
83317 Teisendorf  
*E-Mail: Monika.Konnert@asp.bayern.de*

## **Dr. Christian Kölling**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Christian.Koelling@lwf.bayern.de*

## **Karl-Heinz Mellert**

Planegger Straße 46  
81241 München  
*E-Mail: kmellert@zebris.com*

## **Stefan Müller-Kroehling**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Stefan.Mueller-Kroehling@lwf.bayern.de*

## **Alfons Leitenbacher**

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
Ludwigstraße 2  
80539 München  
*E-Mail: Alfons.Leitenbacher@stmelf.bayern.de*

## **Simon Östreicher**

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
Ludwigstraße 2  
80539 München  
*E-Mail: Simon.Oestreicher@stmelf.bayern.de*

**Dr. Ralf Petercord**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Ralf.Petercord@lwf.bayern.de*

**Prof. Dr. Hans Pretzsch**

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der  
Technischen Universität München  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2  
85354 Freising  
*Hans.Pretzsch@lrz.tum.de*

**Andreas Schmiedinger**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85454 Freising  
*E-Mail: agrobiol.schmiedinger@t-online.de*

**Prof. Dr. Manfred Schölch**

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
Fakultät Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3  
85454 Freising  
*E-Mail: manfred.schoelch@fh-weihenstephan.de*

**Carina Schwab**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85354 Freising  
*E-Mail: Carina.Schwab@lwf.bayern.de*

**Stefan Theßenvitz**

Straßbergerstraße 113  
80809 München  
*E-Mail: stefan@thessenvitz.de*

**Dr. Helge Walentowski**

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1  
85454 Freising  
*E-Mail: Helge.Walentowski@lwf.bayern.de*

