

Wälder im Klimawandel – Weißtanne und Küstentanne

BAYERISCHE
FORSTVERWALTUNG



Wälder im Klimawandel – Weißtanne und Küstentanne

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

Herausgeber und Bezugsadresse	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1 85354 Freising Telefon: 0049 (0) 81 61/71-4881 Fax: 0049 (0) 81 61/71-4971 poststelle@lwf.bayern.de www.lwf.bayern.de
Verantwortlich	Olaf Schmidt, Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
Redaktion und Schriftleitung	Dr. Alexandra Wauer
Bildredaktion	Christine Hopf
Titelbild	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
Umschlagrückseite	Foto: Uwe Conrad
Layout	Helinä Markkanen, München; Grafiken: Harald Fürst
Druck	Lerchl Druck, Freising
Auflage	800 Stück
Copyright	© Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, März 2011

Vorwort

Am 10. März 2011 veranstaltet die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft am Zentrum Wald-Forst-Holz in Freising-Weihenstephan die Tagung »Die Tanne – Perspektiven im Klimawandel«. Die auf der Tagung gehaltenen Vorträge, ergänzt um einige zusätzliche Beiträge zu diesem Thema, halten Sie nun als Band 66 der Reihe LWF Wissen in Händen. Ziel des Heftes wie auch der Tagung ist es dabei nicht, die Weißtanne erneut in allen ökologischen und dendrologischen Einzelheiten darzustellen. Dazu verweisen wir auf das Heft LWF Wissen Nr. 45 »Beiträge zur Tanne«. Vielmehr machen wir auf die positiven waldbaulichen Eigenschaften dieser Baumart aufmerksam, die wir auf geeigneten Standorten nutzen können, um stabile, naturnahe Wälder aufzubauen. Aber wir verschweigen auch nicht die Risiken, denen sie vor allem am Rande bzw. außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes ausgesetzt ist. Die Weißtanne ist die Baumart mit den höchsten Verlusten am Waldflächenanteil im vergangenen Jahrhundert. Waldbesitzer und Forstleute bemühen sich daher seit längerem, die Tanne wieder verstärkt am Waldaufbau zu beteiligen. Erfolgreiches Wirtschaften mit der Tanne beruht auf langfristigen Verjüngungsverfahren, strukturreichem Waldaufbau sowie angepassten Schalenwildbeständen. Der Klimawandel stellt die Forstwirtschaft vor neue große Herausforderungen, die vor allem wegen des stark steigenden Risikos bei der Fichte als Ersatz andere geeignete Nadelbaumarten fordert. Deshalb werden neben verschiedenen Herkünften einheimischer Baumarten auch fremdländische Arten auf ihre Eignung im Klimawandel überprüft. Aus diesem Grund werfen wir in diesem Heft auch einen Blick auf die in Nordamerika beheimatete Große Küstentanne. Es ist das Verdienst der Tagung und des Heftes, Waldbesitzern und Forstleuten Hilfen zum Umgang mit der Tanne im Zeichen des Klimawandels zu geben, ihnen den aktuellen Kenntnisstand zu vermitteln und sie bei der Entscheidungsfindung und Risikoverringerung zu unterstützen. Ich hoffe, dass dieses Heft dazu beiträgt, der Tanne wieder mehr Raum zu geben, damit sie sich vom »Sorgenkind« der Forstwirtschaft zum Hoffnungsträger für die Zukunft entwickeln kann. Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern viel Freude mit unserer neuen Ausgabe der Reihe LWF Wissen.



Olaf Schmidt

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
Mehr Mut zur Tanne	7
Franz Brosinger	
Standörtliche Möglichkeiten für den Anbau der Tanne (<i>Abies alba</i> und <i>Abies grandis</i>) in Bayern	11
Christian Kölling, Wolfgang Falk und Helge Walentowski	
Weißtanne und Küstentanne – Herkunftsfragen und weitere genetische Aspekte	20
Monika Konnert und Randolph Schirmer	
Von Donnerbüschen, Rüsslern, Saurem Regen und Rehen – zur Waldschutzsituation der Weißtanne und der Küstentanne	28
Ralf Petercord	
Wachstum der Weißtanne in Südwestdeutschland – Entwicklung, Klimarisiko und Verjüngung	41
Ulrich Kohnle, Chaofang Yue und Dominik Cullmann	
Ökonomische Bewertung der Tanne	51
Herbert Borchert und Stefan Friedrich	
Tanne – vom Sorgenkind zum Hoffnungsträger	59
Andreas Rothe, Christoph Dittmar und Christian Zang	
Verwendungsorientierte Managementstrategien für Buchen-Küstentannen-Mischbestände ____	63
Hermann Spellmann, Mark Geb, Jürgen Nagel, Ralf Nagel und Matthias Schmidt	
Verwendungsmöglichkeiten für Küstentannen-Schnittholz	74
František Hapla	
Holzmarkt und Waldumbau aus der Sicht der Holzindustrie	76
Lars Schmidt	
Anschriften der Autoren	79

Mehr Mut zur Tanne

Franz Brosinger

Schlüsselwörter: Weißtanne, Klimawandel, naturnaher Waldbau, Naturverjüngung, Wald vor Wild

Zusammenfassung: Der Klimawandel stellt die Forstwirtschaft vor große und neue Herausforderungen, die unter anderem wegen des stark steigenden Risikos bei Fichte in Forderungen nach anderen, künftig besser geeigneten Nadelbaumarten münden. Mit der Weißtanne verfügen wir über eine Baumart, die ursprünglich in Bayerns Wäldern weit verbreitet war und aus verschiedenen Gründen in den letzten Jahrhunderten stark abgenommen hat, die aber mit den prognostizierten Klimabedingungen auf ihrem bisherigen Standortsspektrum wesentlich besser zurechtkommen wird als die Fichte. Auf Grund ihrer zahlreichen ökologisch und waldbaulich positiven Eigenschaften ist und bleibt sie ein unverzichtbares Element eines naturnahen Waldbaus. Waldbesitzer und Forstleute bemühen sich bereits seit längerem, die Tanne wieder verstärkt am Waldaufbau zu beteiligen. Dies hat regional bereits zu einer leichten Erhöhung ihres Anteils in den Verjüngungen geführt, die Anstrengungen müssen aber noch deutlich erhöht werden. Grundbedingungen für eine erfolgreiche stärkere Beteiligung der Tanne in Bayerns Wäldern sind ein

naturnaher Waldbau mit langen Verjüngungszeiträumen, Ausnutzen der Naturverjüngung wo möglich und vor allem angepasste Schalenwildbestände.

Anpassung an den Klimawandel, Waldumbau und Risikomanagement sind die Schlagworte, die aktuell den Waldbau dominieren. Diese Begriffe vermitteln allerdings leicht den Eindruck, dass die heutigen Herausforderungen an die Forstwirtschaft nur mit neuen waldbaulichen Vorgehensweisen bewältigt werden können. Die bewährten und weithin anerkannten Grundsätze eines naturnahen Waldbaus treten dabei leider des Öfteren in den Hintergrund. Dabei zeigt gerade das Beispiel Tanne, dass wir keinen Paradigmenwechsel brauchen, um für die Zukunft gerüstet zu sein.

Es ist unbestritten, dass für den Wald der Zukunft klimatolerante und anpassungsfähige, vor allem stabile und widerstandsfähige Baumarten notwendig sind. Dabei müssen wir auch auf Baumarten zurückgreifen, die bisher in den Wäldern eher gering vertreten sind.



Abbildung 1: Tannen wachsen im Schatten des Altbestandes auf und können lange Überschirmungsphasen sehr gut überstehen. (Foto: G. Aas)

Unter diesen Gesichtspunkten entwickelt sich die Weißtanne zunehmend zum Hoffnungsträger für viele Waldbesitzer und Forstleute, aber auch für die Holzindustrie. Nach den vorliegenden Baumarteneignungsprognosen birgt die Weißtanne auf vielen Standorten in Bayern ein deutlich geringeres Risiko als die Fichte. Anders als andere Nadelbaumarten wird sie als heimische Baumart zudem auch von den Naturschützern geschätzt. Aber wird die Tanne – Symbol für einen naturnahen Waldbau – die Erwartungen erfüllen können? Welche Rolle können und wollen wir ihr geben? Was müssen wir beachten, wenn wir verstärkt auf sie setzen?

Die Tanne – eine faszinierende Baumart

Ihre Vorteile wie hohe Wurzelintensität, regelmäßige und reiche Fruktifikation sowie großer, langanhaltender Zuwachs bei hoher Massenleistung sind schon oft beschrieben worden. Die Tanne wächst im Schatten des Altbestandes auf und kann nach langen Phasen der Überschirmung in die Oberschicht einwachsen. Damit stellt sie eine wertvolle Verbindung zwischen den Waldgenerationen dar und ermöglicht einen flexiblen und naturnahen Waldbau. Auf Grund dieser Eigenschaften ist sie die Plenterwaldbaumart schlechthin. Entscheidend ist die Bedeutung der Tanne in den Bergmischwäldern für die Sicherung der vielfältigen Schutzfunktionen. Leider ist es im bayerischen Alpenraum über viele Jahrzehnte nicht gelungen, ausreichend Tanne nachzuziehen. Daher fehlt sie oft gerade in den mittelalten Beständen, während es vielerorts noch zahlreiche Altbestände mit höheren Tannenanteilen gibt. Auch heute bestehen trotz einer zunehmenden Zahl positiver Beispiele immer noch Defizite bei der Verjüngung der Tanne im Bergwald.

Die Tanne – eine Baumart nur für Idealisten?

Bekanntlich war die Tanne früher viel stärker verbreitet, als dies heute der Fall ist. Sie ist Bestandteil fast aller natürlichen Waldgesellschaften Bayerns vom Alpenraum über die Ostbayerischen Mittelgebirge bis hin zu den eher niederschlagsärmeren Regionen der Frankenhöhe und im Südlichen Albvorland. Insgesamt wird von Tannenanteilen zwischen 8 und 15 Prozent an der natürlichen Waldbestockung in Bayern ausgegangen. Ihr heutiger Anteil ist demgegenüber mit 2,1 Prozent verschwindend gering. Die Ursachen für ihren starken Rückgang sind bekannt und wurden vielfach beschrieben: Flächige, nicht tannengerechte Verjüngungsver-

fahren in früherer Zeit, überhöhte Wildbestände über viele Jahrzehnte und die Schwefeldioxid-Belastung der Luft in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts. Aus diesen Gründen war die Tanne lange Zeit das Sorgenkind der Forstleute und Waldbesitzer. Im Wissen um ihre Vorzüge, aber auch aus Liebe zu dieser in sehr viele naturnahe Waldtypen zu integrierenden heimischen Baumart wurden und werden zum Teil erhebliche Anstrengungen unternommen, um sie zu erhalten und ihren Anteil wieder zu mehren. Dies gilt insbesondere für den bayerischen Staatswald, in dem die Grundsätze einer naturnahen Forstwirtschaft seit über 30 Jahren praktiziert werden. Aber auch im Privat- und Körperschaftswald zeigen viele Waldbilder das Wirken vieler engagierter Waldbesitzer.

Die Tanne – Gewinner im Klimawandel?

Als Ergebnis der langjährigen Bemühungen sind mancherorts höhere Anteile von Tanne in der Verjüngung zu erkennen, von einem wirklichen Durchbruch sind wir allerdings noch weit entfernt. Dies ist jedoch kein Grund, an der Richtigkeit des Zieles zu zweifeln oder die Bemühungen um die Tanne zu reduzieren. Im Gegenteil, vor dem Hintergrund des Klimawandels kommt es heute mehr denn je darauf an, die Ursachen für den nicht befriedigenden Zustand beherzt und entschlossen anzugehen. Das Beispiel der Revitalisierung der Tannen dank der konsequenten Entschwefelung der Kohlekraftwerke und dem damit verbundenen Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen zeigt, welche Erfolge möglich sind. Mut macht auch, dass die Tanne bei den zahlreichen Sturmereignissen der letzten Jahre ihre große Stabilität unter Beweis gestellt hat. Ihre Wertschätzung ist nach dem Jahrhundertsommer 2003 nochmals deutlich gestiegen, hat sie doch, eigentlich eher in niederschlagsreichen Regionen zu Hause, eine erstaunliche Trockenheitstoleranz gezeigt. Nach den derzeitigen Klimaprognosen bleiben die Bedingungen für die Tanne in nennenswerten Teilen Bayerns insgesamt noch günstig. Allerdings prognostizieren die neu entwickelten Klimarisikokarten der LWF in collinen Gebieten mit warm-trockenen Klimabedingungen ein höheres, zum Teil auch hohes Risiko. Das bedeutet nun nicht, dass die Tanne hier überhaupt nicht mehr am Bestandsaufbau beteiligt werden sollte. Vielmehr gilt es, wie bei anderen Baumarten auch, die Anteile der Baumart in der Verjüngung entsprechend dem Risiko zu bemessen. Gerade bei der Tanne als typischer Mischbaumart ist die Gefahr einer Fehlentwicklung vergleichsweise gering.



Abbildung 2: Angepasste Wildbestände sind eine unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche Tannennaturverjüngung. (Foto: T. Bosch)

In die Beurteilung muss neben den künftigen klimatischen Bedingungen (Klimarisikokarten) zwingend auch der jeweilige Boden und seine Wasserspeicherleistung einbezogen werden. Insbesondere sind die hohe Wurzelenergie und die Fähigkeit der Tanne, Wasservorräte auch in tieferen Bodenschichten oder tonigen Böden zu erschließen, zu berücksichtigen. Die Tanne kann und sollte daher auf solchen Standorten mit höheren Anteilen beteiligt werden. Gerade in den bereits heute warm-trockenen Gebieten, in denen künftig viele Baumarten ein höheres Risiko aufweisen, kommt es darauf an, gemischte und gestufte Bestände mit einer möglichst breiten Palette von Baumarten zu schaffen. Auf diese Weise wird das Risiko eines flächigen Ausfalls deutlich gemindert.

Künftig werden auch verstärkt Alternativen zur Fichte als Basis für die heimische Forst- und Holzwirtschaft verlangt. Seit längerer Zeit bewährte Gastbaumarten wie Douglasie und in begrenztem Umfang auch die Küstentanne können in den künftigen Wäldern eine größere Rolle spielen. Laufende oder neu in Angriff genommene Anbauversuche werden zeigen, ob sich die Baumartenpalette darüber hinaus noch erweitern lässt. Aber allzu leicht wird in der Debatte um Fremdländerteile vergessen, dass wir mit der Tanne eine heimische und auf entsprechenden Standorten hochproduktive Nadelbaumart zur Verfügung haben, die ökonomische und ökologische Vorteile vereint.

Tannen-Naturverjüngung nutzen wo immer möglich

Es spricht also viel dafür, die Anteile der Tanne vor allem in den für sie auch künftig noch günstigen Bereichen zu erhöhen. Dies ist nicht zwingend mit hohen Investitionen verbunden. Die günstigste und effektivste Möglichkeit bietet die Naturverjüngung. Die Tanne verfügt über ein enormes Naturverjüngungspotential. Dieses kostenlose Angebot der Natur gilt es zu nutzen, wo immer möglich, auch bei höherem Klimarisiko. Naturverjüngungen verfügen auf Grund ihrer hohen Ausgangspflanzenzahlen über eine große genetische Vielfalt. Sie bietet dem daraus erwachsenden Bestand größere Chancen, sich an die verändernden Umweltbedingungen anzupassen.

Analysen verschiedener Tannenherkünfte am Amt für Forstliche Saat- und Pflanzenzucht Teisendorf bestätigten bedeutende Unterschiede bei der genetischen Variabilität. Die Tannenvorkommen im Alpenvorland und in den Alpen weisen eine große genetische Vielfalt auf, bei den Herkünften aus Nordostbayern (Frankenwald und Fichtelgebirge) ist diese jedoch stark eingeschränkt. Dort sollte regional geeignetes Pflanzgut mit hoher genetischer Vielfalt die Naturverjüngung ergänzen.

In Gebieten, in denen sich die Tanne auch künftig gut eignet, aber heute in den Ausgangsbeständen nicht vorkommt, sollte sie nach Möglichkeit gepflanzt werden. Das gilt ganz besonders in Gebieten, in denen das

Klimarisiko der Tanne niedriger ist als das der Fichte. Allerdings wollen solche Investitionen wohl überlegt sein, um langfristig Erfolg zu haben. Dabei müssen Faktoren wie die waldbauliche Ausgangssituation, die Wuchsrelation zu anderen Pflanzen oder die Verbissbelastung in die Entscheidung mit einbezogen werden. Eine Selbstverständlichkeit sollte sein, die richtigen Herkünfte zu verwenden.

Mehr Tanne mit Können und Engagement

Die aus vielfältigen Gründen erwünschte Erhöhung des Tannenanteils kann jedoch nur unter zwei Voraussetzungen gelingen, zum einen einer naturnahen Waldbewirtschaftung und zum anderen angepasster Wildbestände. Bei all den neuen Aspekten dürfen die bekannten und bewährten Grundsätze eines naturnahen Waldbaus nicht ausgeblendet werden. Tannengerechter Waldbau verlangt lange Verjüngungszeiträume, zurückhaltende Eingriffe vor allem zu Beginn der Verjüngungsphase und gestuften Waldaufbau in Mischung mit Buche und anderen Baumarten. Die Tanne eignet sich nicht für kurze Umtriebszeiten oder Kahlschlagwirtschaft. Dies darf bei den aktuellen Diskussionen um die Sicherung ausreichender Nadelholzanteile nicht vergessen werden. Angepasste Wildbestände sind zwingend notwendig, um eine natürliche Verjüngung der Tanne im Wesentlichen ohne Schutzmaßnahmen zu ermöglichen. Erforderlich ist eine konsequente Umsetzung des im Bayerischen Waldgesetz verankerten Grundsatzes „Wald vor Wild“. Nach den Ergebnissen der Forstlichen Gutachten hat der Anteil der Tanne bei den aufgenommenen Bäumen von 1991 bis 2009 kontinuierlich von 1,4 auf 3,5 Prozent zugenommen. Dies ist zwar erfreulich, aber insgesamt noch bei weitem zu wenig, zumal die Tannenanteile mit zunehmender Höhe in den aufgenommenen Stichprobenflächen deutlich sinken. Um den Tannenanteil in den Wäldern mittelfristig nennenswert zu erhöhen, brauchen wir eine niedrigere Verbissbelastung und höhere Tannen-Verjüngungsvorräte als erstes und wichtigstes Etappenziel.

Ausblick

Die Tanne ist eine wertvolle Baumart. Wir brauchen sie dringend für die Entwicklung eines gesunden, stabilen, strukturreichen und funktionsgerechten Waldes. Es ist daher wichtig, sie zu erhalten und ihren Anteil zu mehr. Die neuen Aspekte im Zusammenhang mit dem Klimawandel verstärken die Notwendigkeit, die Anstrengungen zu erhöhen. Mehr Engagement für die Tanne ist zwar oft schwierig, aber immer lohnend.

Key words: Silver Fir, climate change, silviculture according to nature, natural regeneration, giving forest priority over game

Summary: Climate change presents forestry management with big and new challenges. These are, above all, due to fact that the spruce is increasingly put at risk and the ensuing demands for other, more appropriate coniferous species. The fir tree is a tree species, which will be able to cope well with the expected climatic conditions, and while it used to be widely spread in Bavarian forests it has subsequently decreased for various reasons, over the past few centuries. Numerous positive characteristics in terms of ecology and forestry turn the fir tree into an indispensable element of natural forest management. Forest owners and foresters have been trying for some time now to increase the proportion of firs in forest structures again. These efforts have led to a somewhat higher proportion of the fir in reafforestations. However, these efforts have to be stepped up even more. A higher proportion of the fir in Bavarian forests can only be achieved by adhering to the principles of natural forestry with long reafforestation periods, while exploiting natural reafforestations wherever possible and, above all, by an adaptation of hoofed game stocks.

Übersetzung: Susanne Mühlhaus

Standörtliche Möglichkeiten für den Anbau der Tanne (*Abies alba* und *Abies grandis*) in Bayern

Christian Kölling, Wolfgang Falk und Helge Walentowski

Schlüsselwörter: Klimawandel, Anbauschwellenwerte, Anbaurisiko

Zusammenfassung: Angesichts des Klimawandels ist die Weißtanne nur in den derzeit kühlen Regionen Bayerns mit einer Jahresdurchschnittstemperatur unter 7,5°C auch künftig eine risikoarme Alternative zur anfälligeren Fichte. Die Küstentanne ist eine Baumart mit eher engen Klimaansprüchen. Der Klimawandel wird zu einer deutlichen Verlagerung ihrer Anbauregionen bei uns führen, ihr Anbau ist daher mit höheren Risiken verbunden. Weder Weißtanne noch Küstentanne sind an ein warmes, sommertrockenes Klima angepasst, wie es uns der Klimawandel in großen Teilen Bayerns bescheren wird.

Die Weißtanne ist unbestritten das Lieblingskind vieler Förster. Das mag vor allem daran liegen, dass sie eine heimische Nadelbaumart mit vielerlei waldbaulichen Vorteilen ist (z.B. Schattenfestigkeit; langes Verharren im Dunkelstand; Aufbau wüchsiger, vorrats- und ertragreicher, vielschichtiger Dauerwälder mit Extreme abpufferndem Bestandsinnenklima und hoher Kohlenstoffspeicherfähigkeit; stabilisierende Funktion auf tonig-mergeligen, quelligen, zu Versumpfung und Hangrutschung neigenden Sonderstandorten auf Grund ihres intensiven Wurzelwerkes). Sie gilt als weniger trockenheitsanfällig und sturmfester als die Fichte (Mößnang 2004; Muck et al. 2008). Trotz dieser Vorteile weist die letzte Bundeswaldinventur BWI² (LWF 2004) in Bayern nur eine Weißtannen-Fläche von 49.000 Hektar (2,1 Prozent der Waldfläche Bayerns) aus. Entweder steht die Weißtanne in der Gunst der Waldbesitzer nicht besonders weit oben oder es gibt objektive Gründe für ihre Seltenheit. Von verschiedenen Seiten werden solche Gründe angeführt.



Abbildung 1: Arealkarte der Weißtanne (Die Verbreitungsdaten stellte die Arbeitsgruppe AG Chorologie und Makroökologie am Institut für Geobotanik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg zur Verfügung.

- *Die nacheiszeitliche Rückwanderung der Weißtanne ist noch nicht abgeschlossen.*

Da das Areal der Weißtanne in auffälliger Weise nach Norden hin begrenzt ist (Abbildung 1), geht man davon aus, dass an dieser Grenze die langsame nacheiszeitliche Rückwanderung der Weißtanne zum Erliegen gekommen ist und sich kaum noch fortsetzt (Kölling et al. 2004). Bei näherer Betrachtung zeigt sich aber, dass der Haltepunkt der Rückwanderung mit Naturraumgrenzen übereinstimmt. Die Ränder der Gebirge bilden die jeweiligen Grenzen zu den ihnen vorgelagerten tannenfreien Ebenen und Hügelländern. Ob diese Arealränder gegen das Hügelland vorrangig klimatisch verursacht oder eher auf Grund bereits vorhandener Nutzungseinflüsse entstanden sind, lässt sich nicht klären. Fakt ist, dass die Waldflächen der Hügelländer und Ebenen in Mitteleuropa vielfach bereits nutzungsüberprägt und fragmentiert waren, als die durch die Mittelgebirgszüge wandernde Tanne dort ankam. Nahe ihrer natürlichen Verbreitungsgrenzen sind die Baumarten hinsichtlich Populationsgröße, Vitalität, Reproduktivität und Resilienz nicht im Optimum, ziehen sich eng auf für sie günstige Standorte zurück (regionale Stenökie) und reagieren hier auf einwirkende Ungunstfaktoren besonders empfindlich. Manche potentielle Nischen nahe des klimaökologischen Arealrandes konnten vielleicht auf Grund von Dispersionsbarrieren gar nicht erst besetzt werden oder Nutzungseinflüsse und Naturereignisse merzten kleine Vorposten wieder aus.

- *Die Weißtanne ist besonders empfindlich gegenüber Schwefeldioxid-Immissionen.*

Die Empfindlichkeit der Weißtanne gegenüber Schwefeldioxid-Immissionen ist unbestritten (Elling und Dittmar 2008; Elling et al. 2009). Tatsächlich überlebten in besonders stark belasteten Regionen wie dem Erzgebirge nur sehr wenige Tannen die jahrzehntelange Belastung mit Luftschadstoffen. Auch in den ostbayerischen Gebirgen dürften Schwefeldioxid-Immissionen die Seltenheit der Tanne mit verursacht haben (vor allem in Nordost-Bayern; Walentowski 1998). Nach Elling (2004) ist jedoch nach dem Rückgang der Emissionen vielerorts eine Abnahme der Schäden und eine Revitalisierung der Bäume zu beobachten. Es bleibt zu hoffen, dass die Weißtanne in den Schadensgebieten nach und nach wieder zu einem Element der Wälder wird.

- *Die Weißtanne verträgt keine Kahlschlagswirtschaft mit kurzen Umtrieben.*

Als ausgesprochene Klimaxbaumart mit sehr hoher Schattentoleranz ist die Weißtanne an dauerwaldartige Waldbehandlungsformen gebunden. Abrupte

Unterbrechungen des Kronenschlusses, wie sie im Kahlschlags- oder Saumbetrieb die Regel sind, verhindern die artgerechte Verjüngung der Tanne und führen früher oder später zu einem lokalen Aussterben der Art. Im Frankenwald wurde auf diese Weise die Tanne von einer häufigen gebietstypischen Waldbaumart zu einer absoluten Rarität (Wirth 1956; Türk 1993; Schmidt 2004; Rüter und Walentowski 2008).

- *Überhöhte Schalenwildbestände verhindern eine stärkere Beteiligung der Weißtanne.*

Unter den Nadelbäumen leidet die Tanne am meisten unter Wildverbiss (Schreiber 2010). Er macht sich umso stärker bemerkbar, je seltener die Tanne regional am Waldaufbau beteiligt ist. Für sich genommen kann der Wildverbiss die Seltenheit der Tanne kaum erklären, aber als verstärkender Faktor trägt er sicherlich dazu bei, dass weniger Tannen als erwartet heranwachsen.

- *Die Weißtanne stellt als mitteleuropäische Gebirgsbaumart besondere Ansprüche an das Klima.*

Im Zuge der Forschungen der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) zum Klimawandel ist das gesamte Areal der Waldbaumarten nun stärker in das Blickfeld gerückt. In einer früheren Arbeit (Kölling et al. 2004) beachteten wir diesen Aspekt nur am Rande. Mittlerweile wissen wir, dass die Areale und Anbauggebiete der Waldbäume sehr stark klimatisch bedingt sind. Im Folgenden kommt es darauf an, den Aspekt der klimatischen Limitierung des Tannenvorkommens zu beleuchten. In den Zeiten des Klimawandels ist dies keine akademische Frage mehr, sondern die existenzielle Frage der Baumartenwahl unter veränderten Umweltbedingungen.

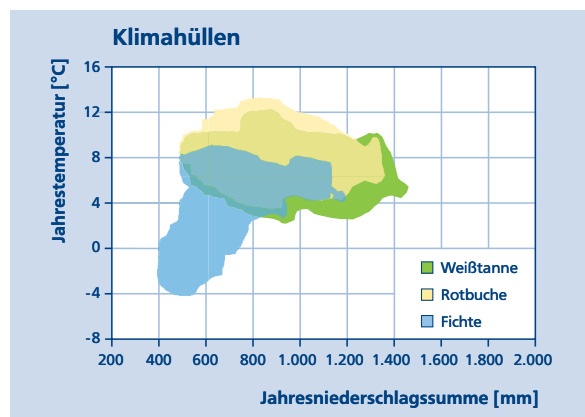
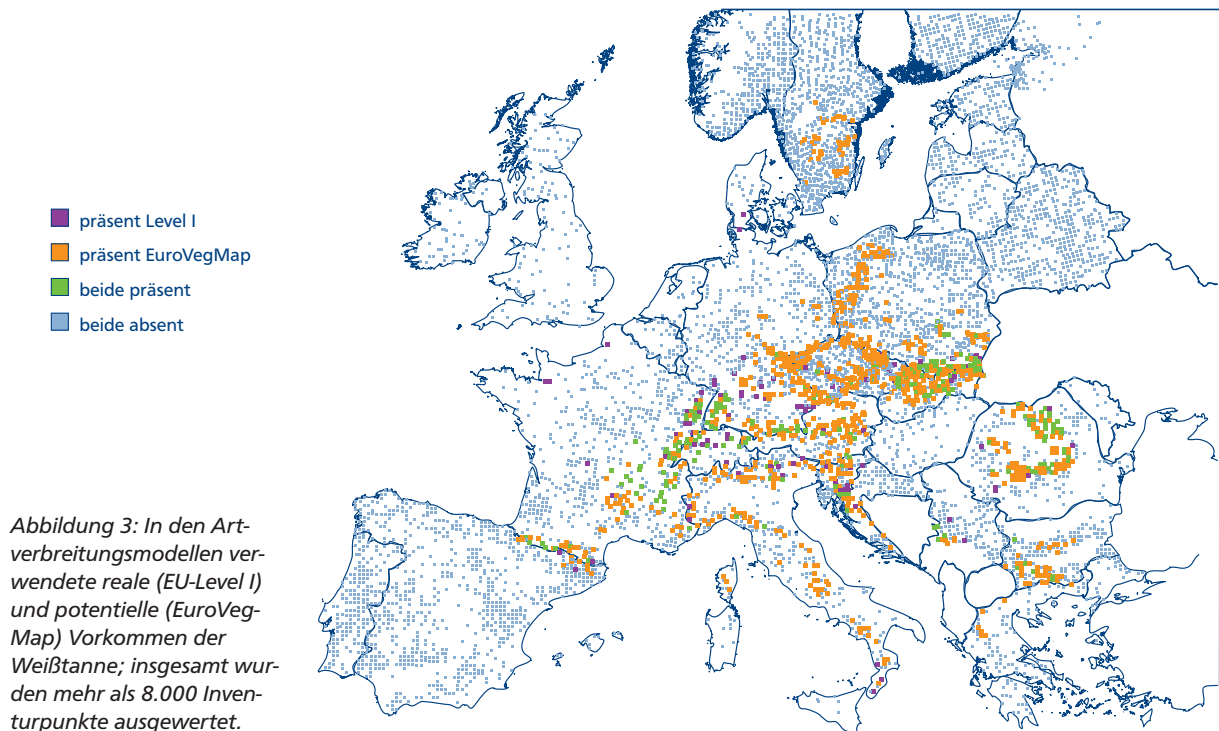


Abbildung 2: Klimahüllen von Weißtanne, Rotbuche und Fichte (nach Kölling 2007)



Von der Verbreitungskarte zum Schwellenwertmodell

Eine erste Auswertung von Arealkarten der Baumarten in Form von Klimahüllen (Kölling 2007) hat die klimatischen Eigenarten unserer Waldbaumarten verdeutlicht. Die Klimahüllen von Weißtanne, Rotbuche und Fichte (Abbildung 2) zeigen unterschiedliche Gestalt und Position in einem Koordinatensystem aus Jahrestemperatur und Jahresniederschlagssumme.

Die Weißtanne nimmt eine charakteristische Position zwischen der Fichte und der Rotbuche ein. Tatsächlich mischen sich die drei Baumarten in einem bestimmten Temperatur- und Niederschlagsbereich und bauen natürlicherweise strukturreiche Bergmischwälder auf, in denen die Tanne ihre Konkurrenzvorteile insbesondere in späten Entwicklungsphasen – späte Zerfallsphase und Verjüngungsphase – entfalten kann. Hin zu wärmeren Temperaturen verschwindet zunächst die Fichte, dann die Weißtanne und zuletzt bleibt die Rotbuche übrig. Mittlerweile lösten elaboriertere Modelle die auf Arealkarten basierende grobe Auswertung in Form von Klimahüllen ab. Diese Artverbreitungsmodelle erlauben die Übertragung der Schwellenwerte auf die Fläche (Regionalisierung). Bei der Modellbildung werden nicht nur potentielle, auf Grund von Verbreitungskarten

postulierte Vorkommen, sondern auch bei Waldinventuren erfasste reale Vorkommen verwendet. Wir stützen uns dabei auf das Netz der europäischen Waldzustandserfassung Level I und ordnen den über 8.000 Inventurpunkten dieses Netzes reale und potentielle Tannenvorkommen zu (Abbildung 3).

Diese Vorkommen verbinden wir mit Klimadaten, um auf diese Weise die korrelative Beziehung zwischen den Vorkommen bzw. Nicht-Vorkommen und den an den Punkten herrschenden klimatischen Bedingungen aufzudecken.

In einem ersten provisorischen Schritt stellten wir nach Expertenurteil den Zusammenhang zwischen Jahrestemperatur und Jahresniederschlagssumme einerseits und dem europaweiten Vorkommen der Weißtanne in Form einer Risikomatrix dar (Abbildung 4).

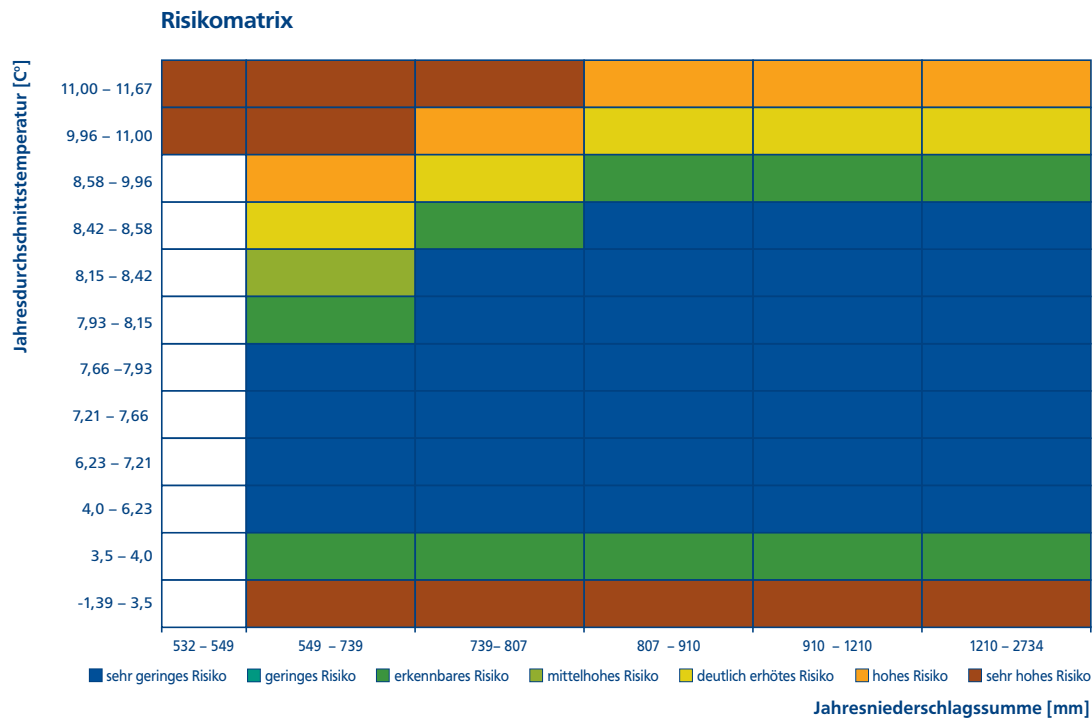


Abbildung 4: Risikomatrix der Weißtanne nach den Größen Jahrestemperatur und Jahresniederschlagssumme, wie sie den Klima-Risikokarten in den Abbildungen 5 und 6 zu Grunde liegt.

Die Matrix spiegelt die Verteilung der europäischen Weißtannen wider. Weder potentielle noch aktuelle Vorkommen sind unter sehr kühlen und sehr hohen Temperaturen verbreitet. Bei hohen Temperaturen beeinflusst noch eine zurückgehende Niederschlagssumme die Vorkommen. Der Häufigkeit bzw. dem Fehlen von Vorkommen kann ein abgestuftes Anbaurisiko zugeordnet werden. Die unterschiedlichen Risiken sind als Farben dargestellt. Im optimalen mittleren Temperaturbereich ist das Anbaurisiko für die Weißtanne sehr gering (blaue Farbe), zu den Rändern hin steigt das Risiko (orange Farbtöne). In diesen Klimakombinationen ist der aus den europäischen Vorkommen abgeleitete Risikoswellenwert überschritten. Die Risikomatrix kann man ohne großen Aufwand auf die in Bayern gegenwärtig herrschenden Kombinationen aus Jahrestemperatur und Jahresniederschlagssumme anwenden und damit regionalisieren (Abbildung 5).

Dabei zeigt sich das erhöhte Risiko des Tannenbaus in den warm-trockenen Beckenlagen und Flusstälern (Donautal, Mittelfränkisches Becken, Fränkische Platte und Untermain). Tatsächlich sind in diesen Gebieten kaum Tannenvorkommen bekannt und auch im europäischen Kontext sind für die hier herrschenden Klimakombinationen nur sehr wenige Tannenvorkommen

belegt. Die Risikomatrix lässt sich auch auf ein mögliches Klima der Periode 2071 bis 2100 anwenden (Abbildung 6).

Die daraus entstehende Karte offenbart eine Zunahme des Anbaurisikos in vielen Regionen Bayerns. Die Gebiete mit sehr geringem Anbaurisiko (blau) schrumpfen auf die ausgeprägten Gebirgslagen zusammen, die Gebiete mit hohem und sehr hohem Risiko nehmen zu. Die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten Karten sind seit Anfang 2010 in der Bayerischen Forstverwaltung als Provisorium im Einsatz. Neben den Karten für die Weißtanne gibt es auch solche für Fichte, Rotbuche, Eiche (Trauben- oder Stieleiche), Bergahorn, Europäische Lärche, Waldkiefer und Douglasie (Kölling et al. 2010).

Wo bleibt der Boden?

In den provisorischen Klima-Risikokarten werden lediglich Klimawerte verwendet, um das Anbaurisiko der Weißtanne abzuleiten. Das lässt sich durchaus begründen, denn zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten belegen, dass klimatische Größen und insbesondere die Temperatur die wichtigste Steuergröße für die Verbreitung der Arten sind. Nicht nur auf Kontinentalebene, sondern auch auf regionaler Ebene bestimmt das Klima ganz wesentlich das Vorkommen der Arten. Erst auf der lokalen Ebene kommen weitere Steuergrößen hinzu. In

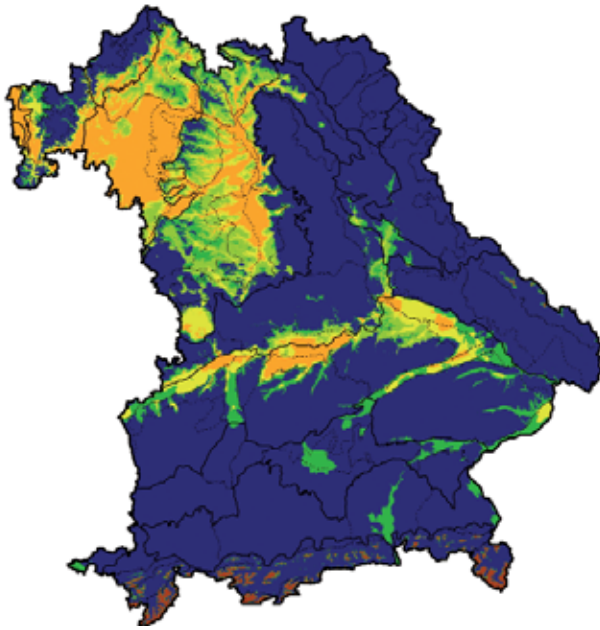


Abbildung 5: Regionalisierung der Risikomatrix der Weißtanne mit den Klimawerten der Periode 1971–2000

- sehr geringes Risiko
- geringes Risiko
- erkennbares Risiko
- mittelhohes Risiko
- deutlich erhöhtes Risiko
- hohes Risiko
- sehr hohes Risiko

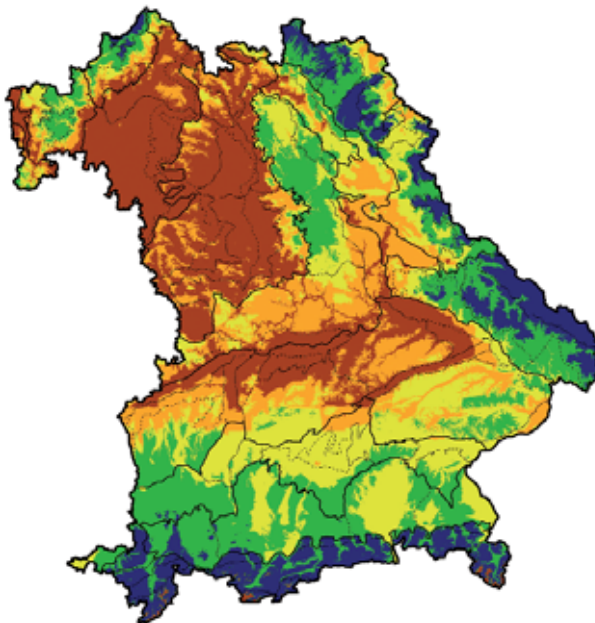


Abbildung 6: Regionalisierung der Risikomatrix der Weißtanne mit den Klimawerten der Periode 2071–2100 (Regionales Klimamodell WETTREG, Szenario B1)

niederschlagsarmen und warmen Regionen zeigen sich Unterschiede, je nach dem, ob Sonneneinstrahlung die Bäume zusätzlich belastet oder nicht. Umgekehrt profitieren die Bäume in Regionen mit Wärmemangel von zusätzlicher Strahlungsenergie, wie sie an Südhängen bereitgestellt wird. In Gebieten mit knappen Niederschlägen kann ein tiefgründiger Boden mit hoher Wasserspeicherung den Bäumen über Durststrecken hinweghelfen. Dies gilt insbesondere für die Tanne mit ihrem tiefreichenden Wurzelwerk. Weder der lokale Faktor Strahlung noch der Boden kann allerdings eine regionale Klimaungunst komplett aufheben. Lediglich in den klimaökologischen Randbereichen des Vorkommens einer Art gibt es eine Übergangszone (Ökoton), innerhalb der zunehmend lokale Lage, Lokalklima und Boden über Präsenz und Absenz entscheiden (ökologische Kompensation; regionale Stenökie). Ein günstiges Bodenwasserangebot kann beispielsweise die geringen Niederschläge von 520 Millimetern an der nordöstlichen Arealgrenze in Polen kompensieren (Kramer 1992). Lage- und Bodenparameter, die die Klimasituation modifizieren, sollten bei der Anwendung der Klima-Risikokarten in der Praxis speziell in klimaökologischen Randbereichen einer Baumart besonders berücksichtigt werden, ebenso wie eine geeignete waldbauliche Behandlung und konsequente Wildbestandsregulierung. Gerade Populationen am Rande der klimaökologischen Amplitude eines Genotyps befinden sich in evolutiver Anpassung und müssen daher erhalten werden. Sie können ein wertvolles Genpotential für die Anpassung der Wälder darstellen.

Ein ausreichender Wasserhaushalt ist für die Weißtanne wichtiger als eine gute Nährstoffversorgung, da die Baumart bodenvag ist. Tannen wachsen sowohl auf karbonatreichen als auch auf silikatischen, basenarmen Standorten. Sie gedeihen auch auf luftarmen, vergleyten Böden und können schwere tonige Substrate mit ihren Wurzeln durchdringen. Auf geeigneten Standorten und selbst auf staunassen Böden dringen Tannenwurzeln bis in eine Tiefe von 1,6 Metern und damit weiter als viele andere Baumarten vor (Bucher 1999; Walentowski et al. 2005).

Bäume für die Zukunft

Mit komplexen statistischen Artverbreitungsmodellen versuchen wir im Vorhaben „Bäume für die Zukunft“ im Rahmen des Klimaprogramms Bayern 2020 die Beziehung zwischen dem Vorkommen der Arten und den herrschenden Standortbedingungen noch trans-

**Vorkommenswahrscheinlichkeit
1971–2000**

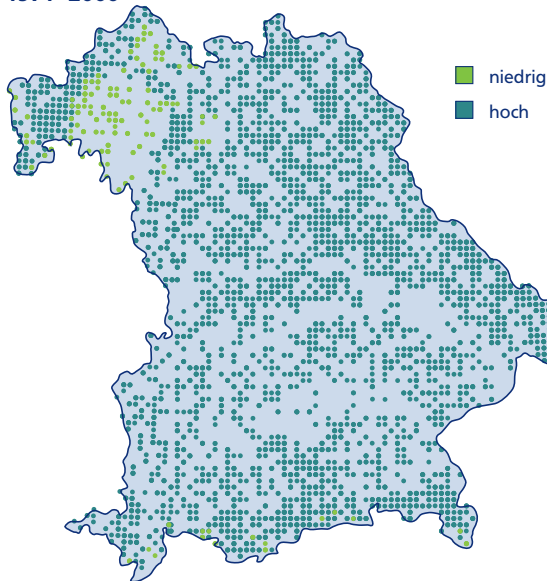


Abbildung 7: Anwendung eines aus europäischen Verbreitungsdaten erstellten Artverbreitungsmodells auf die Klimawerte 1971–2000 an den Inventurpunkten der Bundeswaldinventur BWI²

**Vorkommenswahrscheinlichkeit
2071–2100**

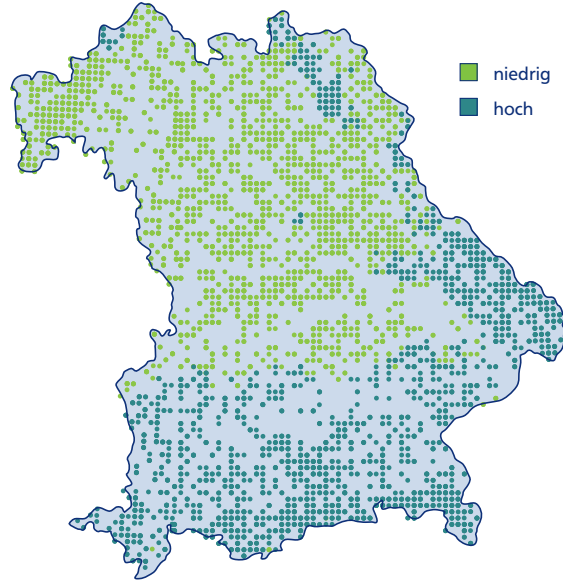


Abbildung 8: Anwendung eines aus europäischen Verbreitungsdaten erstellten Artverbreitungsmodells auf die Klimawerte 2071–2100 (Regionales Klimamodell WETTREG, Szenario B1) an den Inventurpunkten der Bundeswaldinventur BWI²

parenter und präziser zu erfassen. Das Ergebnis sind Vorhersagemodelle, deren Ausgabegröße die Auftretenswahrscheinlichkeit der Art ist. Für die Weißtanne ergibt ein mit der Methode der Generalisierten Additiven Modelle (GAM) auf der Grundlage von Klimadaten berechnetes Modell ein Ergebnis der für die Gegenwart 1971 bis 2000 (Abbildung 7) und die Zukunft 2071 bis 2100 (Abbildung 8) unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten des Vorkommens.

In der Gegenwart ist fast auf der ganzen Landesfläche die Wahrscheinlichkeit, eine Weißtanne anzutreffen oder erfolgreich anbauen zu können, hoch. In der Zukunft sinkt diese Wahrscheinlichkeit regional ganz beträchtlich. An vereinzelten Punkten im Gebirge hingegen steigt sie an. In der in den Abbildungen 7 und 8 dargestellten rohen Form der Wahrscheinlichkeiten lassen sich die Modelle noch nicht unmittelbar für die Praxis verwerten. Dazu müssen den Wahrscheinlichkeiten Risikowerte zugeordnet werden. Außerdem sollen die Modellergebnisse nicht nur auf einzelne Inventurpunkte, sondern in hoher Auflösung auf die gesamte Waldfläche bezogen werden. Schließlich sind noch weitere Faktoren wie Strahlung und Bodeneigenschaften zu beachten. Am Ende entstehen Karten, die zwar ähnlich aussehen wie die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten Provisorien, aber höher aufgelöst sind und neben dem Klima auch weitere Standortfaktoren berücksichtigen.

Die Vorteile der Artverbreitungsmodelle liegen darin, dass sie mit einer objektiven Methode sowohl Inventurdaten als auch das Expertenwissen von Vegetationskarten nutzen können. Die die heutige potentielle Verbreitung gut beschreibenden Modelle lassen sich auch in die Zukunft extrapolieren. Die Voraussetzung dafür ist, bei der Modellentwicklung das gesamte Areal zu betrachten. Im Falle der Weißtanne sollte ein europäischer Datensatz zugrunde liegen (Falk und Mellert 2011). Denn für weite Bereiche Bayerns wird für die Zukunft ein Klima vorhergesagt, das heute beispielsweise nur in Frankreich oder Italien herrscht. Wenn dort Tannen vorkommen, wird daraus geschlossen, dass sie auch entsprechende künftige Bedingungen in Bayern ertragen werden. Bei der Modellierung wird darauf geachtet, dass das Modell die Standortparameter, die die Verbreitung der Baumart erklären, dem ökologischen Wissen über die Baumarten gemäß interpretiert (z. B. bei 500 bis 600 Millimetern Jahresniederschlag Trockenheitsgrenze der Tannenverbreitung). Die Modelle betrachten zahlreiche Standortfaktoren gleichzeitig und beschreiben das Potential für den Tannenanbau (Abbildung 7). Artverbreitungsmodelle sind daher ein geeignetes Hilfsmittel, um bei der Baumartenwahl eine fundierte Entscheidung zu treffen.

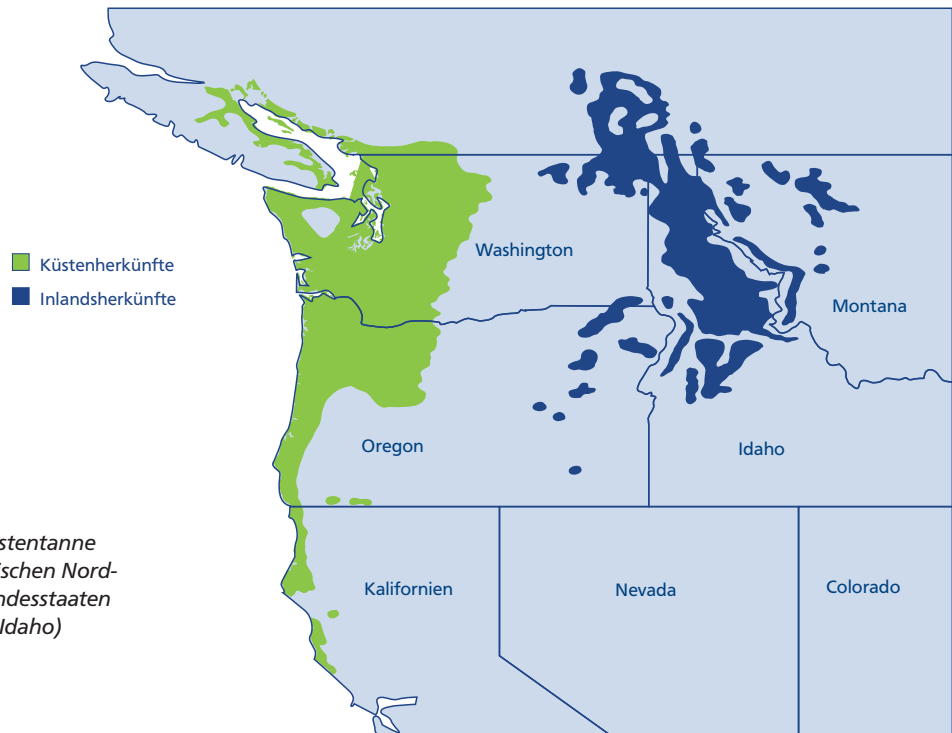


Abbildung 9: Areal der Küstentanne (nach Little 1971) im pazifischen Nordwesten Nordamerikas (Bundesstaaten Washington, Oregon und Idaho)

Heilsbringerin Weißtanne?

Je mehr man sich mit dem Klimawandel und seiner Auswirkung auf die Waldbäume befasst, desto mehr wird deutlich, dass es bei der Baumartenwahl keine Patentlösungen gibt. Jede Baumart hat ihre naturgegebenen Anbaugrenzen und es ist nur eine Frage der Region und der weiteren klimatischen Entwicklung, ob diese erreicht und überschritten werden. Unter bestimmten, gut definierten Standortsbedingungen ist die Weißtanne eine hochvitale und sehr leistungsfähige Baumart. Das „Tannenparadies“ ist der mitteleuropäische Gebirgsraum mit seinem mäßig kühlen und mäßig feuchten Klima. Auch außerhalb ihres eng begrenzten Areals hat die Weißtanne Anbaupotentiale, sofern die klimatischen Bedingungen dort nicht zu sehr von den im Areal herrschenden abweichen. „Trockentannen“ wie sie aus dem Schweizer Kanton Wallis (Krause und Konnert 2009), aus dem Vinschgau im Westen Südtirols (Autonome Provinz Südtirol 2010) oder aus Mittelfranken (Kölling und Borchert 2004) bekannt sind, entpuppen sich bei näherer Betrachtung stets als Vorkommen, die zwar unter geringeren Jahresniederschlagssummen (weniger als 800 Millimeter), aber bei nicht zu warmen Temperaturen (unter 9,5 °C) gedeihen. Gewiss kommen solche Vorkommen dem Existenzrand der Weißtanne schon recht nahe. Angesichts

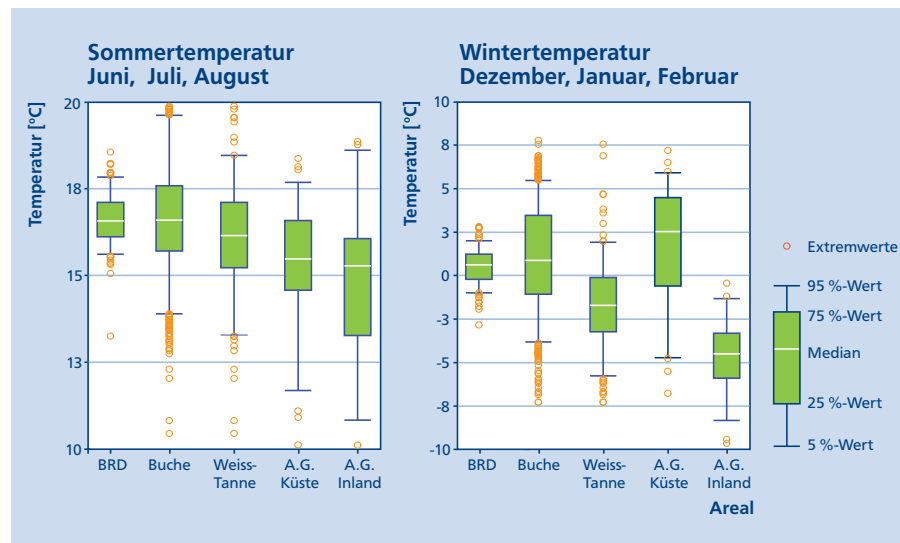
der zukünftigen klimatischen Entwicklung ist es aber wichtig, die Wärme- und Trockentoleranz der Weißtanne nicht über Gebühr zu beanspruchen.

Alternative Küstentanne?

Es liegt nahe, die Weißtanne mit anderen nicht heimischen Tannenarten zu vergleichen. Für den forstlichen Anbau hat man in größerem Umfang bei uns vor allem die Küstentanne (*Abies grandis*) herangezogen. Insbesondere im nordwestdeutschen Raum gibt es einige Anbauerfahrungen mit dieser Baumart, deren Heimat im pazifischen Westen Nordamerikas liegt (Abbildung 9).

Ihr Areal ist zweigeteilt. Der küstennahe Teil liegt in den Bergketten an der Pazifikküste vor allem in den Staaten Washington und Oregon, der Inlandsteil in den Rocky Mountains mit einem Schwerpunkt in Idaho. Das Klima im Küstenareal ähnelt in gewisser Weise dem Klima bei uns, das Inlandsareal dagegen hat ein völlig anderes Klima (Abbildung 10). Daher werden für den Anbau bei uns auch nur die Küstenherkünfte verwendet (Konnert und Schirmer 2011, in diesem Band).

Abbildung 10: Sommer- und Wintertemperaturspektren im Vergleich (1901–2002 aus dem Datensatz CRU TS 2.1, Mitchell und Jones 2006)



Anbauggebiete Küstentanne
1971–2000

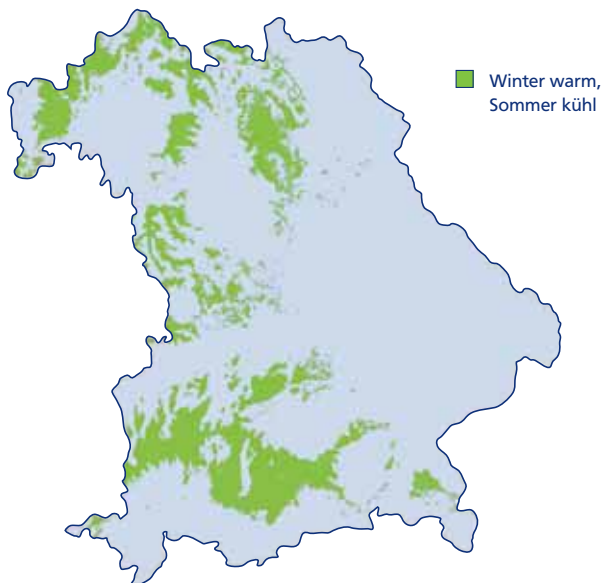


Abbildung 11: Anwendung der Klimadaten aus Abbildung 10 (2. und 3. Quartil) auf das Klima Bayerns 1971–2000

Anbauggebiete Küstentanne
2071–2100

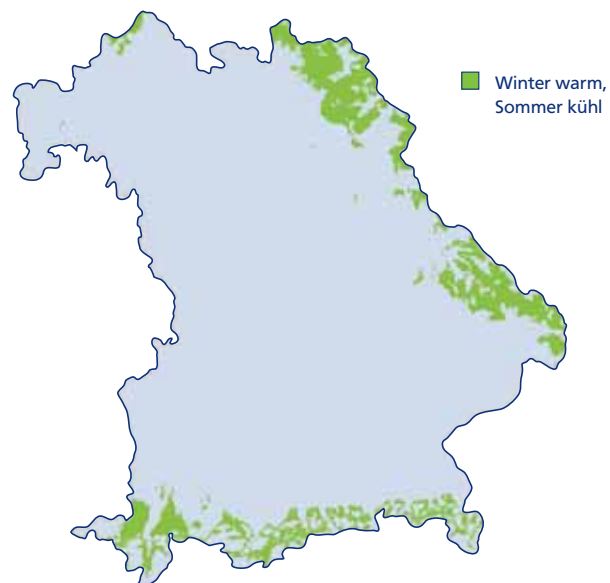


Abbildung 12: Anwendung der Klimadaten aus Abbildung 10 (2. und 3. Quartil) auf das Klima Bayerns 2071–2100

Wie die Abbildung 10 zeigt, herrschen im küstennahen Teilareal im Vergleich zum Klima Deutschlands kühlerer Sommer und wärmere Winter. Wendet man den zentralen Teil der Sommer- und Wintertemperaturspektren der Küstentanne (das zweite und dritte Quartil) auf das gegenwärtige Klima Bayerns an, entsteht ein Bild möglicher Anbaugebiete für diesen Baumart (Abbildung 11). Es handelt sich dabei um die (sub-)atlantisch geprägten Regionen Bayerns, für die warme Winter und kühler Sommer typisch sind. Im Klimawandel verlagern sich diese Gebiete in die höheren Mittelgebirge und in die Alpen (Abbildung 12).

Auf Grund der relativ engen Temperaturspektren der Küstentanne existieren kaum Gebiete, die sich nach den angelegten Maßstäben sowohl unter gegenwärtigen als auch unter künftigen Klimabedingungen gleichermaßen für den Anbau eignen. Wo man auch erwägt, die Küstentanne in Bayern anzubauen, das Risiko wird entweder gegenwärtig oder in der Zukunft hoch sein.

Literatur

- AG Chorologie und Makroökologie (2010): *Forschungsprojekt „Klimatische Modellierung von Pflanzenarealen*. Link: www2.biologie.uni-halle.de/bot/ag_chorologie/areale/index.php?sprache=D (aufgerufen am 11.12.2010)
- Autonome Provinz Südtirol, Abteilung Forstwirtschaft, Amt für Forstplanung (2010): *Waldtypisierung Südtirol*. Band 1: Waldtypen, Wuchsgebiete, Bestimmungsschlüssel
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (2004): *Erfolgreich mit der Natur – Ergebnisse der Zweiten Bundeswaldinventur in Bayern*. Freising, 28. S.
- Bucher, H.U. (1999): *Abies alba* Miller 1768. In: Schütt, P. et al. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Holzgewächse*, 16. Ergänzungslieferung, 18 S.
- Elling, W. (2004): *Schädigung, Absterben und Erholung der Weißtanne*. LWF Wissen 45, S. 24–29
- Elling, W.; Dittmar, C. (2008): *Die Weißtanne im Meinungswandel. Schädigung, Absterben und Erholung*. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 63, S. 234–238
- Elling, W.; Dittmar, C.; Pfaffelmoser, K.; Rötzer, T. (2009): *Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (Abies alba Mill.) in Southern Germany*. Forest Ecology and Management 257, S. 1.175–1.187
- Falk, W.; Mellert, K. H. (2011): *Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: Risk evaluation of Abies alba in Bavaria*. Journal of Vegetation Science, eingereicht
- Konnert, M.; Schirmer, R. (2011): *Weißtanne und Küstentanne. Herkunftsfragen und weitere genetische Aspekte*. LWF Wissen 66, S. 20–27
- Kölling, C. (2007): *Klimahüllen für 27 Waldbaumarten*. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 62, S. 1.242–1.245
- Kölling, C.; Borchert, H. (2004): *Gibt es seine Trockentanne im fränkischen Keuper?* LWF aktuell 46, S. 22–23
- Kölling, C.; Ewald, J.; Walentowski, H. (2004): *Lernen von der Natur: Die Tanne in den natürlichen Waldgesellschaften Bayerns*. LWF Wissen 45, S. 24–29
- Kölling, C.; Beinhofer, B.; Hahn, A.; Knoke, T. (2010): *»Wer streut, rutscht nicht« – Wie soll die Forstwirtschaft auf neue Risiken im Klimawandel reagieren?* Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 65, S. 18–22
- Kramer, W. (1992): *Die Weißtanne (Abies alba Mill.) in Ost- und Südosteuropa – Eine Zustandsbeschreibung*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Krause, S.; Konnert, M. (2009): *Die Walliser Trockentanne – Versuchsanbauten sollen neue Erkenntnisse bei der Baumartenwahl bringen*. LWF aktuell 70, S. 49
- Little, E.L. Jr. (1971): *Atlas of United States trees, volume 1, conifers and important hardwoods*. U.S. Department of Agriculture Miscellaneous Publication 1.146, 9 S., 200 Karten <http://esp.cr.usgs.gov/data/atlas/little/> (aufgerufen am 1.10.2010)
- Mitchell, T.D.; Jones, P.D. (2005): *An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids*. International Journal of Climatology 25, S. 693–712
- Mößnang, M. (2004): *Die Weißtanne – Königin mit Potential. Waldbauliches zum Baum des Jahres 2004*. LWF aktuell 46, S. 19–21
- Muck, P.; Borchert, H.; Elling, W.; Hahn, J.; Immler, T.; Konnert, M.; Walentowski, H.; Walter, A. (2008): *Die Weißtanne – ein Baum mit Zukunft. Die Weißtanne ist ein Hofnungsträger für den Waldbau im Klimawandel*. LWF aktuell 67, S. 56–58
- Rüther, C.; Walentowski, H. (2008): *Tree species composition and historic changes of the Central European oak/beech region*. In: Floren, A.; Schmidl, J. (Hrsg.): *Canopy arthropod research in Europe*. S. 61–88
- Schmidt, O. (2004): *Die Tanne im Frankenwald*. LWF Wissen 45, S. 41–46
- Schreiber, R. (2010): *Forstliches Gutachten zur Situation der Waldverjüngung 2009*. LWF aktuell 74, S. 54–56
- Türk, W. (1993): *Pflanzengesellschaften und Vegetationsmosaiken im nördlichen Oberfranken*. Dissertationes Botanicae 207, Stuttgart, 290 S. + Anhang
- Walentowski, H.; Fischer, M.; Seitz, R. (2005): *Fir-dominated forests in Bavaria, Germany*. waldoekologie online 2, S. 68–89
- Walentowski, H. (1998): *Die Weißtannen-Waldgesellschaften Bayerns – eine vegetationskundliche Studie mit europäischem Bezug, mit waldbaulichen Anmerkungen und naturschutzfachlicher Bewertung*. Dissertationes Botanicae 291, Berlin und Stuttgart, 473 S.
- Wirth, F. (1956): *Wandel der Bestockung im Frankenwald*. Mitteilungen der Staatsforstverwaltung Bayerns 28, München, S. 179–205

Key Words: Climate change, cultivation thresholds, cultivation risk

Summary: With regard to climate change, the cultivation of silver fir on presently cooler sites in Bavaria with a mean annual temperature below 7.5° C is a low risk alternative to cultivation of the more vulnerable Norway spruce. Grand fir is a species with specific climatic requirements and climate change is causing a shift in site suitability for its establishment. As a result, cultivation of this species is considered risky. Neither silver nor grand fir is adapted to a warm climate with dry summers which is predicted for large areas of Bavaria due to climate change.

Weißtanne und Küstentanne – Herkunftsfragen und weitere genetische Aspekte

Monika Konnert und Randolph Schirmer

Schlüsselwörter: Weißtanne (*Abies alba*), Küstentanne (*Abies grandis*), genetische Variation, Provenienzversuche, Herkünfte im Klimawandel

Zusammenfassung: Die Weißtanne ist eine Baumart mit einer ausgeprägten kleinräumigen genetischen Differenzierung. Diese ist unter anderem eine Folge ihrer nacheiszeitlichen Rückwanderungsgeschichte. Die genetische Differenzierung der Weißtannenpopulationen in Bayern liegt bei sechs Prozent und ist damit dreimal größer als die der Buche. Die großen genetischen Unterschiede zeigen sich auch in den Provenienzversuchen. Die höchste Wuchsleistung auf bayerischen Flächen bei gleichzeitig geringen Ausfällen zeigen Herkünfte aus den Karpaten (Rumänien, Slowakei) und aus Südwestdeutschland. Herkünfte aus West- und Südeuropa hingegen wachsen schwächer und sind frostgefährdet. Im Klimawandel könnten auch „Trockentannen“ interessant werden. In Anbauversuchen wird deshalb geprüft, wie diese Ökotypen mit den Standortbedingungen in Bayern zurechtkommen. Transferversuche werden zeigen, wie sich bayerische Herkünfte in wärmeren Regionen verhalten. Auch bei der Küstentanne ist die Herkunftswahl für den wirtschaftlichen Erfolg entscheidend. Die in Deutschland wüchsigsten Herkünfte kommen aus West-Washington und Vancouver Island. In Bayern hat sich vor allem die Herkunft Elwha River (Olympic Halbinsel, Samenzone 221) bewährt. Nicht überzeugen konnten Küstenherkünfte aus Südoregon sowie Inlandsherkünfte.

Weißtanne (*Abies alba*)

Ein kurzer Blick zurück

Will man die heutige genetische Zusammensetzung der Waldbestände verstehen, muss man weit in die Vergangenheit zurückgehen. Im Wechsel zwischen langen Phasen der Kaltzeit von bis zu 100.000 Jahren und Warmzeiten von etwa 15.000 Jahren wurde auch die Tanne immer weiter nach Süden abgedrängt. Sie überlebte südlich der großen Gebirgsketten in räumlich weit voneinander entfernten Regionen, auf der Iberischen Halbinsel, in Südfrankreich, im Apennin und auf der Balkanhalbinsel. In den einzelnen Refugialgebieten bildeten sich unterschiedliche Genkollektive aus, die

keinen Kontakt untereinander hatten. Als es vor ungefähr 14.000 bis 12.000 Jahren wieder wärmer wurde, begann die Rückwanderung der Baumarten. Die sich von West nach Ost ausdehnenden Zentralalpen stellten dabei ein Hindernis dar, das umgangen werden musste. Aus Pollenfunden weiß man, dass die Tanne südlich der Alpen bereits um 8.000 v. Chr. eintraf, nördlich der Alpen aber erst zwischen 2.500 und 500 v. Chr. Die Kombination von Pollenfunden und genetischen Analysen ermöglichte es, die Rückwanderungsgeschichte der Weißtanne ziemlich genau nachzuzeichnen (Konnert und Bergmann 1995; Liepelt et al. 2006).

In das Alpen- und Voralpengebiet kam die Tanne aus ihren inselartigen Refugien im Apennin über den relativ kurzen „Allgäuweg“ (Rheingraben). Eine neuere Arbeit (Liepelt et al. 2006) geht davon aus, dass das Hauptrefugium nicht im Apennin, sondern in den französischen Seealpen lag und von dort die Wanderung südlich der Alpen begann. Unbestritten ist, dass die Tanne über den deutlich längeren „Ostalpenweg“ (Süd- und Ostrand der Alpen, Waldviertel) in die ostbayerischen Mittelgebirge, die Berchtesgadener Alpen und den Chiemgau zurückwanderte. Auf diesem Rückwanderungsweg war der Selektionsdruck größer, vor allem wegen der starken Konkurrenz der Buche, die in Ostbayern vor der Tanne eingetroffen war (Mayer 1984). Daraus folgte ein Verlust bestimmter Genotypen. Noch heute sieht man dies an den deutlich geringeren Diversitätswerten der Tannenpopulationen aus Ost- und Nordostbayern (z. B. Konnert 1993; Konnert und Hussendörfer 2004). Über den westlichen Rückwanderungsweg („Schweizer Jura-Weg“) kam die Tanne in die Vogesen und den Schwarzwald. Im Schwäbisch-Fränkischen Wald und den angrenzenden Regionen Mittelfrankens dürften sich die Ausläufer westlicher („Schweizer Jura-Weg“) und östlicher („Ostalpen-Weg“) Rückwanderungswege getroffen und eine „Introgressionszone“ gebildet haben. Die Refugien in den Pyrenäen, in Süditalien (Kalabrien) und auf dem Balkan spielten für die Tanne in Süddeutschland keine Rolle.

Herkunft	AP-A1	AP-A3	6PGDH-B3	GOT-B3	MNR-B1	MNR-B2	PGM-B1
Pyrenäen	0	1	1	1	0	0	0
Kalabrien	0	1	1	0	0	1	1
Mittelitalien	0	1	0	1	1	0	0
Massif central	0	1	0	1	1	0	0
Französischer Jura	0	1	0	1	1	0	0
Vogesen	0	1	0	1	1	0	0
Schwarzwald	0	1	0	1	1	0	0
Südbayern	0	1	0	1	1	0	0
Thüringen	0	1	0	1	0	0	0
Böhmerwald	0	1	0	1	0	0	0
Zentralböhmen	0	1	0	0	0	0	0
Südost-Österreich	1	1	1	0	0	0	0
Sudeten	0	1	1	1	0	0	0
Mähren	0	1	1	1	0	0	0
Slowakische Karpaten	1	1	1	0	0	0	0
Beskidien	0	0	1	1	0	0	1
Rumänische Karpaten	1	0	1	0	0	1	1
Serbien	1	0	1	0	0	1	1
Mazedonien	1	0	1	0	0	1	1
Bulgarien	1	0	1	0	0	1	1

Tabelle 1: Unterschiedliche Genvarianten in Tannenpopulationen aus verschiedenen Regionen, 1 = Variante ist enthalten; 0 = Variante ist nicht enthalten (nach Konnert und Bergmann 1995)

Die Weißtanne – aus genetischer Sicht eine „besondere“ Baumart

Für die Weißtanne liegen zahlreiche Analysen zur genetischen Variation und Differenzierung im gesamten europäischen Verbreitungsgebiet vor (z. B. Bergmann et al. 1990; Breitenbach-Dorfer et al. 1992; Konnert 1993, 1996; Longauer 1992; Bergmann und Konnert 1995; Hussendörfer 1997; Konnert und Hussendörfer 2004). Sie zeigten, dass die Tanne im Vergleich zu anderen Baumarten einige „genetische Besonderheiten“ aufweist:

- Sie hat arealspezifische Genvarianten, das heißt, einzelne Genvarianten sind nur in bestimmten Regionen zu finden (Tabelle 1). Oft hängen diese Varianten mit den früheren Refugialgebieten zusammen. Solche Genvarianten sind für die Herkunftskontrolle wichtig. Aus ihrer An- bzw. Abwesenheit kann man Rückschlüsse auf die Herkunft des Vermehrungsgutes ziehen.
- Es gibt geographische Kline in den Häufigkeiten der Erbanlagen an mehreren Genorten, das heißt, die Häufigkeiten bestimmter Genvarianten nehmen mit der geographischen Länge und/oder Breite zu.

- Als Folge sind auch bei der genetischen Diversität der Populationen regionale Unterschiede zu beobachten. Beispielsweise nimmt innerhalb Süddeutschlands die genetische Diversität von West nach Ost und von Süd nach Nord ab.

Auch die Tannenpopulationen auf dem Gebiet Bayerns zeigen diese Eigenheiten. Die Häufigkeiten bestimmter Genvarianten wie IDH-B3 und LAP-A2 nehmen in West-Ost Richtung und in Süd-Nord Richtung ab. Die genetische Diversität und Heterozygotie (Grad der Gemischterbigkeit) sind in Südwestbayern viel höher als in den anderen Regionen. Die geringste Diversität haben die Tannenpopulationen in Nordostbayern (Frankenwald, Fichtelgebirge; Abbildung 1). Die mittleren genetischen Abstände zwischen bayerischen Tannenpopulationen liegen zwischen circa zwei und 20 Prozent. An einzelnen Genorten wurden aber auch Werte von bis zu 40 Prozent ermittelt. Abstandswerte über fünf Prozent, ermittelt mit Isoenzymmarkern, gelten als hoch und sind ein Indiz für ausgeprägte genetische Unterschiede zwischen den Populationen. Die Gesamtdifferenzierung

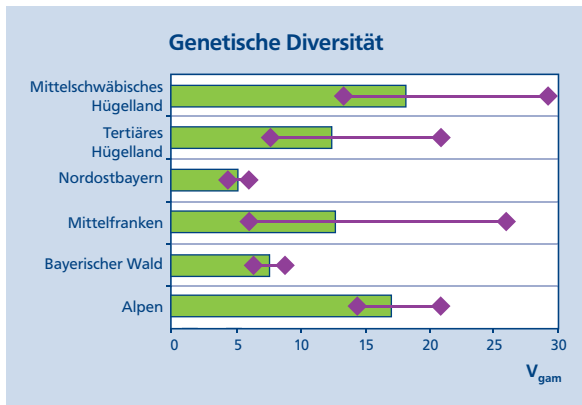


Abbildung 1: Genetische Diversität in Weißtannenpopulationen aus verschiedenen Regionen Bayerns (mittlere regionale Werte als Balken, Extremwerte sind mit Linien verbunden) (V_{gam} = genetische Diversität)



Abbildung 2: Lage der bayerischen Versuchsflächen im süddeutschen Tannen-Provenienzversuch

der Tannenpopulationen in Bayern liegt bei circa sechs Prozent, ein hoher Wert, der die genetische Heterogenität der Populationen bestätigt. Die genetische Differenzierung der Buchenpopulationen in Bayern liegt bei etwa zwei Prozent (Konnert 1995).

In den Hauptverbreitungsgebieten der Tanne – Alpen und Ostbayerische Mittelgebirge – ist die Differenzierung deutlich geringer als in den Gebieten mit sehr fragmentierten und in ihrem Umfang stark reduzierten Vorkommen wie in Mittelfranken und im Tertiären Hügelland. Hier veränderte menschliches Handeln das ursprüngliche genetische Muster wesentlich, ein klarer Zusammenhang zwischen geographischer Nähe und genetischer Ähnlichkeit ist nicht mehr zu erkennen. Die Diversität und der Grad der Gemischterbigkeit sind bei manchen Populationen mittel bis hoch, bei anderen nur gering. Die Unterschiede sind von Bestand zu Bestand beträchtlich.

Ergebnisse aus Provenienzversuchen – Folgerungen für den Anbau in Bayern

Provenienz- oder Herkunftsversuche sind ein wichtiges Instrument, um die phänotypische Reaktion von Provenienzen auf unterschiedliche Umweltbedingungen zu prüfen. Die phänotypische Antwort einer Herkunft auf verschiedenen Testflächen mit unterschiedlichen Bedingungen kann als simulierte Antwort auf sich ändernde Bedingungen angesehen werden. Gleichzeitig zeigen solche Versuche, wie groß die Anpassungsspanne (Plastizität) von Herkunft sein kann (Matyas und Nagy 2004; Matyas et al. 2010).

Als Mitte der 1970er Jahre an der einheimischen Weißtanne verstärkt Schäden auftraten, begannen Bayern und Baden-Württemberg einen gemeinsamen Versuch, um herauszufinden, wie Herkunft aus Gebieten mit geringen Waldschäden bei uns wachsen und ob sie eine Anbaualternative für die heimischen Herkunft darstellen. In den Jahren 1986 bis 1989 wurden 16 Versuchsflächen angelegt, davon elf in Bayern (Abbildung 2). Ausgewählt wurden Standorte, auf denen die Weißtanne auch natürlich vorkommt. Neben 42 süddeutschen Provenienzen umfasst der Versuch 17 europäische Herkunft aus dem gesamten Verbreitungsgebiet dieser Baumart (Wolf et al. 1994).

Die Pflanzen entwickelten sich auf den Flächen sehr unterschiedlich. Im nordöstlichen kontinentalen Klima in Bayern (Nordhalben, Tannesberg) und auf der höchstgelegenen Fläche in den Kalkalpen bei Füssen wuchsen sie am schwächsten, die Ausfälle waren vergleichsweise hoch. Demgegenüber gediehen die Pflanzen sehr gut auf der Fläche Tiengen im Südschwarzwald und auf den beiden Flächen im Flysch-Moränengebiet Bad Reichenhall und Traunstein. Flächen mit Frostgefährdung und nach Süden geneigte Hangflächen zeigten deutlich höhere Ausfälle als nach Norden oder Nordwesten geneigte Hänge, von denen Kaltluft problemlos abfließen kann (Ruetz et al. 1998). Die höchste Wachstumsleistung auf allen bayerischen Flächen bei gleichzeitig geringen Ausfällen (unter 15 Prozent) zeigen Herkunft aus Rumänien und der östlichen Slowakei (Abbildung 3).

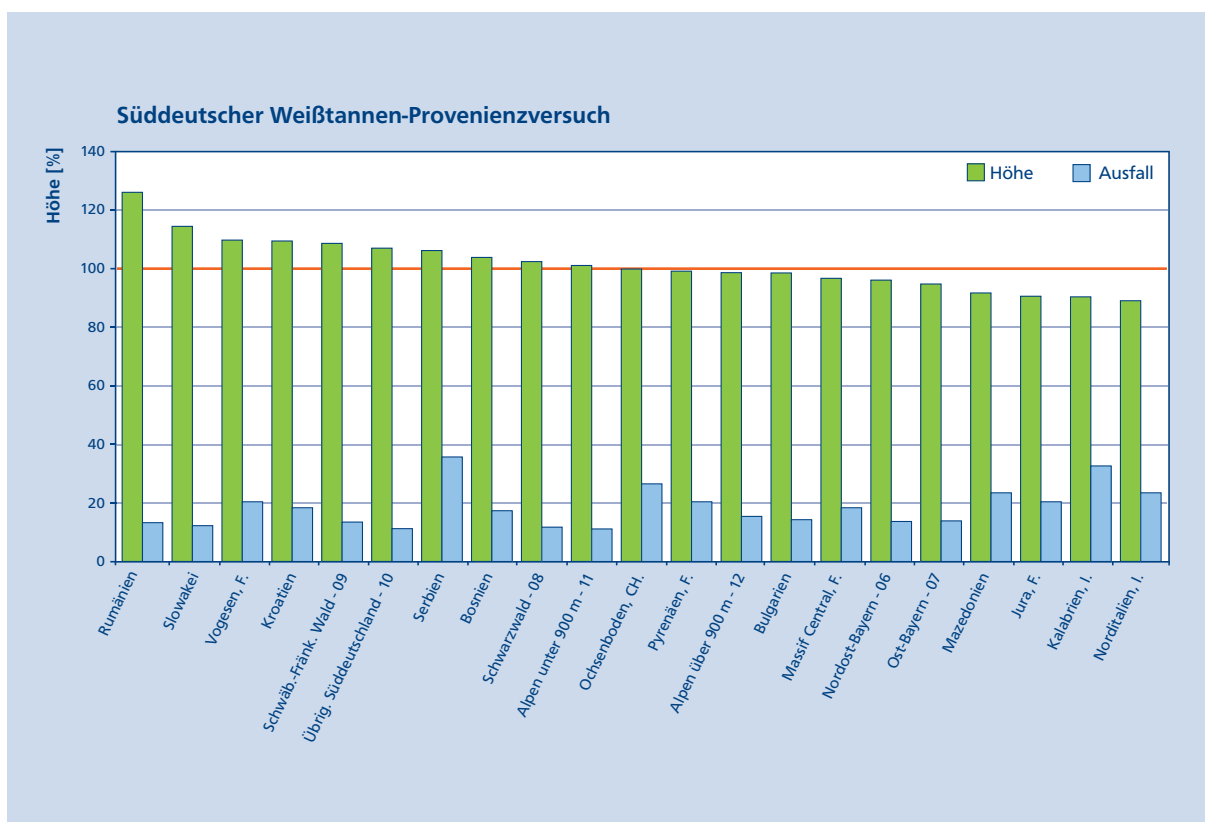


Abbildung 3: Ergebnisse des süddeutschen Weißtannen-Provenienzversuches über alle Flächen; angegeben sind das Ausfallprozent und die Höhe im Alter 20.

Ähnlich gut wachsen diese Herkünfte auch auf Flächen in Norddeutschland (Svolba 1994), der Schweiz (Comarmot 1984) und der ehemaligen Tschechoslowakei (Paule und Hynek 1994). Sie entstammen einem Refugium im östlichen Balkan (möglicherweise in den Südkarpaten oder in der Dobrudscha) und unterscheiden sich genetisch deutlich von den mitteleuropäischen Herkünften (Konnert und Bergmann 1995). Mit Genmarkern wurde eine hohe genetische Vielfalt nachgewiesen, die Herkunftsversuche belegen ihre hohe Plastizität. Die als Standard in die Versuche eingebrachte Alpenherkunft Siegsdorf erreicht in allen süddeutschen Versuchen guten Durchschnitt. Noch zufriedenstellende Wuchsleistungen zeigten Herkünfte aus den Vogesen, dem Schwarzwald, dem Schwäbisch-Fränkischen Wald und den Bayerischen Alpen.

Demgegenüber lagen die Herkünfte aus dem westlichen Frankreich, die italienischen Herkünfte einschließlich Kalabrien, die Herkünfte aus den ostbayerischen Mittelgebirgen und eine Herkunft aus Mazedonien in der Wuchsleistung unter dem Durchschnitt. Bei Herkünften aus Serbien und Kalabrien waren die Ausfälle vor allem auf Grund von Frostschä-

den hoch. Die Ausfälle der Kalabrischen Herkunft stiegen von 32 Prozent im Alter von elf Jahren auf 47 Prozent im Alter von 20 Jahren (Ruetz und Stimm 1994). Die Ergebnisse dieses Versuches werden bei den Herkunftsempfehlungen für forstliches Vermehrungsgut in Bayern berücksichtigt. Für den ostbayerischen Raum wurden Herkünfte aus der Ostslowakei bereits als Ersatzherkünfte zugelassen. Zurzeit wird auch eine Zulassung von Herkünften aus Rumänien geprüft. Voraussetzung dafür sind herkunftsgesicherte Ernten.

Provenienzen aus warmen und trockenen Regionen – eine Alternative im Klimawandel?

Im Klimawandel kommt es nicht nur auf die Wahl der richtigen Baumart an, sondern auch auf die Wahl der richtigen Herkunft (Konnert 2007). Die Tanne wird für weite Regionen Bayerns empfohlen (Kölling et al., in diesem Band). Allerdings ist bei dieser genetisch stark differenzierten und in einigen Regionen auch genetisch verarmten Baumart der Herkunftsfrage besonderes Augenmerk zu schenken. In diesem Zusammenhang sind Herkünfte aus wärmeren und trockeneren Regionen besonders interessant. Auf der Südseite der

Schweizer Alpen und in Südtirol existieren Weißtannen-Ökotypen, die auf der Alpen-Nordseite nicht vorkommen. Dazu gehören die Trockentannen im Wallis und im Vinschgau. Wie Hussendörfer (1997) zeigte, sind dies entwicklungsgeschichtliche Grenzvorkommen am Rande des trocken-subkontinentalen Alpeninneren. Sie konnten sich bis heute an Sonderstandorten (meist Schattseiten) reliktsch erhalten und zeichnen sich durch eine sehr hohe genetische Diversität aus.

In dem vorhin beschriebenen Herkunftsversuch ist auf den Flächen Bad Reichenhall und Nordhalben auch die Herkunft Ochsenboden aus dem Wallis vertreten. Auf der Bad Reichenhaller Fläche erreichte sie in der Wachstumsleistung mittleres Niveau. In Nordhalben war ihre Wachstumsleistung schwächer. Sie belegte dort nur Rang 21 von 26 Herkünften, war aber der einheimischen ostbayerischen Herkunft Zwiesel (Rang 26) noch immer überlegen. Ein Anbauversuch in Fichtelberg mit der Walliser Trockentanne (Abbildung 4) und der einheimischen Herkunft Rehau führte zum gleichen Ergebnis. Im Alter 20 war die Walliser Tanne der lokalen Herkunft in der Wüchsigkeit und Vitalität deutlich überlegen.

In einem weiteren Anbauversuch im Osinger Wald bei Laufen (Oberbayern) wächst die Walliser Trockentanne genauso gut wie die Alpenherkunft Siegsdorf. Sie kommt demnach mit den derzeit bei uns herrschenden Standorts- und Klimabedingungen gut zurecht. Da sie außerdem in ihrem Ursprungsgebiet an Wärme und Trockenheit gut angepasst ist, könnte sie bei der zu erwartenden Klimaerwärmung auch für Teile Bayerns interessant werden. In Kürze legt das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) weitere Anbauversuche in Unterfranken mit der Walliser Tanne sowie mit Tannen aus dem Vinschgau an, um zu sehen, ob sich die Trockentannen auch für diese Region eignen.

Demgegenüber begrenzt die fehlende Frostresistenz der kalabrischen Tanne den Anbau. Obwohl einige Bäume auf den Flächen des Provenienzversuches eine gute Wachstumsleistung gezeigt haben, sind die Ausfälle auf Grund von Frost ein Ausschlusskriterium für den Anbau dieser Herkunft in Bayern und im Alpenraum. Auch wenn sich das Klima langsam erwärmt, ist weiterhin mit einzelnen Frostereignissen zu rechnen.

Der Transfer der heimischen Herkünfte in wärmere und trockenere Gebiete kann die erwartete Klimaänderung quasi »vorwegnehmen« und erlaubt, zu erforschen, ob sich Herkünfte aus Bayern an die neuen Bedingungen anpassen können oder nicht. Zurzeit wird dies im Rahmen des Versuchsanbaus bayerischer und bulgarischer Tannenherkünfte (Abbildung 5) in Bulgarien geprüft. Ein Parallelversuch in Bayern dient als Vergleichsstandard.



Abbildung 4: Walliser Trockentannen auf der Versuchsfäche in Fichtelberg (Foto: ASP)



Abbildung 5: Samenplantage der Weißtanne in Solnik/Bulgarien; Nachkommen dieser Plantage sind auch in dem Transferversuch Bayern-Bulgarien enthalten. (Foto: G. Huber)

Unabhängig von der Herkunftsfrage muss in Anbetracht des Klimawandels der genetischen Diversität große Aufmerksamkeit geschenkt werden. Nur genetisch variable Populationen können langfristig auf sich ändernde Bedingungen reagieren. Daher sollte in Gebieten wie z. B. im Frankenwald, Fichtelgebirge, teilweise auch in Mittel- und Unterfranken, in denen die genetische

sche Diversität der Tannenpopulationen stark eingengt ist, nicht nur auf die lokale Herkunft gesetzt, sondern Vermehrungsgut aus anderen Regionen eingebracht werden, um die genetische Vielfalt anzureichern. Dem tragen die Empfehlung von Tannenherkünften aus der Slowakei für Bayern bereits Rechnung.

Auch ist eine Naturverjüngung aus einzelnen oder wenigen Tannen nicht ratsam, selbst wenn die Verjüngung in den ersten Jahren sehr vital und wüchsig erscheint. Auf lange Sicht könnte sich dies negativ auswirken, weil die Anpassungsfähigkeit auf Grund fehlender genetischer Variabilität nicht in ausreichendem Maße gegeben ist.

Küstentanne (*Abies grandis*)

Die Küstentanne kommt natürlich im Nordwesten der USA und im südlichen British Columbia vor (siehe Abbildung S. 17 und Abbildung 6). Vom 51. bis zum 39. nördlichen Breitengrad wächst sie in zwei voneinander getrennten Teilgebieten. Ein Gebiet erstreckt sich entlang der Pazifikküste, ein weiteres im Inland östlich des Kaskadenkammes.

Innerhalb dieses standörtlich und klimatisch sehr heterogenen Gebietes haben sich unterschiedliche Provenienzen ausgebildet. Neben dem Standort beeinflusst die Wahl der geeigneten Herkunft ihre Leistungsfähigkeit maßgeblich. Dies zeigten Herkunftsversuche deutlich (z. B. Kulef und Socha 2005; Liesebach et al. 2008; Rau et al. 1991, 1998). In Bayern wurden 1980/1981 vier Versuchsflächen im Rahmen eines westdeutschen IUFRO-Versuchs (insgesamt 27 Versuchsstandorte mit 65 Herkünften) angelegt. Sie liegen in den Regionen Selb, Kronach, Zwiesel und Hammelburg (Tabelle 2). Wegen hoher Ausfälle auf Grund von Hallimasch in der Anwuchsphase wurde die Fläche Hammelburg nicht in die Auswertung des IUFRO-Versuchs einbezogen. Hallimaschbefall war auch auf Versuchsflächen in Öster-



Abbildung 6: Küstentanne und Douglasie im Bestand Suiattle River flats bei Darrington (Foto: M. Konnert)

reich zu beobachten (Liesebach et al. 2008). Zusätzliche Anbauten wurden im gleichen Zeitraum bei Freyung angelegt.

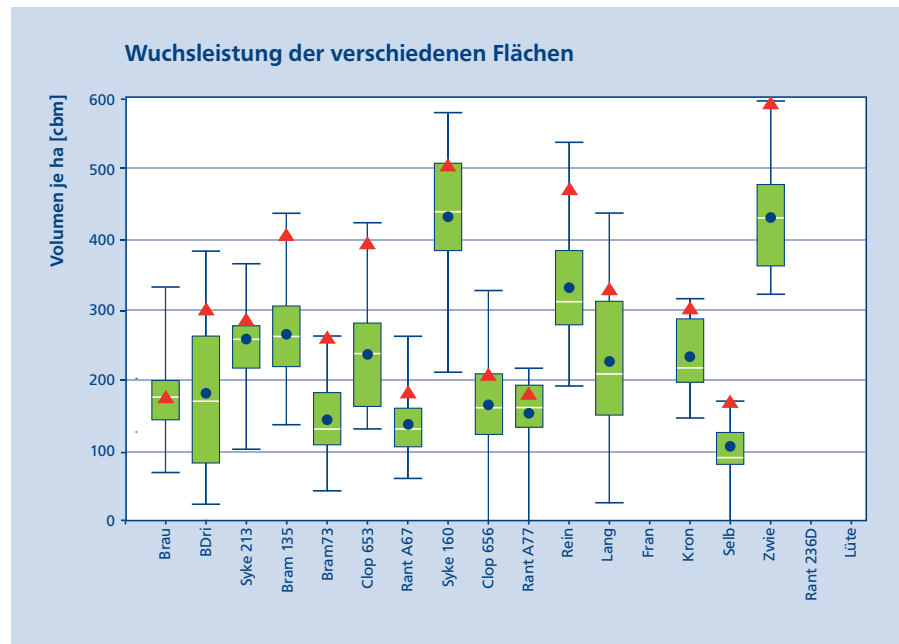
Bewertung der Herkünfte

Auf allen Versuchsflächen charakterisieren Geradschaftigkeit und sehr geringe Zwieselanteile die Küstentannen. Von allen Versuchsstandorten in westdeutschen Mittelgebirgslagen zeigte sich die Küstentanne auf der Fläche bei Zwiesel hinsichtlich Überlebensrate sowie Durchmesser- und Höhenzuwachs überdurchschnittlich gut. Die Versuchsentwicklung in Kronach lag im

Forstbetrieb	Waldort/Ort	Anlagejahr	Fläche [ha]	Höhenlage [m ü. NN]	Anzahl Herkünfte
NPV Bayerischer Wald (früher Forstamt Zwiesel)	Böhmweg/ Buchenau	1980	0,7	800	11
Rothenkirchen (früher Forstamt Kronach)	Kraußenhänge/ Wallenfels	1980	0,6	480	11
Selb	Brandfleck/ Thierstein	1980	0,4	560	9 (12)
Hammelburg (früher Forstamt Gemünden)	Krumbacher Wald/ Langenprozelten	1981	0,3	290	16

Tabelle 2: Übersicht der wichtigsten Provenienzversuche mit Küstentanne in Bayern

Abbildung 7: Wuchsleistung der Küstentanne auf Versuchsflächen in Deutschland; Flächen in Bayern: Kron = Kronach, Selb = Selb, Zwie = Zwiesel (nach Rau et al. 2008)



Mittelfeld, die Pflanzen bei Selb entwickelten sich hinsichtlich der genannten Parameter deutlich schlechter (Abbildung 7).

Die leistungsfähigsten Herkünfte kommen aus West-Washington und Vancouver Island (Rau et al. 2008). Für den Anbau in Bayern besonders gut eignet sich die Herkunft Indian Creek – Elwha River (Olympic Halbinsel, Washington Samenzone 221). Sie zeigte auf allen vier bayerischen Versuchsstandorten die beste Wuchsleistung. Das ASP hat daher 1995 mit Saatgut dieser Herkunft einen Saatgutreservebestand bei Glashütten (Forstbetrieb Pegnitz) angelegt. Die Herkunft Buck Creek (Darrington, Washington) erbrachte in den nord-bayerischen Mittelgebirgslagen um 500 Meter ü. NN sehr gute Leistungen. In höheren Lagen (Bayerischer Wald, 800 Meter ü. NN) lag sie nur im Mittelfeld. Abzuraten ist von Herkünften aus der Küstenregion von Süd-Oregon und von Inlandsherkünften. Sie überzeugen hinsichtlich Wuchsleistung und Qualität nicht. Mittels Isoenzymanalysen kann zwischen nördlichen Küstenherkünften (Washington/British Columbia) und Küstenherkünften aus Oregon unterschieden werden (Konnert und Ruetz 1997).

Literatur

- Bergmann, F.; Gregorius, H.-R.; Larsen, J.B. (1990): *Levels of genetic variation in European silver fir (Abies alba). Are they related to the species decline?* Genetica 82, S. 1–10
- Bergmann, F.; Konnert, M. (1995): *The geographical distribution of genetic variation of silver fir (Abies alba, Pinaceae) in relation to its migration history.* Pl. Syst. Evol. 196, S. 19–30
- Breitenbach-Dorfer, M.; Pinsker, W.; Hacker, R.; Müller, F. (1992): *Clone identification and clinal allozyme variation in populations of Abies alba (Mill.) from the Eastern Alps (Austria).* Pl. Syst. Evol. 181, S. 109–120
- Commarmot, B. (1994): *Internationaler Weißtannen-Herkunftsversuch: Entwicklung der Herkünfte bis zum Alter 12 auf der Versuchsfläche Bourrignon im Schweizer Jura.* In: Eder, W. (Hrsg): *Ergebnisse des 7. IUFRO-Tannensymposiums „Ökologie und Waldbau der Weißtanne“*, Mainz, S. 59–68
- Hussendörfer, E. (1997): *Untersuchungen über die genetische Variation der Weißtanne (Abies alba Mill.) unter dem Aspekt der in situ Erhaltung genetischer Ressourcen in der Schweiz.* Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen 83, 151 S.
- Konnert, M. (1993): *Untersuchungen über die genetische Variation der Weißtanne (Abies alba Mill.) in Bayern.* Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 164, S. 162–169
- Konnert, M. (1995): *Investigations on the Genetic Variation of Beech (Fagus sylvatica L.) in Bavaria.* Silvae Genetica 44, S. 346–351
- Konnert, M. (1996): *Genetische Variation der Weißtanne (Abies alba Mill.) in Bayern.* Mitteilungen der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Thüringen 11, S. 71–81

- Konnert, M.; Ruetz, W. F. (1997): *Genetic Variation among provenances of Abies grandis from the Pacific Northwest*. Forest Genetics (Arbora Publishers) 4, S. 77–84
- Konnert, M.; Hussendörfer, E. (2004): *Genetische Variation der Weißtanne in Bayern*. LWF Wissen 45, S. 30–32
- Konnert, M. (2007): *Bedeutung der Herkunft beim Klimawandel*. LWF aktuell 60, S. 38–39
- Kulef, M.; Socha, J. (2005): *Productivity of selected provenances of Grand fir in the provenance experiment in the Krynica experimental forest*. Electronic journal of Polish Agricultural University 8, 10 S.
- Liepert, S.; Cheddadi, R.; de Beaulieu, J.-L.; Fady, B.; Gömöry, D.; Hussendörfer, E.; Konnert, M.; Litt, T.; Longauer, R.; Terhürne-Berson, R.; Ziegenhagen, B. (2008): *Postglacial range expansion and its genetic imprints in Abies alba (Mill.) – A synthesis from palaeobotanic and genetic data*. Review of Palaeobotany and Palynology 153, S. 139–149
- Liesebach, M.; Schüler, S.; Weissenbacher, L. (2008): *Herkunftsversuche der Küstentanne (Abies grandis (D. Don) Lindl.) in Österreich – Eignung, Wuchsleistung und Variation*. Austrian Journal of Forest Science 3, S. 183–200
- Matyas, C.; Nagy, L. (2004): *Genetic potential of plastic response to climate change*. Tagungsbericht zur 11. Arbeitstagung des FORUMS Genetik – Wald – Forstwirtschaft vom 20. – 22. September 2004, Teisendorf, S. 55–69
- Matyas, C.; Nagy, L.; Uivary, J. E. (2010): *Genetic background of response of trees to aridification at the xeric forest limit and consequences for bioclimatic modelling*. Forstarchiv 81, Heft 4, S. 130–141
- Mayer, H. (1984): *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York
- Paule, L.; Hynek, V. (1994): *Die geographische Variation der Weißtanne (Abies alba Mill.) in Osteuropa auf Grund tschechoslowakischer Herkunftsversuche*. In: Wolf, H. (Hrsg.) (1994): *Weißtannenherkünfte – Neue Resultate zur Provenienzforschung bei Abies alba Mill.* Contributions Biologiae Arborum, Band 5, ecomed Verlag, Landsberg/Lech, S. 141–150
- Rau, H. M.; Weisgerber, H.; Kleinschmit, J.; Svolba, J.; Dimpfleier, R.; Ruetz, W. (1991): *Vorläufige Erfahrungen mit Küstentannen-Provenienzversuchen in Westdeutschland*. Forst und Holz 46, S. 245–249
- Rau, H. M.; Kleinschmit, J.; Ruetz, W.; König, A.; Svolba, J. (1998): *Provenienzversuche mit Küstentanne (Abies grandis Lindl.) in Westdeutschland*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 169, S. 109–115
- Rau, H. M.; König, A.; Ruetz, W.; Rumpf, H.; Schönfelder, E. (2008): *Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27*. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 4, 62 S.
- Ruetz, W. F.; Stimm, B. (1994): *Der Süddeutsche Weißtannen-Provenienzversuch. IV. Entwicklung der Herkunft der Aussaat 1982 auf den Versuchsflächen in Bayern bis zum Alter von 12 Jahren*. In: Eder, W. (Hrsg.): *Ergebnisse des 7. IUFRO-Weißtannensymposiums: „Ökologie und Waldbau der Weißtanne“*, Mainz, S. 17–29
- Ruetz, W. F.; Franke, A.; Stimm, B. (1998): *Der Süddeutsche Weißtannen-Provenienzversuch (Abies alba Mill.), Jugendentwicklung auf den Versuchsflächen*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 169, S. 116–126
- Svolba, J. (1994): *Weißtannenversuch (Abies alba Mill.) in Norddeutschland*. In: Eder, W. (Hrsg.): *Ergebnisse des 7. IUFRO-Weißtannensymposiums: „Ökologie und Waldbau der Weißtanne“*, Mainz, S. 17–29
- Wolf, H.; Ruetz, W. F.; Franke, A. (1994): *Der Süddeutsche Weißtannenprovenienzversuch: Ergebnisse der Baumschulphase und Anlage der Versuchsflächen*. In: Wolf, H. (Hrsg.) (1994): *Weißtannenherkünfte – Neue Resultate zur Provenienzforschung bei Abies alba Mill.* Contributions Biologiae Arborum, Band 5, ecomed Verlag, Landsberg/Lech, S. 107–130

Key words: Silver fir (*Abies alba*), Grand fir (*Abies grandis*), genetic variation, provenance trials, provenances under climate change

Summary: As a result of migration history after the last ice age *Abies alba* shows high genetic differentiation even at microgeographic scale. As an example, the genetic differentiation between *Abies alba* populations in Bavaria attains 6 % and is thereby three times higher than for beech populations. The great genetic differences are illustrated also by provenance trials. The best growing provenances were from the Carpathians (Romania, Slovakia) and also from Southwestern Germany. These provenances also had the lowest mortality. Provenances from Western and Southern Europe grew slowest and had high mortality due to frost damages. Under climate change the importance of the so called „dry fir“ will increase. Some of these dry ecotypes are actually tested in the field. At the same time the adaptive potential of Bavarian provenances is tested by transferring them to warmer regions.

For a successful cultivation of *Abies grandis* provenance choice is crucial. Provenances from West Washington and Vancouver Island, British Columbia performed best. In Bavaria the provenance Elwha River (Olympic Peninsula seed zone 221) grow best on every test site. In contrast coastal provenances from South Oregon and interior provenances are not suitable for Bavaria.

Von Donnerbüschen, Rüsslern, Saurem Regen und Rehen – zur Waldschutzsituation der Weißtanne

Ralf Petercord

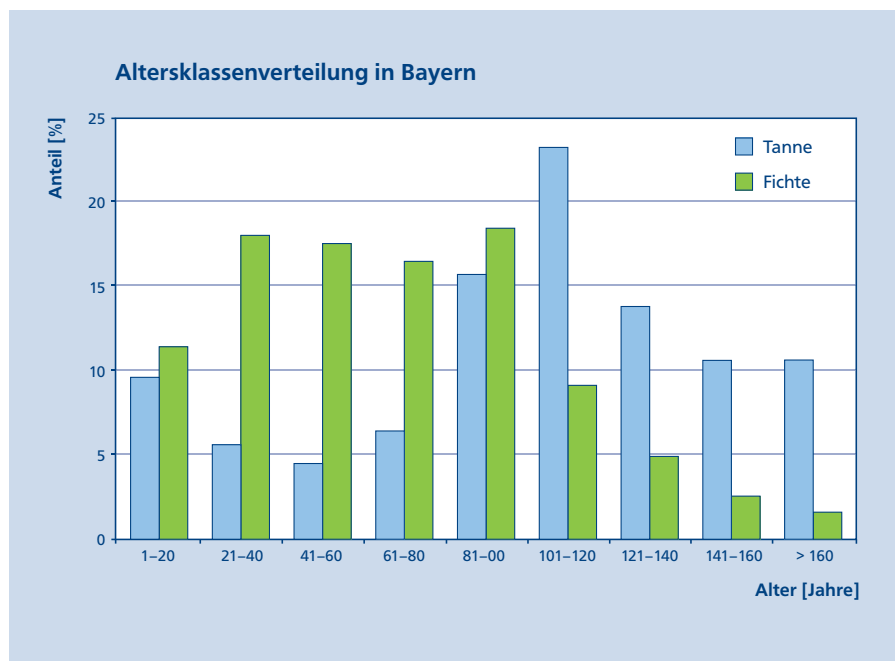
Schlüsselwörter: Weißtanne, Waldschutzrisiken, Tannensterben, Verbiss, Insekten, Pilze

Zusammenfassung: In den vergangenen 20 Jahren unterlag die Weißtanne einem starken Meinungswandel. Hatte man sie forstlicherseits in den Jahren des Waldsterbens nahezu aufgegeben, entwickelte sie sich mit dem zunehmenden Wissen um die Auswirkungen des Klimawandels zu einem Hoffnungsträger des klimastabilen Waldumbaus. Dabei wird allzu leicht vergessen, dass sich das biotische Waldschutzrisiko nicht verändert hat. Der Waldumbau kann nur dann gelingen, wenn dies berücksichtigt und angemessen darauf reagiert wird.

Die Weißtanne gehört unbestritten zu den fünf Hauptbaumarten der deutschen Forstwirtschaft, so lernt es zumindest jeder Forststudent. Diese Zuordnung beruht aber im Wesentlichen auf ihrer Bedeutung in der Vergangenheit bzw. in der potentiell natürlichen Vegetation (pnV), da ihr Anteil an der Waldfläche bundesweit bereits geringer ist als der von Lärche oder Douglasie (BWI²). Die Weißtanne ist die Baumart mit den höchst-

ten Verlusten am Waldflächenanteil im vergangenen Jahrhundert. In Bayern nimmt sie derzeit einen Waldflächenanteil von insgesamt zwei Prozent (BWI²) ein, ihr Anteil an der natürlichen Waldbestockung würde dagegen acht bis 15 Prozent betragen (Kölling et al. 2004). Kam sie in den westlichen Landesteilen Bayerns bereits um 1900 kaum noch vor, verlor sie im Laufe des 20. Jahrhunderts auch in den vier östlichen Regierungsbezirken erheblich an Fläche (Seitschek 1981; Borchert 2007). Massivste Verluste waren in Oberfranken zu verzeichnen, der Tannenanteil sank z.B. im Frankenwald von 25 Prozent im Jahr 1934 auf aktuell 0,88 Prozent (Schmidt 2004). Die unbestreitbaren Erfolge der modernen, nachhaltigen Forstwirtschaft, wie sie in Deutschland seit über 200 Jahren betrieben wird, treffen auf die Weißtanne also nicht zu. Es ist nicht gelungen, diese Baumart trotz der verstärkten Bemühungen der vergangenen 20 Jahre nachhaltig zu bewirtschaften. Dies wird auch im Altersklassenaufbau nachdrücklich deutlich, 58 Prozent der Weißtannenbestände sind älter als 100 Jahre, 74 Prozent gar älter als 80 Jahre (Abbildung 1) (BWI²). Die Verjüngung in den Altbeständen ist, falls überhaupt vorhanden, häufig nicht gesichert.

Abbildung 1: Vergleich der Altersklassenverteilung von Fichte und Tanne in Bayern



Der Rückgang der Weißtanne ist im Wesentlichen anthropogen bedingt. Er ist direkt auf die Bevorzugung anderer Baumarten, speziell der Fichte, sowie für die Tanne ungünstiger Bewirtschaftungsformen und indirekt auf die Überhege von Schalenwildbeständen zurückzuführen. Trotz teils spektakulärer Krankheitsercheinungen wie dem „Tannensterben“ spielen abiotische und biotische Schadfaktoren kaum eine Rolle, es sei denn eine psychologische bei der Baumartenwahl (Elling et al. 2007). Karl Gayer schrieb 1898: *„Die Tanne ist der Fichte gegenüber in Hinsicht der ihr drohenden Gefahren sehr begünstigt. Hat sie die Frostgefahr in der ersten Jugend überstanden, und ist sie hier vom Zahne des Wildes verschont geblieben, dann ist ihre weitere Existenz nur wenig bedroht.“* Diese Einschätzung hat heute, dank der Anstrengungen zur Reduktion der Schwefeldioxid-Immissionen in den 1980er Jahren, wieder ihre Berechtigung. Dennoch ist das Wissen um die Waldschuttsrisiken der Weißtanne, gerade im Hinblick auf den Klimawandel und die Bedeutung der Tanne als vergleichsweise klimastabile Baumart, entscheidend für einen erfolgreichen Waldumbau.

Die Komplexkrankheit „Tannensterben“

„Alle kaputt“ titelte „Der Spiegel“ 1980 und berichtete über eine „rätselhafte Krankheit“ der Tanne, „die vermutlich durch luftverfrachtete Industrieabgase verursacht wird“. Dies war der eigentliche Auftakt zum Waldsterben (Abbildung 2), auch wenn es noch etwa ein Jahr unter dem Begriff „Tannensterben“ firmierte.

Der Begriff des Tannensterbens war jedoch bereits sehr viel älter (Neger 1908). Erste Meldungen über ein „Tannensterben“ kamen zu Beginn des 19. Jahrhunderts aus Westböhmen. In den vergangenen 200 Jahren tauchte der Begriff dann immer wieder in der Literatur auf und wurde dabei uneinheitlich verwendet (Brandl 1985). Daraus resultierten ein scheinbar periodisches Auftreten der Krankheit (Krehan 1989) und wegen vermeintlich örtlicher Befallsunterschiede auch vielfältige Erklärungsversuche der Krankheitsursache (Schütt 1977; Seitschek 1981; Blaschke 1981, 1982; Larsen 1986). Schließlich wurde das Tannensterben als Komplexkrankheit, an der mehrere Schadfaktoren beteiligt sind, angesehen (Krehan 1989). Diese Einschätzung spiegelt sich in der Definition des Duden-Universalwörterbuches (2006) wider, nach der das Tannensterben ein „durch Verschmutzung der Luft und an Trieben und Nadeln saugende Schädlinge verursachtes, periodisch auftretendes Absterben von Weißtannen“ ist.



Abbildung 2: Der Spiegel 1981: Titelbild zum Waldsterben

Definiert man das Tannensterben jedoch als überregional auftretende Krankheit ohne erkennbare, eindeutige Krankheitsursache und berücksichtigt die Verbesserung der Vitalität der Tanne nach der Verminderung der Schwefeldioxid-Immissionen, wird deutlich, dass in diesen ein Schlüsselfaktor der Krankheitsentstehung zu sehen ist. Elling et al. (2007) stellen daher klar, dass Schwefeldioxid-Immissionen die zentrale Ursache des Tannensterbens sind und weitere Stressoren den Krankheitsverlauf nur verstärken. Die hohe Empfindlichkeit der Tanne gegen Schwefeldioxid ist genetisch bedingt und auf einen Verlust an genetischer Variation in der Refugialpopulation vor oder während der Rückwanderung nach der letzten Eiszeit zurückzuführen (Larsen 1986). Zur charakteristischen Symptomatik dieser Erkrankung, und nur bei dieser sollte der Begriff „Tannensterben“ verwendet werden, zählen (Krehan 1989; Elling et al. 2007):

- Kronenverlichtung von unten nach oben und von innen nach außen
- Frühzeitige Ausformung einer Storchennestkrone
- Ausbildung eines pathologischen Nasskerns
- Reduzierung und Deformation des Wurzelkörpers (vor allem der Feinwurzeln)
- Rückgang der Jahrringbreiten bzw. Jahrringausfälle.

Sturmgefährdung

Die retrospektive Auswertung der Sturmereignisse „Vivian“ und „Wiebke“ (Februar/März 1990) zeigte, dass das Sturmschadensrisiko der Weißtanne annähernd dem der Buche entspricht. Es ist damit etwa fünfmal niedriger als das der Fichte und nur halb so hoch wie das der Lärche bzw. der Kiefer (König et al. 1995). Die Weißtanne ist damit die sturmsicherste der wirtschaftlich bedeutenden, einheimischen Nadelbaumarten. Ursächlich für diese positive Eigenschaft ist ihr Wurzelsystem. Charakteristisch für die Weißtanne ist die Ausbildung eines Pfahlwurzelsystems. Ist dieses Wurzelsystem intakt, wird die Weißtanne nicht geworfen, sondern gebrochen; dies setzt deutlich höhere Windgeschwindigkeiten voraus.

Elling (2008, mündliche Mitteilung) vermutete, dass in der Phase des Tannensterbens ein sekundärer Hallimaschbefall die Pfahlwurzeln einzelner Altannen schädigte. Auf Wurzelschäden durch Phytophthora im Zusammenhang mit dem Tannensterben machte bereits Blaschke (1981, 1982) aufmerksam. Betroffene Bäume können den Verlust der Pfahlwurzel und die damit verbundene geringere Standsicherheit trotz Revitalisierung nur bedingt ausgleichen, in Altbeständen kann daher das Sturmwurfisiko erhöht sein. Vermutlich besteht ein standörtlicher Zusammenhang, der allerdings bisher nicht überprüft wurde.

Frostgefährdung

Die Weißtanne ist in besonderem Maße spätfrostgefährdet (Ellenberg 1986). Spätfrostereignisse sind in der Regel auf Strahlungsfrost zurückzuführen und stellen damit für Jungpflanzen unter zwei Metern Höhe ein besonderes Risiko dar. In spätfrostgefährdeten Lagen sind junge Tannen daher zwingend auf einen schützenden Altholzschirm angewiesen, der diese Gefahr effektiv verringert. Wird die Tanne im Rahmen des Waldumbaus vorangebaut, muss die Stabilität des Altholzschirms daher gewährleistet sein (Lemme et al. 2010).

Schalenwild und Mäuse

Die Weißtanne ist ausgesprochen schattentolerant. Ihre Verjüngung ist bei entsprechenden Standortbedingungen daher eigentlich waldbaulich unproblematisch. Trotzdem gelingt die Verjüngung, ja selbst die Pflanzung in der Regel nicht, sofern nicht aufwendige Schutzmaßnahmen gegen Wildverbiss ergriffen werden (Abbildung 3).

Das Schalenwild bevorzugt die Tanne als Nahrungspflanze, z. B. gegenüber der Fichte, da sie über einen vergleichsweise hohen Nährstoffgehalt (insbesondere Stickstoff und Calcium) bei gleichzeitig geringen Gehalten die Verdauung behindernder, sekundärer Inhaltsstoffe (Lignin, Harz, u. a.) verfügt. Dieser bevorzugte Verbiss kann zu einer Entmischung der Verjüngung auf Kosten der Tanne bis hin zum vollständigen Ausfall der Baumart führen (Ruegg und Schwitter 2002). Senn et al. (2007) zeigten, dass die Verbissintensität an Pflanzen von 10 bis 130 Zentimetern Höhe signifikant mit der Populationsdichte des Schalenwildes ansteigt. Im Ergebnis führt dieses „Waldsterben von unten“ (SDW 2008) zu einer problematischen Gefährdung der Baumart, die sich insbesondere im Schutzwald katastrophal



Abbildung 3: Ersatztriebbildung bei einer mehrfach verblissenen Weißtanne (Foto: R. v. Beek)

auswirken kann. Neben dem Verbiss durch Schalenwild sind auch Mäuseschäden an Tannensämlingen (Pflanzenhöhe unter 10 cm) von Bedeutung. Auch hier gibt es eine signifikant positive Korrelation zwischen Verbissintensität und Populationsdichte, die sich negativ auf die Tannenverjüngung auswirkt (Senn et al. 2007). Allerdings unterliegt die Populationsdichte der Mäuse einer hohen natürlichen Schwankung, spürbare Schäden bleiben daher auf einzelne Jahre mit hoher Populationsdichte beschränkt.

Insekten

Müller und Gossner (2004) betonen die tierökologische Bedeutung der Weißtanne im Hinblick auf ihre weite ökologische Amplitude, die es Tierarten mit der Präferenz für Nadelbäume ermöglicht, in unterschiedlichsten Waldgesellschaften zu leben. Dennoch gilt die Weißtanne im Vergleich zu anderen Baumarten als relativ artenarm (Bücking 1998), auch wenn neuere Arbeiten, die die Kronenfauna mit berücksichtigen, diese Auffassung relativieren (Gauderer et al. 2006). In der forstlichen Praxis gilt die Weißtanne im Hinblick auf Schäden durch Insekten als vergleichsweise unproblematisch. Tatsächlich ist die Zahl potentiell schädlicher Forstinsekten an der Weißtanne überschaubar, diese können aber unter bestimmten Bedingungen gravierende Schäden verursachen. Von besonderer Bedeutung sind die Tannentriebläuse, die Tannenstammlaus, verschiedene Borkenkäferarten, der Tannenrüsselkäfer sowie die holzbrütenden Lagerholzschädlinge.

Tannentriebläuse

Die Tannentriebläuse der Gattung *Dreyfusia* wurden ab 1840 aus ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet, der Kaukasusregion, mit *Abies nordmanniana*-Pflanzen nach Mitteleuropa eingeschleppt. Zwei Arten werden unterschieden, die Einbrütige Tannentrieblaus (*Dreyfusia nordmannianae*) und die Zweibrütige Tannentrieblaus (*Dreyfusia merkeri*). Beide Arten durchlaufen im ursprünglichen Verbreitungsgebiet einen zweijährigen vollständigen Entwicklungszyklus, der aus mehreren Generationen besteht und einen Wirtspflanzenwechsel beinhaltet. Die geschlechtliche Fortpflanzung findet an der Orientfichte (*Picea orientalis*) als Primärwirt, die ungeschlechtliche Vermehrung an der Nordmannstanne (*Abies nordmanniana*) als Sekundärwirt statt. Dieser vollständige Zyklus wird in Mitteleuropa praktisch nicht beobachtet, da die Orientfichte in der Regel fehlt und die einheimische Fichte keinen adäquaten Ersatz darstellt. Vielmehr läuft ein einjähriger, ungeschlechtli-



Abbildung 4: Nadelsauger der Tannentrieblaus (*Dreyfusia nordmannianae*) an Maitrieb (Foto: R. Petercord)



Abbildung 5: Abgestorbener Terminaltrieb nach Befall durch die Tannentrieblaus (*Dreyfusia nordmannianae*) (Foto: R. Petercord)

cher Nebenzyklus auf der Weißtanne ab, die als neuer Sekundärwirt fungiert. Beide *Dreyfusia*-Arten bilden rinden- und nadelsaugende Formen aus, die sich als Phloemsauger aus den nährstofftransportierenden Leitungsbahnen ernähren.

Der Befall der Mainadeln (Abbildung 4) ist der für die Pflanzen schwerwiegendere, da die betroffenen Triebe bei hoher Populationsdichte absterben (Abbildung 5) und Jungtannen bei mehrjährigem Befall vom Gipfeltrieb her vollständig absterben können (Nierhaus-Wunderwald und Forster 1999).

Die Nadelsauger der Einbrütigen Tannentrieblaus bilden in der Vegetationszeit nur eine Generation aus. Die Zweibrütige Tannentrieblaus dagegen produziert im Spätsommer eine zweite Generation, damit erhöht sich die Populationsdichte deutlich (Schwerdtfeger 1981). Betroffen sind insbesondere Bäume der ersten Altersklasse, jedoch können Bäume aller Altersklassen befallen werden (Nierhaus-Wunderwald und Forster 1999). Bei älteren Bäumen ist der Befall auf Stamm (Rindensauger) und Wasserreiser (Nadelsauger) beschränkt. In der Regel liegt eine physiologische Disposition des Baumes für den Massenbefall durch die Läuse vor, häufig wird daher eine Zunahme des Befalls bei plötzlicher Freistellung vormals überschirmter Tannen beobachtet. Die Umstellung von Schatt- zu Lichtnadeln stellt für den Baum physiologischen Stress dar, den die Läuse bei dann verringerter pflanzlicher Abwehr ausnützen können. Charakteristisch für einen starken Trieblausbefall ist die Verkrümmung der Mainadeln nach innen, die beiden Wachsstreifen auf den Nadelunterseiten sind nicht mehr zu sehen (Abbildung 6). Der Stammbefall durch die Tannentriebläuse ist in der Regel unbedeutend, kann den betroffenen Baum jedoch für Sekundärbesiedler disponieren.

Tannenstammlaus

Die Tannenstammlaus (*Dreyfusia piceae*) (Abbildung 7) ist in Mitteleuropa vermutlich einheimisch.

Sie besiedelt ausschließlich die Rinde älterer Tannen und vermehrt sich über zwei bis drei ungeschlechtliche Generationen im Jahr. Eine geschlechtliche Vermehrung über Gallen findet nicht statt. Ein Primärwirt ist nicht bekannt. Der Befall der Tannenstammlaus ist vom Stammbefall (Rindensauger) der Tannentriebläuse praktisch nicht zu unterscheiden (Schwerdtfeger 1981).

Die Verlausung der Stämme durch die Tannenstammlaus oder die Tannentriebläuse führt zu starken Nährstoffverlusten und beeinflusst den Wasserhaushalt negativ, ist aber für den betroffenen Baum, insbesondere in höheren Altersklassen, in der Regel ungefährlich. Die Tannenstammlaus gilt daher nicht als bedeutendes Schadinsekt der Weißtanne (Schwerdtfeger 1981). Andererseits ist der Befall der Tannenstammlaus hinsichtlich einer möglichen Disposition für Sekundärbesiedler gleich zu bewerten mit dem Stammbefall der Tannentriebläuse. Die Stammverlausung ist ein Schlüsselfaktor für die Entstehung der Tannen-Rindennekrose (Feemers et al. 2005).



Abbildung 6: Charakteristisches Verkrümmen der Nadeln bei starkem Befall durch die Tannentrieblaus (*Dreyfusia nordmannianae*) (Foto: R. Petercord)



Abbildung 7: Starker Befall durch die Tannenstammlaus (*Dreyfusia piceae*) an einer circa 40-jährigen Tanne (Foto: R. Petercord)

Borkenkäfer der Weißtanne

An der Weißtanne finden sich, wie bei jeder anderen Baumart auch, rindenbrütende Borkenkäfer, die insbesondere nach Trockenstress-Ereignissen merkliche Schäden verursachen können. Die Borkenkäfer der Weißtanne sind aber weniger aggressiv als der Buchdrucker oder der Kupferstecher an der Fichte und be-



Abbildung 8: Gangsystem des Weißtannenrüsselkäfers (*Pissodes piceae*) (Foto: R. Petercord)

nötigen vorgeschädigte Bäume. Bei ausreichendem Brutraumangebot können die Arten an Weißtanne primär werden, dann entstehen Befallsnester, die aktive Waldschutzmaßnahmen erfordern. Analog zu den Borkenkäfern an der Fichte haben sich auch die Borkenkäfer der Tanne eingenischt. Je nach bevorzugter Rindendicke und Alter finden sich unterschiedliche Arten. An Altbäumen sieht man häufig einen Mischbefall, an dem verschiedene Arten je nach Spezialisierung beteiligt sind. Die wichtigste und bekannteste, gleichzeitig auch größte Borkenkäferart an der Weißtanne ist der Krummzähnlige Tannenborkenkäfer (*Pityokteines curvidens*). Charakteristisch ist sein Brutbild, es ähnelt einer Doppelklammer. Sie entsteht, weil zwei Weibchen vom selben Einbohrloch aus jeweils einen doppelarmigen Quergang als Muttergang anlegen. Die Rammelkammer ist in der Regel nicht zu sehen, da sie in der dickborkigen Rinde, die die Art bevorzugt, verborgen liegt. Seine Schwesterarten, der Westliche Tannenborkenkäfer (*Pityokteines spinidens*) und der Mittlere Tannenborkenkäfer (*Pityokteines vorontzovi*) sind an sternförmigen Brutsystemen zu erkennen. Beim Westlichen Tannenborkenkäfer sind sie in denselben Stammpartien zu finden wie beim Krummzähnligen Tannenborkenkäfer. Der Mittlere Tannenborkenkäfer bevorzugt dagegen die oberen, dünn- und glattrindigen Stammteile und Äste und kommt daher bei Alttannen nur im Kronenraum vor. Die Rammelkammer dieser Art ist vergleichsweise groß und gut zu erkennen (Nierhaus-Wunderwald 1995).

Alle drei Arten können witterungsabhängig mehrere Generationen im Jahr durchlaufen, in Höhenlagen unterhalb 800 Meter ü. NN in der Regel zwei. Geschwisterbruten sind möglich. Die Brutbilder der Geschwisterbruten weichen von den charakteristischen Brutbildern der ersten Eiablage ab und können die Erkennung der Art anhand der Brutbilder erschweren. Alle drei Arten legen die Puppenwiegen im Splint (Splintwiegen) an. Eine Bekämpfung mittels Entrindung der Stämme ist in diesem Entwicklungsstadium daher nicht mehr wirksam (Nierhaus-Wunderwald 1995).

Eine weitere Borkenkäferart an der Weißtanne ist der Kleine Tannenborkenkäfer (*Cryphalus piceae*). Er bevorzugt die dünne Rinde von Ästen und Zweigen im Kronenraum und besetzt damit an der Tanne die ökologische Nische, die der Kupferstecher bei der Fichte inne hat. Die Art kann daher auch in Dickungen und Stangenhölzern auftreten und Schäden verursachen. Auch diese Art kann primär werden und neigt zur Massenvermehrung. Das Brutbild des Kleinen Tannenborkenkäfers besteht aus einem unregelmäßigen platzartigen Muttergang, in dem die Eier haufenweise und nicht in extra Einischen abgelegt werden, sowie den strahlenförmig von diesem Muttergang ausgehenden Larvengängen. Der Kleine Tannenborkenkäfer durchläuft bei günstigen Witterungsbedingungen mindestens zwei Generationen pro Jahr und legt Geschwisterbruten an (Nierhaus-Wunderwald 1995).

Weißtannenrüsselkäfer

Der Weißtannenrüsselkäfer (*Pissodes piceae*) ist als Sekundärbesiedler ebenfalls auf vorgeschädigte Tannen angewiesen, besitzt aber wie die Borkenkäfer das Potential zur Massenvermehrung und kann daher primär werden. Die Art befällt insbesondere Stellen mit dickborkiger Rinde und ist daher häufig am unteren Stammabschnitt und nur bei stärkeren Alttannen bis hinauf in die Krone zu finden. Erstes Symptom eines Rüsselkäferbefalls sind Harztropfen an der Befallsstelle. Sie entstehen in Folge der Eiablage, zu der die Weibchen kleine Gruben in die Rinde nagen und jeweils zehn bis zwanzig Eier ablegen. Die Eigruben werden bevorzugt an Astquirlen, krebssigen oder verletzten Stellen angelegt. Ausgehend von diesen Eigruben fressen die Larven Gänge, die je nach Rindendicke vollständig in der Rinde oder den Splint schürfend verlaufen. Die Larvengänge sind bis zu 50 Zentimeter lang und fest mit Bohrmehl verstopft (Abbildung 8).

Sie enden in einer für alle *Pissodes*-Arten charakteristischen elliptischen Puppenwiege, die in den Splint abgesenkt und mit feinen Nagespänen ausgepolstert ist (Spanpolsterwiege) (Nierhaus-Wunderwald 1995).

Der Weißtannenrüsselkäfer besitzt eine hohe Vermehrungsfähigkeit, da die Alttiere über mehrere Jahre leben und während der gesamten Vegetationszeit Eier ablegen. Deshalb sind an einem Stamm alle Entwicklungsstadien parallel nebeneinander zu finden. Die Entwicklung dauert in der Regel ein Jahr, deshalb wird nur eine Generation durchlaufen. Bei günstigen Witterungsbedingungen und früher Eiablage kann aber eine zweite Generation angelegt werden. Die noch nicht vollständig entwickelten Tiere überwintern in den Brutsystemen im Stamm, die Adulten in der Nadelstreu (Nierhaus-Wunderwald 1995). Bereits wenige Brutsysteme können ausreichen, um einen befallenen Stamm zum Absterben zu bringen. Im Krankheitsverlauf der Tannen-Rindennekrose wird der Weißtannenrüssler häufig als Folgeschädling beobachtet (Feemers et al. 2005; John 2009).

Holzbrütende Arten

Zahlreiche Holzbrütende Arten können auch Weißtannenstämmen massiv entwerten. Dies lässt sich nur mit aktiven Waldschutzmaßnahmen vermeiden. Beispielsweise werden hier zwei mycetophage Arten beschrieben. Der Sägehörnige Werftkäfer (*Hylecoetus dermestoides*) ist ausgesprochen polyphag und befällt sowohl liegendes Laub- als auch Nadelholz. Die Larvengänge verlaufen mehr oder weniger radial und führen damit zu einer nahezu vollständigen Stammentwertung. Auffällig ist der starke Auswurf weißen Bohrmehls, den die Larve mittels eines charakteristischen Schwanzfortsatzes bewerkstelligt. Die Entwicklung dauert zwei bis drei Jahre, kann aber bei günstigen Bedingungen auch einjährig sein (Schwerdtfeger 1981).

Der Gestreifte Nutzholzborkenkäfer (*Trypodendron lineatum*) gehört zu den Holzbrütenden Borkenkäfern und ernährt sich wie der Werftkäfer von einem Ambrosia-Nährpilz, der an den Gangwänden des Brutsystems bzw. Larvenganges wächst. Charakteristisch für den Gestreiften Nadelnutzholzborkenkäfer ist das Brutsystem in Form einer einholmigen Leiter, das jeweils ein Weibchen dieser monogamen Art anlegt. Das Brutsystem besteht aus einer kurzen Eingangsröhre und gabelt sich dann in meist zwei Muttergänge auf. Diese Muttergänge stellen jeweils den „Holm“ der Leiter dar. Das Weibchen nagt in den Gangboden und die Gangdecke alternierend ein, in die es jeweils ein Ei ablegt. Die Larven erweitern diese Einrisse im Laufe ihrer Entwicklung zu kurzen Larvengängen, die letztlich

auch als Puppenwiegen dienen. Diese Larvengänge sind circa fünf Millimeter lang und verlaufen in Faserichtung, sie stellen die „Sprossen“ der Leiter dar. Die Muttergänge verlaufen mehr oder weniger radial, teilweise den Jahrringen folgend und reichen bis circa zehn Zentimeter tief ins Holz hinein. Die Elterntiere betreiben eine umfangreiche Brutpflege, indem sie den Nährpilz im Gangsystem während der Larvalentwicklung ihrer Nachkommen pflegen und für eine ausreichende Belüftung des Systems sorgen. Geschwisterbruten sind daher ausgeschlossen. Die vollständig entwickelten Jungkäfer verlassen das Brutsystem über das Einbohrloch und überwintern in der Bodenstreu (Schwerdtfeger 1981). Pro Jahr wird eine Generation durchlaufen (Schwerdtfeger 1981), es gibt allerdings Hinweise auf eine mögliche zweite Generation (Parini und Petercord 2006). Da die Art zu den Frühschwärmern zählt und Befall bereits Ende März beobachtet werden kann, sind entsprechende Waldschutzmaßnahmen sehr früh im Jahr notwendig.

Pilze

Eine Vielzahl von Pilzarten lebt an oder mit der Weißtanne. Als Krankheitserreger sind insbesondere die Nadelpilze sowie die Erreger von Wurzelfäulen von Bedeutung. In der Regel sind diese Krankheitserreger nicht auf die Weißtanne spezialisiert, sondern treten auch an verschiedenen anderen Arten der Gattung *Abies*, an anderen Nadelholzarten oder gar an Laubholzarten in Erscheinung.

Tannenkrebs

Eine der wichtigsten Tannenkrankheiten in Mitteleuropa ist der Tannenkrebs, den der Rostpilz *Melampsorella caryophyllacearum* verursacht. Die Krankheit ist nicht auf die Weißtanne beschränkt, sondern wird auch an anderen Tannenarten beobachtet. Charakteristisch sind je nach Befallsstelle Verdickungen (Krebs) an Zweigen, an der Stammachse selbst oder die Ausbildung eines Hexenbesens. Die Infektion erfolgt im Frühjahr über die jungen Nadeln. Der Pilz wächst von der Infektionsstelle in das Kambium und verursacht hier eine krebsartige Wucherung, die an Zweigen und Ästen unproblematisch ist, am Stamm aber zu einer dauerhaften Holzentwertung führt. Stämme mit entsprechendem Schadbild werden als „Rädertanne“ bezeichnet und können im Bereich der Krebswucherung über Rindenrisse leicht von holzzersetzenden Arten, z. B. dem Tannen-Feuerschwamm (*Phellinus hartigii*), befallen werden (Butin 1989; Metzger 2010).



Abbildung 9: „Donnerbusch“, ausgelöst von *Melampsorella caryophyllacearum*, dem Erreger des Tannenkrebses – charakteristisch ist die einjährige, kurze und gelb verfärbte Benadelung. (Foto: R. Petercord)

Der Hexenbesen oder Donnerbusch (Abbildung 9) entsteht, wenn es dem Pilz gelingt, in eine Knospe einzudringen und sie über Pflanzenhormone zu einem abnormalen Wachstum anzuregen.

Über die Jahre entsteht ein aufrecht wachsendes, reich verzweigtes „Bäumchen“, in dem der Pilz systemisch vorhanden ist und über dessen Nadeln er jährlich im Sommer Sporen abgibt. Der Hexenbesen trägt daher immer auch nur einen Nadeljahrgang. Hexenbesen können viele Jahre alt werden und eine beträchtliche Größe erreichen. Der Hexenbesen schädigt den Baum direkt nur in geringem Maße und beschränkt sich im Wesentlichen auf den Nährstoffentzug für seine Versorgung (Butin 1989; Metzger 2010). Allerdings befallen Tannentriebbläuse bevorzugt Hexenbesen. Auf Grund der veränderten Physiologie des Hexenbesens bauen sie an ihnen lokale Massenvermehrungen auf, die wiederum als Quellpopulationen fungieren können.

Melampsorella caryophyllacearum durchläuft einen obligaten Wirtswechsel mit Nelkengewächsen, insbesondere der Waldsternmiere (*Stellaria nemorum*), die damit die Hauptüberträgerin des Tannenkrebses ist. Eine Übertragung von Tanne zu Tanne ist ausgeschlossen. Zur Verminderung des Befallsdrucks sollten Tannen nicht in unmittelbarer Nähe zu Orten gepflanzt werden, an denen Nelkengewächse vorkommen, dies sind insbesondere Gräben, Waldstraßen und Rückegassen (Metzger 2010).

Tannen-Nadelbräune

Die Tannen-Nadelbräune (*Herpotrichia parasitica*) ist eine Krankheit der Jungbestände. Sie tritt in Naturverjüngungen, Kulturen und Dickungen auf, die ein feuchtes Innenklima kennzeichnet, typischerweise also in feuchten Lagen, bei zu großem Dichtstand oder dichter Überschirmung. Die Infektion erfolgt sowohl über Sporen als auch über ein Überwachsen des unter Knospenschuppen überwinterten Myzels auf die Nadeln. Befallen werden sowohl junge als auch alte Nadeln. Nachdem sie abgestorben und verbraunt sind, lösen sie sich vom Zweig, bleiben jedoch locker daran hängen, da sie mit dem Myzelfaden verbunden sind. Über waldbauliche Maßnahmen kann der Infektionsdruck reduziert werden (Butin 1996).

Tannen-Nadelrost

Der Rostpilz *Pucciniastrum epilobii* löst den Tannen-Nadelrost oder auch Tannen-Säulenrost aus. Die Art ist ebenso wie der Erreger des Tannenkrebses obligat wirtswechselnd (heterözisch). Die Hauptwirtspflanze, an der die geschlechtliche Vermehrung stattfindet, ist das Weidenröschen (*Epilobium* spp.). Auf seinen vorjährigen am Boden liegenden Blättern entwickeln sich im Frühjahr Basidiosporen, die die jungen Tannennadeln infizieren. Auf der Tanne als Nebenwirtspflanze entwickelt der Pilz seine ungeschlechtliche Form, die über charakteristische weiß-gelbe, stiftförmige Sporenlager, die sich auf der Unterseite infizierter Nadeln im Sommer ausbilden, Sporen (Aecidiosporen) abgeben (Abbildung 10).

Diese Sporen infizieren wiederum das Weidenröschen. Damit ist der Entwicklungszyklus geschlossen. Der Befall der Tanne ist in der Regel unproblematisch, nur bei hoher Infektionsrate kann sich der Trieb verformen oder gar absterben. Eine konsequente Entfernung des Weidenröschens kann den Entwicklungszyklus unterbrechen und auf diese Weise die Krankheit effektiv bekämpft werden (Butin 1996).

Tannennadel-Ritzenschorf

Der Tannennadel-Ritzenschorf (*Lirula nervisequia*) ist ein Schütteerreger der Weißtanne, der im gesamten Verbreitungsgebiet auftritt. Da ausschließlich ältere Nadeljahrgänge (zwei- bis dreijährig) und in der Regel nur einzelne Nadeln betroffen sind, ist der forstwirtschaftliche Schaden meist gering. Charakteristisch für den Pilz ist die Ausbildung schwarzer Längswülste auf der Oberseite der gelbverfärbten Nadeln im Frühjahr (Butin 1996).

Kabatina-Nadelbräune der Tanne

Die Kabatina-Nadelbräune (*Kabatina abietis*) tritt an verschiedenen Tannenarten auf (Abbildung 11). Charakteristisch ist eine klare Zonierung der befallenen Nadeln. Nadelbasis und Nadelspitze bleiben nach der Infektion noch lange grün und sind scharf von den rotbraunen, nekrotischen Bereichen abgegrenzt. Der Pilz wurde erst 1993 beschrieben und hat forstwirtschaftlich eine geringe Bedeutung, verursacht aber bei forstlichen Nebennutzungen (Schmuckgrün, Weihnachtsbäume) erhebliche finanzielle Schäden (Butin 1996).

Grauschimmelfäule

Die Grauschimmelfäule (*Botrytis cinerea*) ist eine weitverbreitete, wirtsunspezifische Art, die sowohl Laubbäume als auch Nadelbäume befallen kann. Überwiegend betroffen sind Douglasie, Tanne, Fichte und Lärche. Der Pilz befällt die Pflanzen in der Austriebsphase bei ausreichend hoher Luftfeuchtigkeit und eher niedrigen Temperaturen. Er bringt das junge, nicht verholzte Gewebe zum Absterben, die Maitriebe welken und hängen schlaff herab. Die Schäden können daher mit Spätfrostschäden verwechselt werden, allerdings tritt der Grauschimmel meist nur an einzelnen Trieben auf. Bei ausreichender Luftfeuchtigkeit entwickelt sich auf dem abgestorbenen Gewebe ein üppig wachsendes grau-braunes Luftmyzel. Die Schäden treten besonders in Saatbeeten, Kulturen und Dickungen auf und können zu erheblichen Ausfällen führen. Dichtstand fördert diese Schäden. Bei Altbäumen beschränkt sich der Schaden auf die Schattenkrone und ist nicht lebensbedrohlich (Butin 1996).



Abbildung 10: Starker Befall einer von Weidenröschchen umstandenen Tanne mit dem Tannen-Nadelrost (Foto: R. Petercord)



Abbildung 11: Kabatina-Nadelbräune der Tanne an Küstentanne (*Abies grandis*) (Foto: R. Petercord)

Hallimasch

Der Hallimasch (*Armillaria spp.*) ist der bedeutendste Erreger von Wurzelfäulen bei verschiedenen Laub- und Nadelholzarten. Es handelt sich um einen bodenbürtigen Pilz, der als Saprophyt eine wichtige Rolle bei der Zersetzung abgestorbenen Holzes spielt. Der Hallimasch ist ein klassischer Schwächeparasit, der in eine parasitische Form wechselt, wenn Stressfaktoren seine

Wirtspflanzen schwächen. Als Stressfaktoren kommen Pflanzschock, Schädlingsbefall, Staunässe, Wurzelverletzungen, Wasser- oder Nährstoffmangel in Frage. Der Pilz dringt über die Wurzel ein und breitet sich über das Kambium nach oben aus. Gelingt es dem Baum nicht, den Befall abzuwehren, erreicht der Pilz letztlich den Stamm. Sobald das Kambium stammumfassend besiedelt ist, stirbt der Baum ab. Besiedlung und Abwehrkampf können sich, abhängig von der individuellen Vitalität der Wirtspflanze, über Jahre hinziehen. Charakteristisch für den Hallimasch-Befall sind ein starker Harzfluß (Harzsticken), die Ausbildung eines Fächermyzels, die schnurähnlichen Rhizomorphen sowie die essbaren Fruchtkörper (Nierhaus-Wunderwald 1994; Butin 1996).

Tannen-Rindennekrose

In den vergangenen Jahren wurde über ein verstärktes Auftreten der Tannen-Rindennekrose in Baden-Württemberg berichtet (Schröter et al. 2010). In Bayern tritt die Krankheit ebenfalls auf, ist aber auf einzelne Bestände beschränkt. Die Tannen-Rindennekrose entspricht in ihrem Krankheitsverlauf der Buchen-Rindennekrose und kann als Komplexkrankheit, an der mehrere Schadfaktoren beteiligt sind, verstanden werden.



Abbildung 12: Massiver Mistelbefall (Foto: R. Petercord)

Die Tannen-Rindennekrose entsteht nach dem Befall durch die Tannenstammmlaus (*Dreyfusia piceae*) bzw. die Tannentriebläuse (*Dreyfusia nordmannianae*; *D. merkeri*), wenn der Rindenpilz *Nectria fuckeliana* als sekundärer Schadorganismus in die Rinde eindringt und letale Schäden am Kambium verursacht. Massenvermehrungen der Tannenstammmlaus bzw. der Tannentriebläuse, die als Voraussetzung für die Komplexkrankheit angesehen werden müssen, entstehen bei physiologischem Stress der Pflanzen, der vielfältige Ursachen (z. B. Trockenstress infolge von Niederschlagsdefiziten oder Durchforstungsrückständen) haben kann. Den Läusen öffnet sich ein „physiologisches Fenster“ günstiger Ernährungsbedingungen auf Einzelbaum- bis Bestandesebene. Die Einstichkanäle der phloemsaugenden Rindenlaus dienen dem Pilz dann als „Eintrittspforte“. *Nectria fuckeliana* kann intakte Rinde nicht aus eigener Kraft infizieren, sondern benötigt deren Disposition auf Grund des Lausbefalls. Der Pilz, der ansonsten als Saprophyt auf der Rinde lebt, wird nach dem Eindringen in die Rinde zum Parasiten, der dazu befähigt ist, das Kambium am Befallsort abzutöten, Kambiumnekrosen entstehen. Starker, flächiger Harzfluß kennzeichnet den Krankheitsverlauf. Letztlich kann das „Zusammenfließen“ der Kambiumnekrosen zum Absterben erkrankter Bäume führen (Feemers et al. 2005). Präventive waldbauliche Maßnahmen können dem Auftreten der Erkrankung entgegenwirken.

Daneben ist ein Sekundärbefall durch den Weißtannenrüssler (*Pissodes piceae*) bzw. die verschiedenen Tannenborkenkäferarten (*Pityokteines* spp.) möglich. Sie beschleunigen den Krankheitsverlauf maßgeblich und können Massenvermehrungen durchlaufen, die auch schwach geschädigte Tannen treffen. Dem sekundären Insektenbefall lässt sich nur mit Maßnahmen der „Sauberen Waldwirtschaft“ entgegenwirken (John 2009).

Tannenmistel

In den vergangenen Jahren ist eine Zunahme des Befalls von Weißtannen mit der Tannenmistel festzustellen (Abbildung 12) (Schmidt und Mayer 2004).

Die Tannenmistel (*Viscum album* ssp. *abietis*) ist eine Unterart der Gemeinen Mistel und befällt ausschließlich die Weißtanne und andere Tannenarten. Die Tannenmistel ist immergrün und gehört zu den Halbschmarotzern, da sie ihren Nährstoffbedarf über die Photosynthese selbst deckt und ihrer Wirtspflanze Wasser und Mineralien entzieht. Dazu verwendet die Mistel Senker (Haustorien), die den Anschluss an das Xylem

der Wirtspflanze gewährleisten. Starker Mistelbefall kann die Wirtspflanze erheblich schwächen und sie für Sekundärbesiedler, insbesondere Borkenkäfer, disponieren (Butin 1989).

Die Küstentanne – eine risikoärmere Tanne?

Grundsätzlich können Insekten und Pilze an jeder Baumart Schäden verursachen. Dies gilt für einheimische ebenso wie für fremdländische Baumarten. Bei den fremdländischen Baumarten treten biotische Waldschutzprobleme meist verzögert auf. Gründe dafür sind die geringe Anbaufläche, die zunächst fehlende Anpassung einheimischer Schadorganismen an die neue Wirtspflanze sowie das Fehlen von Schadorganismen aus dem ursprünglichen Verbreitungsgebiet der Art. Gleichzeitig ist der Genpool der eingeführten Baumarten zunächst eingeschränkt und kann einheimischen Arten die Anpassung erleichtern.

Bekannteste Beispiele für Krankheiten, die den Anbau fremdländischer Baumarten ganz oder zumindest teilweise ad absurdum geführt haben, sind der Weymouthskiefer-Blasenrost (*Cronartium ribicola*) und die Rostige Douglasenschütte (*Rhabdocline pseudotsugae*). Der Anbau der Weymouthskiefer galt bis zum Auftreten des Weymouthskiefer-Blasenrostes in den 1930er Jahren in Mitteleuropa als forstlich besonders erfolgsversprechend und kam anschließend nahezu vollständig zum Erliegen. Auch der erst 1922 aus Nordamerika eingeschleppte Erreger der Rostigen Douglasenschütte, der in seiner Heimat als forstlich unbedeutend gilt, beendete den Anbau der *caesia*- und *glauca*-Formen der Douglasie („graue und blaue Douglasie“) in Europa. Beide Krankheiten traten erst Jahrhunderte (Weymouthskiefer) bzw. über 100 Jahre (Douglasie) nach Einführung der Baumarten nach Europa in Erscheinung.

Im ursprünglichen Verbreitungsgebiet der Großen Küstentanne kommen 16 Arten forstschädlicher Insekten und 27 Arten pilzlicher Krankheitserreger vor (Pacific Forestry Centre 2010). Das Waldschutzrisiko der Küstentanne ist damit im Vergleich zu anderen Nadelbaumarten Nordamerikas im Hinblick auf Insektenschäden leicht und auf ihre Anfälligkeit gegenüber pilzlichen Krankheitserregern deutlich erhöht.

In Mitteleuropa gibt es bisher kaum Erfahrungen mit Schadereignissen an der Küstentanne. Forstwirtschaftliche Versuchsanbauten mit der Großen Küstentanne existieren in Deutschland zwar bereits seit 1880. Auswertungen dieser Versuchsanbauten zielten im Wesentlichen aber auf die Wuchsleistung der Baumart ab und liefern keine gesicherten Erkenntnisse zur Abschätzung des biotischen Waldschutzrisikos. Ohne diese explizit zu prüfen, kommt Geb (2008) zu der Einschätzung: „Weder durch biotische noch durch abiotische Risikofaktoren ist die Küstentanne über ein Normalmaß hinaus gefährdet.“ In der Literatur wird jedoch auf eine erhöhte Anfälligkeit der Küstentanne gegenüber wurzelpathogenen Pilzen, insbesondere dem Hallimasch, hingewiesen. Entsprechendes wurde im westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuch beobachtet, in dem auf manchen Flächen wiederholt einzelne Küstentannen auf Grund von Hallimasch ausgefallen sind (Rau et al. 2008). Darüberhinaus wurden nach der extremen Trockenheit im Sommer 2003 Stammrisse festgestellt (Rau et al. 2008), die für holzersetzende Pilze Eintrittspforten darstellen könnten. Nimsch (2005) beobachtete in bis 70-jährigen Küstentannen-Beständen immer wieder erhebliche Ausfälle auf Grund von Hallimasch-Befall und lehnt daher den forstlichen Anbau der Küstentanne ab. Eine abschließende Bewertung des Waldschutzrisikos der Küstentanne ist noch zu früh.

Ausblick

Wie schwer es ist, das zukünftige biotische Waldschutzrisiko für die Weißtanne, die Küstentanne und andere Nadelholzarten in Mitteleuropa abzuschätzen, zeigen beispielhaft die Fütterungsversuche von Kirichenko et al. (2008, 2010). Sie analysierten die Nahrungsqualität verschiedener europäischer und nordamerikanischer Nadelholzarten für den Sibirischen Kiefernspinner (*Dendrolimus sibiricus*). Die Art kommt in Sibirien an Lärchen, Tannen, Kiefern und Fichten vor und gilt in Russland entsprechend ihrem großen Verbreitungsgebiet als die gefährlichste nadelfressende Schmetterlingsart. In den vergangenen Jahren wurde eine Ausdehnung ihres Verbreitungsgebietes nach Westen beobachtet (Gninenko und Orlinskii 2002). Deshalb nahm die European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) die Art in die Liste (A 2) der Quarantäne-Schädlinge auf (EPPO 2005). Kirichenko et al. (2008, 2010) zeigten, dass neben der Europäischen Lärche auch die Douglasie, die Atlaszeder, die Rotfichte, die Sitka-Fichte, die Weymouthskiefer, die Waldkiefer, die Kanadische Hemlocktanne, die Küstentanne und

auch die Weißtanne mit Überlebensraten von über 50 Prozent als potentielle Wirtsbaumarten des Sibirischen Kiefernspinners in Frage kommen.

Das Beispiel zeigt, dass Waldschutz kein statisches, sondern ein höchst dynamisches Arbeitsfeld ist und die Anforderungen an den Waldschutz auf Grund des Klimawandels und der zunehmenden Globalisierung, die auch eine Globalisierung der Arten zur Folge hat, stark zunehmen werden. Diesen Anforderungen kann der Waldschutz nur mit Hilfe eines breiten, auf fundierter wissenschaftlicher Arbeit gründenden Arten- und Methodenwissens begegnen.

Literatur

- Anonymus (1980): *Alle kaputt*. Der Spiegel, Nr. 37, S. 81–83
- Blaschke, H. (1981): *Schadbild und Ätiologie des Tannensterbens. II. Mykorrhizastatus und pathogene Vorgänge im Feinwurzelbereich als Symptome des Tannensterbens*. European Journal of Forest Pathology 11, S. 375–379
- Blaschke, H. (1982): *Schadbild und Ätiologie des Tannensterbens. III. Das Vorkommen einer Phytophthora-Fäule an Feinwurzeln der Weißtanne (Abies alba Mill.)*. European Journal of Forest Pathology 12, S. 232–238
- Borchert, H. (2007): *Veränderungen des Waldes in Bayern in den letzten 100 Jahren*. LWF Wissen 58, S. 42–49
- Brandl, H. (1985): *Zur Bedeutung bestandesgeschichtlicher Untersuchungen in der Forstgeschichte am Beispiel des „Tannensterbens“ im Schwarzwald*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 156, S. 142–146
- Bücking, W. (wiss. Koord.) (1998): *Faunistische Untersuchungen in Bannwäldern – Holzbewohnende Käfer, Laufkäfer und Vögel*. Mit Beiträgen von Bense, U.; Bräunicke, M.; Bücking, W.; Geis, K.-U.; Hanke, U.; Hohlfeld, F.; Kärcher, R.; Rietze, J.; Trautner J. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 203, 271 S.
- Butin, H. (1989): *Krankheiten der Wald- und Parkbäume*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 216 S.
- Dudenredaktion (Hrsg.) (2006): *Duden – Deutsches Universalwörterbuch*. 6. überarbeitete und erweiterte Auflage, Dudenverlag, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, 2.016 S.
- Ellenberg, H. (1986): *Die Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. 4. verbesserte Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart, 989 S.
- Elling, W.; Heber, U.; Polle, A.; Beese, F. (2007): *Schädigung von Waldökosystemen*. Elsevier Verlag GmbH, München, 422 S.
- Engesser, R.; Forster, B.; Odermatt, O. (2000): *Nicht alle Weißtannen wachsen in den Himmel*. Faktenblatt Weißtanne – 6. Gefährdungen. Wald und Holz 81, S. 51–54
- EPPO (2005): *Data sheets on quarantine pests: Dendrolimus sibiricus and Dendrolimus [sic] superans*. European and Mediterranean Plant Protection Organization. http://www.eppo.org/QUARANTINE/insects/Dendrolimus_sibiricus/DSDENDSI.pdf [Stand: Januar 2010]
- Feemers, M.; Blascke, M.; Lang, K. J. (2005): *Tannen-Rindennekrose – eine Komplexkrankheit an der Weißtanne*. AFZ/Der Wald 60, S. 178–179
- Geb, M. (2008): *Schlussbericht des BMBF-Projektes „Verwertungsorientierte Untersuchungen der Holzarten Fagus sylvatica (Buche) und Abies grandis (Küstentanne) aus nachhaltig bewirtschafteten Mischbeständen zur Herstellung innovativer und zukunftsfähiger Holzprodukte und -werkstoffe“, Teilprojekt I: „Verwendungsorientierte Managementstrategien für Buchen-Küstentannen-Mischbestände“*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, 33 S.
- Gninenko, Y.; Orlinskii, A. D. (2002): *Dendrolimus sibiricus in the coniferous forests of European Russia at the beginning of the twenty-first century*. OEPP/EPPO Bulletin 332, S. 481–483
- Gauderer, M.; Gruppe, A.; Gossner, M.; Müller, J.; Gerstmeier, R. (2006): *Vergleich der Kronenfauna von Tanne (Abies alba) und Fichte (Picea abies)*. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie 15, S. 113–116
- Gayer, K. (1898): *Der Waldbau*. 4. verbesserte Auflage, Paul Parey Verlag, Berlin, 626 S.
- John, R. (2009): *Empfehlungen zur Behandlung von durch Weißtannennüsselkäfer (Pissodes piceae) und Tannenstammläusen (Dreyfusia piceae) geschädigten Tannenbeständen*. FVA Waldschutz-Info 9, 9 S.
- Kirichenko, N. I.; Flament, J.; Baranchikov, Y.N.; Grégoire, J.-C. (2008): *Native and exotic coniferous species in Europe – possible host plants for the potentially invasive Siberian moth Dendrolimus sibiricus Tschtv. (Lepidoptera, Lasiocampidae)*. OEPP/EPPO Bulletin 38, S. 259–263
- Kirichenko, N.; Flament, J.; Baranchikov, Y.N.; Grégoire, J.-C. (2010): *Ability of the potentially invasive Siberian moth, Dendrolimus sibiricus (Lepidoptera: Lasiocampidae) to complete its life cycle on European and North American conifers: a trial on potted trees*. IUFRO workshop on Biotic Risks and Climate Change in Forests. Freiburg, 20.–23. September 2010, Vortrag
- Kölling, C.; Ewald, J.; Walentowski, H. (2004): *Lernen von der Natur: Die Tanne in den natürlichen Waldgesellschaften Bayerns*. LWF Wissen 45, S. 24–29
- König, A.; Mössmer, R.; Bäumler, A. (1995): *Waldbauliche Dokumentation der flächigen Sturmschäden des Frühjahres 1990 in Bayern und meteorologische Situation zur Schadenszeit*. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 2, 336 S.

- Krehan, H. (1989): *Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme*. FBVA-Berichte 39, Wien, 58 S.
- Larsen, J.B. (1986): *Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weißtanne (Abies alba Mill.)*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 105, S. 381–396
- Lemme, H.; Petercord, R.; Immler, T. (2010): *Waldschutzaspekte beim Voranbau*. AFZ/Der Wald 65, S. 8–9
- Metzler, B. (2010): *Tannenkrebs*. FVA Waldschutz-Info 1, 4 S.
- Müller, J.; Gossner, M. (2004): *Tierökologische Bedeutung der Weißtanne*. LWF Wissen 45, S. 74–77
- Neger, F.W. (1908): *Das Tannensterben in den sächsischen und anderen deutschen Mittelgebirgen*. Tharandter Forstliches Jahrbuch 58, S. 201–225
- Nierhaus-Wunderwald, D. (1994): *Die Hallimasch-Arten*. Wald und Holz 75, S. 8–14
- Nierhaus-Wunderwald, D. (1995): *Rindenbrütende Käfer an Weissanne*. Wald und Holz 76, S. 8–13
- Nierhaus-Wunderwald, D.; Forster, B. (1999): *Zunehmendes Auftreten der Gefährlichen Weissannentrieblaus*. Wald und Holz 80, S. 50–53
- Nimsch, H. (2005): *Erfahrungen mit Abies-Arten in Südwestdeutschland*. Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft, Band 90, S. 89–119
- Pacific Forestry Centre (2010): *Natural Resources Canada*. <http://www.nrcan-rncan.gc.ca>. [Stand: Januar 2010]
- Parini, C.; Petercord, R. (2006): *Der Laubnutzholzborkenkäfer (Trypodendron domesticum L.) als Schädling der Rotbuche*. Mitteilungen aus der FAWF Rheinland-Pfalz 59, S. 63–77
- Rau, H.-M.; König, A.; Ruetz, W.; Rumpf, H.; Schönfelder, E. (2008): *Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27*. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 4, Universitätsverlag Göttingen, 62 S.
- Ruegg, D.; Schwitter, R. (2002): *Untersuchungen über die Entwicklung der Verjüngung und des Verbisses im Vivian-Sturmgebiet Pfäfers*. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 153, S. 130–139
- Schmidt, O. (2004): *Die Tanne im Frankenwald*. LWF Wissen 45, S. 41–46
- Schmidt, O.; Mayer, F.-J. (2004): *Waldschutzsituation an Tanne in bayerischen Wäldern*. Forst und Holz 12, S. 593–594
- Schröter, H.; John, R.; Petercord, R. (2009): *Die Stamm- und Triebläuse der Weißtanne*. FVA Waldschutz-Info 3, 7 S.
- Schröter, H.; Delb, H.; John, R.; Metzler, B. (2010): *Waldschutzsituation 2009/2010 in Baden-Württemberg*. AFZ/Der Wald 65, S. 8–11
- Schwerdtfeger, F. (1981): *Die Waldkrankheiten*. 4. neubearbeitete Auflage, Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin, 486 S.
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW) (2008): *Die Tanne*. Informationen zu Baumarten. Faltblatt Nr. 14, 2 S.
- Seitschek, O. (1981): *Verbreitung und Bedeutung der Tannenerkrankung in Bayern*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 100, S. 138–148
- Senn, J.; Häslar, H.; Brang, P.; Zingg, A. (2007): *Verbiss der Weissanne durch Huftiere – Vom Kleinstandort beeinflusst*. Wald und Holz 88, S. 39–41
- Schütt, P. (1977): *Das Tannensterben – Der Stand unseres Wissens über eine aktuelle und gefährliche Komplexkrankheit der Weißtanne (Abies alba Mill.)*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 96, S. 177–186

Key words: European Silver fir, dieback, forest protection, browsing damage, forest pest, insects, fungi

Summary: During the past twenty years the European silver fir underlay different changes of opinions. From the forest side of view almost given up in the years of the forest dieback, it became the white hope of climate-stabile forest ameliorations during the increasing knowledge about the climate change impact. Thereby easily forgotten is that the risk of biotic forest protection has not changed at all and that silvicultural regulations can only succeed if this aspect will be considered and reacted adequately.

Wachstum der Weißtanne in Südwestdeutschland: Entwicklung, Klima-Risiko und Verjüngung

Ulrich Kohnle, Chaofang Yue und Dominik Cullmann

Schlüsselwörter: Weißtanne, Waldwachstum, Klimawandel, Südwestdeutschland

Zusammenfassung: Die Analyse umweltbedingter Wachstumstrends seit der Mitte des 20. Jahrhunderts weist in Baden-Württemberg auf zum Teil markante Unterschiede zwischen Tanne und Fichte hin. Bei Tanne trat etwa von den 1960er bis in die 1980er Jahre eine auffällige Wachstumsdepression auf. Umgekehrt verlief der Trendanstieg in den 1980er Jahren bei Tanne deutlich steiler als bei Fichte. Bei beiden Baumarten setzte in der jüngeren Vergangenheit - noch deutlich vor dem ausgeprägten Trockenjahr 2003 - ein Rückgang im Wachstumstrend ein. Bei einer Klimaprojektion mit Horizont 2050 ergibt sich für das Klima-Risiko der Fichte eine ausgesprochen ungünstige Einschätzung der Entwicklung. Auf der Grundlage dieser Projektion wird die Fichte in weiten Teilen Baden-Württembergs als führende Wirtschaftsbaumart abgelöst werden müssen. Innerhalb der natürlichen Tannen-Verbreitungsgebiete im Südwesten kommt dabei zumindest mittelfristig der Tanne eine gewisse Bedeutung als Alternative zu, da sich die Einschätzung ihres Klima-Risikos deutlich weniger einschneidend verändert als bei der Fichte. Um die Tanne in

geeigneten Bereichen als waldbauliche Alternative nutzen zu können, müssen die spezifischen Anforderungen einer tannengerechten Behandlung beachtet werden. Erfolgreiche Tannenwirtschaft in Baden-Württemberg basiert auf langfristigen Verjüngungsverfahren und der Bewirtschaftung in strukturreichen Bestandesformen (z. B. Plenter- oder Femelwälder). Zwingende Voraussetzung dafür sind regulierte Schalenwildbestände und Verjüngungsgänge mit (sehr) lang anhaltenden Überschirmungsphasen. Mit zunehmendem Tempo der Verjüngung verliert die Tanne in der Verjüngung ihren Höhenvorsprung insbesondere gegenüber der Fichte. Er ist jedoch erforderlich, um auch nach der Freistellung die Tanne in nennenswerten Anteilen auf Dauer im Herrschenden zu halten. Besonders problematisch sind dabei vor allem plötzliche Freistellungen gemischter Tannen-Fichten-Verjüngungen beispielsweise auf Grund von Sturmschäden. Ohne energische Maßnahmen der Mischwuchsregulierung zugunsten der Tanne ist hier im Regelfall davon auszugehen, dass die unter Freiflächenverhältnissen deutlich vorwüchsige Fichte die Tanne bereits bis zum Zeitpunkt der ersten Durchforstung aus dem Herrschenden verdrängt.



Abbildung 1: Junger Weißtannenzweig (Foto: G. Aas)

Anteil der Tanne in Baden-Württemberg

- < 5 % der Holzbodenfläche
- 5–15 % der Holzbodenfläche
- > 15 % der Holzbodenfläche

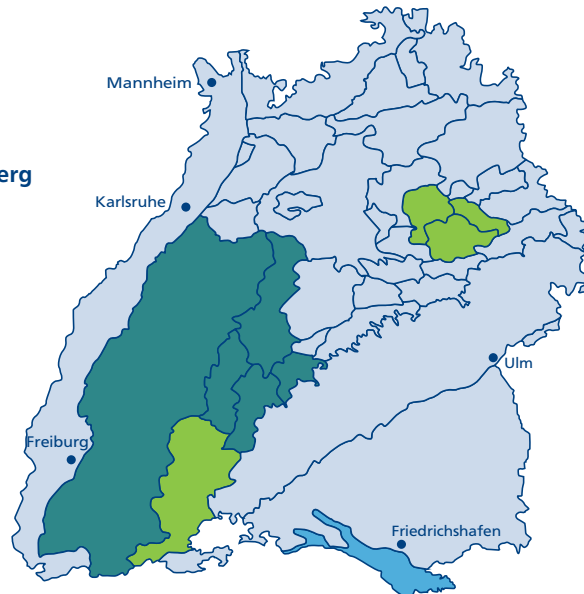


Abbildung 2: Anteil der Tanne an der Holzbodenfläche in den regionalen Einheiten Baden-Württembergs

Bedeutung der Tanne in Südwestdeutschland

Die Weißtanne (*Abies alba*; im folgenden „Tanne“) spielt in Südwestdeutschland (Baden-Württemberg) eine besondere Rolle. Sie stellt hier die wichtigste natürliche Nadelbaumart dar. Ihr Anteil lag im ursprünglichen Naturwald im landesweiten Durchschnitt nur wenig unter 20 Prozent (Moosmayer 1977). In den Tannengebieten, vor allem im Schwarzwald, waren die Anteile noch wesentlich höher und die Tanne war neben der Buche die regional dominierende Baumart.

Trotz bedeutender, historisch bedingter Flächenrückgänge blieb der Tanne in Südwestdeutschland bis heute eine Sonderstellung erhalten. Gemäß der zweiten Bundeswaldinventur konzentriert sich der Hauptanteil (über 60 Prozent) der deutschen Tannenvorkommen auf Baden-Württemberg. Der Abstand zum zweiten regionalen Schwerpunkt in Bayern (circa 30 Prozent der Tannenfläche in Deutschland) ist bereits erheblich; in den anderen Bundesländern kommen heute allenfalls marginale Tannenflächen vor. Die regional stark ungleichmäßige Verteilung der Baumart spiegelt sich naturgemäß auch in den Anteilen der Tanne in den Wäldern der einzelnen Bundesländer wider. Die Wälder Baden-Württembergs bestehen noch zu mehr als sieben Prozent aus Tanne, dagegen liegen die Tannenanteile in Bayern als dem zweiten natürlichen Verbreitungs-

schwerpunkt mit circa zwei Prozent der Waldfläche nur noch knapp über dem Bundesdurchschnitt. Auch innerhalb Baden-Württembergs ist das Tannenvorkommen regional konzentriert. Sein Schwerpunkt liegt eindeutig im Wuchsgebiet Schwarzwald (Abbildung 2), das bei einem mittleren Tannenanteil von knapp 18 Prozent nahezu zwei Drittel der Tannenfläche des Landes umfasst (63 Prozent).

Die besondere forstliche Bedeutung der Tanne in Südwestdeutschland beruht auch auf ihrer Leistungsfähigkeit. Mit einer nach der zweiten Bundeswaldinventur mittleren jährlichen Zuwachsleistung von circa 16 Vorratsfestmetern je Hektar liegt sie landesweit etwa auf dem Niveau der Fichte, zu der sie unter geeigneten Voraussetzungen eine auch ökonomisch interessante Alternative bilden kann. Bei vergleichbarer Gesamtwuchsleistung bedienen beide Holzarten dieselben Marktsegmente, da sich produzierte Dimensionen (Gerwig 1868; Hink 1973) und technische Eigenschaften des Holzes (Wagenführ 2000) ähneln. Außerdem ist die Tanne im Vergleich zur Fichte unter vergleichbaren Bedingungen Waldschutzrisiken gegenüber im Allgemeinen weniger anfällig. Dies gilt beispielsweise für Risiken auf Grund von Sturm (Albrecht et al. 2010; Schmidt et al. 2010), Borkenkäfern (Hierholzer 1954) oder Rindenverletzungen und Fäulen (Kohnle und Kändler 2007). Eine Ausnahme bildet allerdings die besondere Empfindlichkeit der Tanne gegenüber Wildverbiss. Sie erfordert

die effektive Regulierung von Wildbeständen als unerlässliche Grundvoraussetzung erfolgreicher Tannenwirtschaft (Kohnle und Klädtke 2010; Weidenbach und Kohnle 2010).

Nachdem sich vor dem Hintergrund aktueller Szenarien von Klima-Projektionen für den Fichtenanbau in Baden-Württemberg gravierende Folgen abzeichnen (Hanewinkel et al. 2010), erscheint es bei der Prüfung potentieller Alternativen sinnvoll, auch die Möglichkeiten und Beschränkungen der Tanne zu bewerten. Im Folgenden sollen daher für Tanne im Vergleich zur Fichte unter südwestdeutschen Verhältnissen Wachstumstrends und klimatisches Risiko dargestellt werden. Ergänzend folgen Hinweise zu den für eine tannengerechte Verjüngung entscheidenden waldbaulichen Voraussetzungen.

Wachstum

Gegenstand von Wachstumstrendanalysen sind Veränderungstrends im Wachstum, die auf Veränderungen wachstumsrelevanter Umweltfaktoren beruhen. Das messbare Wachstum ist allerdings eine integrative Summengröße, die das Zusammenwirken unterschiedlicher Faktoren abbildet. Dabei spielen neben externen Umwelteinflüssen (z. B. Witterung, Stoffeinträge) auch nicht-umweltbedingte Faktoren eine wesentliche Rolle wie beispielsweise das Alter oder die Standortleistungskraft. Um die für die Wachstumstrendanalyse relevante umweltbedingte Komponente extrahieren zu können, müssen zuvor die Wirkungen der nicht-umweltbedingten Wachstumsfaktoren auf das Zuwachssignal herausgefiltert werden. Wachstumstrendanalysen legen ihren Schwerpunkt vor allem auf mittel- bis längerfristige Entwicklungen. Es ist daher von besonderer Bedeutung, solche mittel- bis längerfristigen Trends bei der Filterung der Wirkung der nicht-umweltbedingten Wachstumsfaktoren nicht unabsichtlich mit herauszufiltern. Eben dieses Risiko besteht jedoch bei der Anwendung „klassischer“ dendrochronologischer Methoden, da deren Schwerpunkt vor allem auf der Identifizierung und Verstärkung kurzfristiger (jährlicher) Wachstumsschwankungen liegt. Deshalb wurden an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) geeignete Methoden mit entsprechendem Fokus auf den spezifischen Bedürfnissen von Wachstumstrendanalysen angepasst und entwickelt. Sie verwenden Daten aus Jahrringanalysen ausgewählter Probestämme bzw. aus periodischen Bestandesaufnahmen langfristiger wachstumskundlicher Versuchsflächen.

Durchmesser-Zuwachstrends herrschender Bäume

Häufig greifen retrospektive Wachstumsuntersuchungen auf Jahrringanalysen herrschender Bäume zurück. Zur Extraktion der umweltbedingten Komponente des darin enthaltenen Durchmesser-Zuwachssignals wurde ein Verfahren entwickelt, das erlaubt, im Rahmen eines multiplen Dekompositionsmodells (Yue et al. 2011) gezielt die Wirkung der verschiedenen nicht-umweltbedingten Faktoren zu berücksichtigen. Da zu diesen Faktoren auch die Bestandesdichte sowie die Wirkung von Durchforstungen gehört, werden nur Jahrringserien von aus langfristigen wachstumskundlichen Versuchsflächen stammenden Probestämmen verwendet. Bei diesen Beständen ist es auf Grund der periodisch wiederholten Bestandesaufnahmen (Turnus in der Regel fünf Jahre) möglich, die Bestandesentwicklung eindeutig zu quantifizieren.

Auf der Grundlage der verfügbaren Datenbasis wird ein Wachstumsmodell angepasst, das unter als konstant angenommenen Umweltbedingungen standardisierte Durchmesser-Zuwachserwartungswerte unter Berücksichtigung folgender nicht-umweltbedingter Wachstumsfaktoren ermöglicht: Baumart, Alter, Bonität, soziologische Stellung der Probestämme, Bestandesdichte und Durchforstungen. Diese modellierte Durchmesser-Zuwachserwartung liefert die Wachstumsreferenz. Die Division des tatsächlich gemessenen Zuwachses durch den modellierten Referenzzuwachs ergibt einen (dimensionslosen) Trendquotienten, der die extrahierte umweltbedingte Komponente im Durchmesser-Zuwachssignal der Probestämme repräsentiert. Die Trendquotienten der Zuwächse werden für das jeweilige Kalenderjahr gemittelt und die Entwicklung der Mittelwerte mit Hilfe einer *lowess*-Funktion (*locally weighted scatterplot smoothing*) geglättet. Der Ermittlung der im Folgenden dargestellten Durchmesser-Zuwachstrends herrschender Fichten und Tannen in Baden-Württemberg liegt eine *lowess*-Glättung mäßiger Steifheit (0,25) zugrunde.

Für Tanne liegen zwar ähnlich wie für Fichte Jahrringdaten bereits ab dem 19. Jahrhundert vor. Allerdings reichen die für die exakte Rekonstruktion der Bestandesverhältnisse erforderlichen periodischen Bestandesaufnahmen der Versuchsflächen, aus denen die Probestämme stammen, nur wenig weiter zurück als in die 1940er Jahre. Daher sind für Tanne qualifizierte Trendaussagen erst etwa ab den 1940er Jahren möglich. Beim Vergleich der Durchmesser-Zuwachstrends werden bemerkenswerte Unterschiede zwischen Fichte und Tanne deutlich (Abbildung 3):

- Die Tanne zeigte etwa ab den 1960er bis in die 1980er Jahre eine auffällige Wachstumsdepression, die sich in dieser Ausprägung bei Fichte nicht findet.
- Der Trendanstieg in den 1980er Jahren verlief bei Tanne deutlich steiler als bei Fichte.
- Bei beiden Baumarten ist in jüngster Vergangenheit ein Trendrückgang zu beobachten; er begann jedoch bei Fichte erkennbar früher als bei Tanne. Beiden Baumarten gemeinsam ist dabei allerdings, dass die Umkehr bereits deutlich vor dem ausgeprägten Trockenjahr 2003 einsetzte.

Grundflächen-Zuwachs ganzer Bestände

Jahrringserien haben sich zwar vor allem für dendrochronologische Analysen als Datenbasis bewährt. Die Datengewinnung ist jedoch recht aufwendig und die Frage bleibt offen, inwiefern die für die Jahrringanalysen ausgewählten herrschenden Bäume tatsächlich das Wachstum ganzer Bestände repräsentieren.

Um dieser Frage nachzugehen, wurde die Methodik der Wachstumstrendanalyse an der FVA so weiter entwickelt, dass die Daten aus den periodischen Wiederholungsaufnahmen der langfristigen waldwachstumskundlichen Versuchsflächen genutzt werden können. Dabei werden alle Bäume eines Versuchsbestandes gemessen. Insbesondere war es erforderlich, annualisierte Wachstumsschätzungen aus den mehrjährigen Messperioden unterschiedlicher Länge abzuleiten; grundlegende Prinzipien hierzu sind in Yue et al. (2008) näher ausgeführt. Auf der Basis dieser methodischen Weiterentwicklung war es möglich, die flächenbezogenen Grundflächen-Zuwachstrends ganzer Bestände zu analysieren, die als guter Indikator für die Trends des Volumenzuwachses gelten können. Die Ergebnisse zeigen bei Fichte und Tanne deutlich, dass sich die Zuwachstrends der Grundfläche ganzer Bestände und der Durchmesser herrschender Bäume im Prinzip entsprechen (Abbildung 4).

Insbesondere zeigte der Grundflächenzuwachs von Tannen-Beständen vergleichbar dem Durchmesserzuwachs herrschender Einzelbäume in den 1970/80er Jahren eine charakteristische Zuwachs-Depression. Seit Beginn der 1990er Jahre (Fichtenbestände) bzw. Mitte/Ende der 1990er Jahre (Tannenbestände) zeigten beide Baumarten wieder deutlich rückläufige Zuwachstrends. Allerdings scheinen die Niveauunterschiede bei den Grundflächen-Zuwachstrends ganzer Bestände insgesamt weniger stark ausgeprägt als bei herrschenden Einzelbäumen. Dies könnte auf zwei unterschiedlichen Ursachen beruhen. Zum einen dürften sich die mehrjährigen Aufnahmeperioden nivellierend auf Extremwerte auswirken und/oder zum anderen könnten im Bestandesverband Bäume unterschiedlicher soziologischer Stellungen unterschiedlich reagieren und ebenfalls nivellierend wirken.

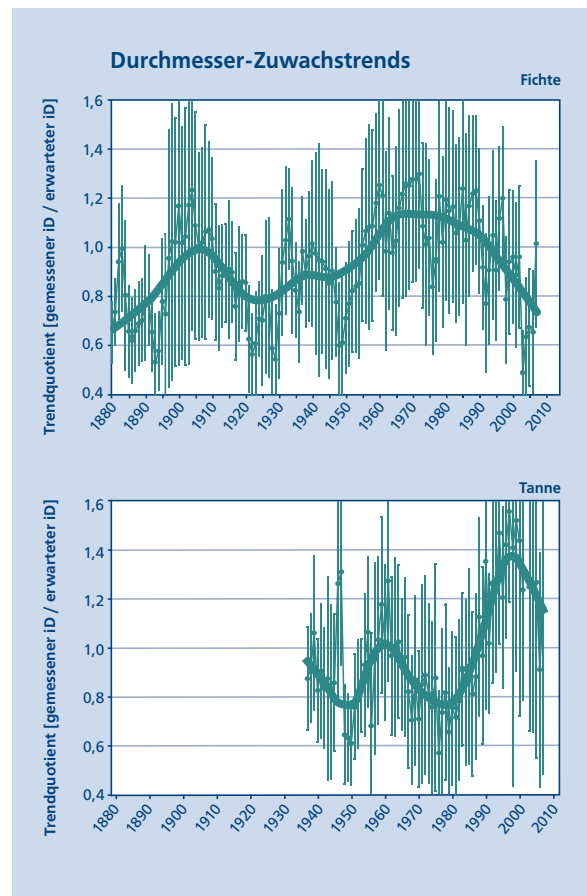


Abbildung 3: Umweltbedingte Durchmesser-Zuwachstrends herrschender Fichten (oben) oder Tannen (unten) in Baden-Württemberg; dargestellt sind Jahresmittelwerte, Standardabweichung und eine lowess-Glättungsfunktion (Steifheit 0,25); Datenquelle: Jahrringanalysen von Probestämmen auf langfristigen waldwachstumskundlichen Versuchsflächen

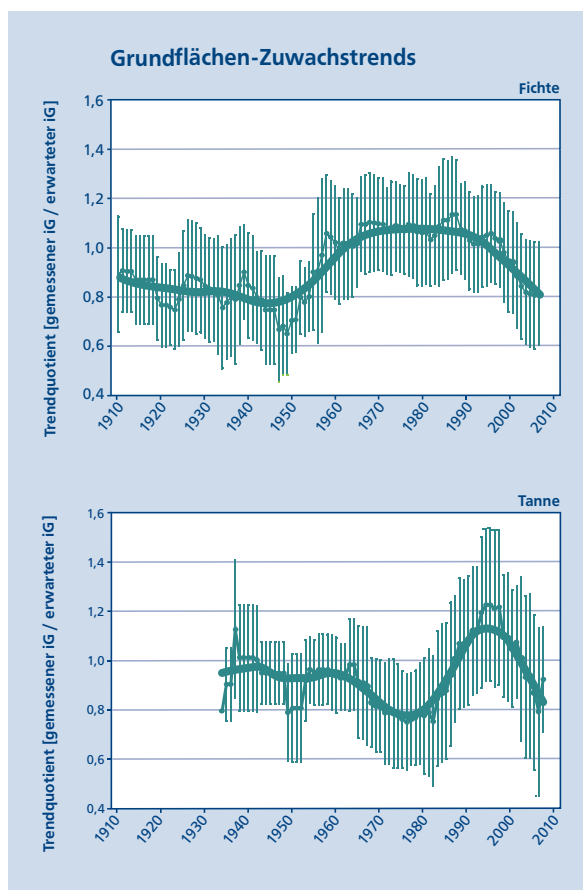
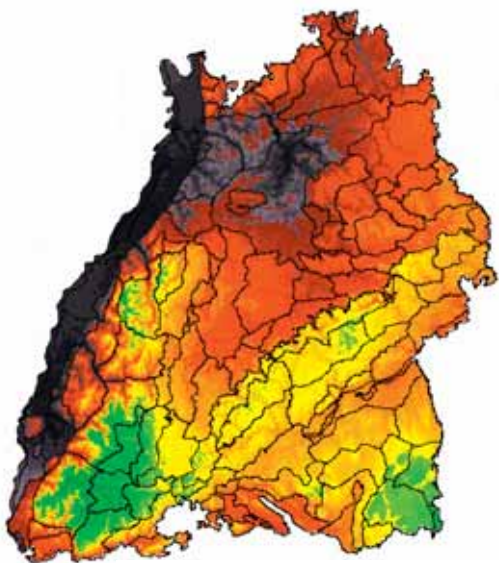


Abbildung 4: Umweltbedingte Grundflächen-Zuwachstrends ganzer Bestände aus Fichte (oben) oder Tanne (unten) in Baden-Württemberg; dargestellt sind Jahresmittelwerte, Standardabweichung und eine lowess-Glättungsfunktion (Steifheit 0,25); Datenquelle: periodische Wiederholungsaufnahmen langfristiger waldwachstumskundlicher Versuchsflächen.

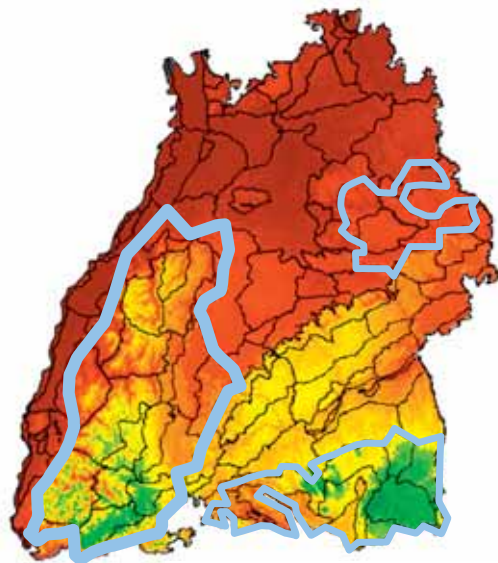
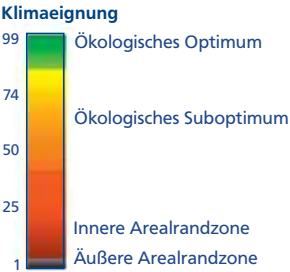
Klima-Risiko

Die FVA beschäftigt sich im Rahmen eines abteilungsübergreifenden Großprojektes intensiv mit der Frage der zukünftigen Eignung der Hauptbaumarten Südwestdeutschlands bei sich ändernden klimatischen Bedingungen. Ziel ist die qualifizierte Beurteilung des Klima-Risikos und der waldbaulichen Eignung der Baumarten. Das methodische Vorgehen besteht aus zwei getrennten Schritten (Hanewinkel et al. 2010). Als erster Schritt werden statistische Modelle zu klimatisch bestimmten Arealräumen entwickelt. Dabei wird das Klima-Risiko für Teilräume unterschiedlicher regional-klimatischer Angepasstheit modelliert (Klima-Risiko-Karten). Im zweiten Schritt wird die waldbauliche Eignungsbeurteilung der Baumarten aktualisiert. Dabei werden die für ein Szenario der Klimaveränderung modellierten Klima-Risiko-Karten in das bestehende standortkundliche Verfahren zur waldbaulichen Eignungsbeurteilung der Baumarten (Aldinger und Michiels 1997) einbezogen.

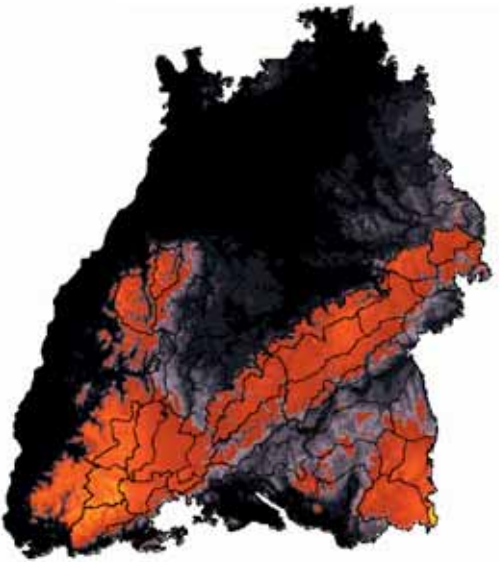
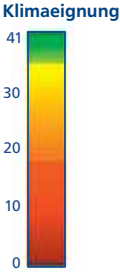
Für die Fichte sind bereits beide Schritte bis zur standortdifferenzierten Neueinschätzung der Baumarteneignung vollzogen (Hanewinkel et al. 2010). Für die Tanne liegt gegenwärtig erst das Ergebnis des ersten methodischen Arbeitsschrittes zur rein klimabezogenen Beurteilung des Risikos vor. Die folgenden Ausführungen für die Tanne beziehen sich daher ausschließlich auf die Zwischenergebnisse der Klima-Risiko-Karte des ersten Arbeitsschrittes und können nur orientierenden Charakter haben (v. Teuffel 2010). Bei der Annahme einer Klimaprojektion mit einem Zeithorizont bis zum Jahr 2050 zeigt sich, dass für die Fichte in weiten Teilen Südwestdeutschlands keine günstigen Verhältnisse mehr für einen flächigen Anbau bestehen könnten (Abbildung 5). Die auf der Basis der für aktuelle Klimaverhältnisse abgeleiteten Klima-Risiko-Karte für Fichte günstige Beurteilung des Anbaupotentials in Höhe von 55 Prozent dürfte bis Mitte des Jahrhunderts um 39 Prozentpunkte zurückgehen (Hanewinkel et al. 2010). Dies ist auch deshalb besonders bedenklich, weil die mit der Fichtenwirtschaft verbundenen erheblichen Sturmrisiken (Albrecht 2009; Albrecht et al. 2010; Schmidt et al. 2010) bei dieser Beurteilung noch gar nicht berücksichtigt sind.



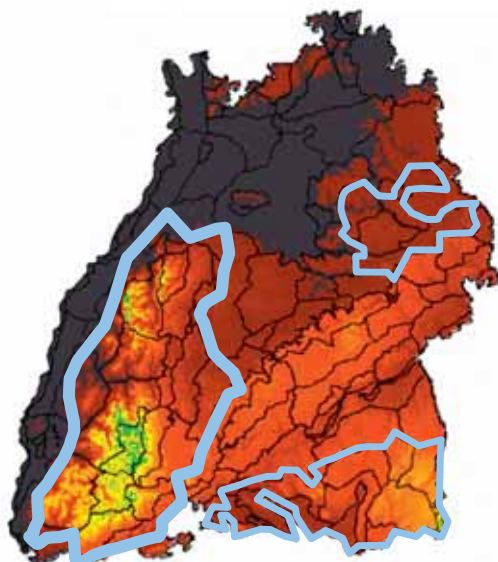
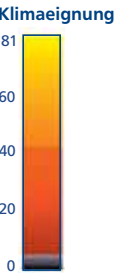
Fichte aktuelles Klima



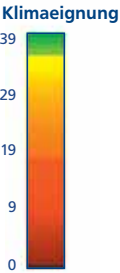
Tanne Klima 2000



Fichte Projektion 2050



Tanne Projektion 2050



Es wird also nötig sein, in größeren Bereichen des Landes leistungsfähige Alternativen zur Fichte zu finden. Als mögliche Alternative werden auch die Möglichkeiten der Tanne diskutiert. Die bisherigen Zwischenergebnisse erlauben bereits einige Rückschlüsse. Danach führt die statistische Beurteilung des Klima-Risikos auf der Grundlage europaweiter Verbreitungs- und Klimadaten auch bei der Tanne in Baden-Württemberg zu insgesamt plausiblen Ergebnissen. Bei der Abbildung lokal begrenzter Vorkommen stößt das Vorgehen jedoch an Grenzen. Beispielsweise wird das natürliche Tannenvorkommen im Schwäbisch-Fränkischen Wald nicht erfasst (Abbildung 4). Zur Verbesserung der Trennschärfe der Modellierung könnte es unter Umständen hilfreich sein, den derzeit verwendeten europaweiten Datensatz zum Tannenvorkommen (Hanewinkel et al. 2010) mit räumlich stärker aufgelösten Informationen beispielsweise aus Betriebsinventuren zu ergänzen.

Insgesamt wird auch deutlich, dass sich die Verhältnisse für Tanne weniger einschneidend verändern dürften als für Fichte. In einigen Gebieten Baden-Württembergs könnte die Tanne tatsächlich mittelfristig als klimatisch besser geeignete ertragsstarke Baumart die Fichte zumindest teilweise ersetzen. Diese vorläufige Einschätzung gilt in Südwestdeutschland allerdings nur für Gebiete innerhalb des natürlichen Tannen-Verbreitungsgebietes.

Tannengerechter Waldbau

Insgesamt bietet die Tanne als natürliche Hauptbaumart in gewissem Umfang also auch Potential im Klimawandel. Um dieses Potential effektiv nutzen zu können, ist jedoch ein tannengerechter Umgang mit dieser Baumart Voraussetzung. Dies gilt sowohl für die waldbaulichen Anforderungen hinsichtlich der Verjüngung als auch einer stabilitätsfördernden Bewirtschaftung in

langfristig strukturreichen Beständen ohne abrupte Strukturwechsel. Besondere Aufmerksamkeit erfordern die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Verjüngung. Prinzipiell kann sich die ausgeprägte Schattbaumart vor allem unter Schirm sehr gut gegen stärker lichtbedürftige Konkurrenten wie beispielsweise die Fichte durchsetzen. Erfolgreiche Tannenwirtschaft ist daher im Regelfall an (Natur-) Verjüngungsverfahren mit über Jahrzehnte anhaltenden Überschirmungsphasen gebunden. Neben Plenterwäldern bieten vor allem langfristige Femelwälder beste Voraussetzungen für die Tanne.

Der Einfluss der Dauer der Überschirmung (Hiebsgeschwindigkeit) auf die Entwicklung der Tannenverjüngung zeigt sich exemplarisch in einer systematischen FVA-Versuchsreihe zur langfristigen (Femel-)Verjüngung in hiebsreifen Tannen-Fichten-Mischbeständen. An fünf verschiedenen Orten wird auf insgesamt 19 Versuchsfeldern unter anderem die Entwicklung der Naturverjüngung bei unterschiedlich rascher Nutzung des Altbestandes beobachtet (Weise 1995): rasche (innerhalb von 20 Jahren), mittlere (innerhalb von 35 Jahren) und langsame Endnutzung (innerhalb von 50 Jahren). Zum Vergleich dienen geschlossene Vorratspflegefelder, in denen lediglich 50 Prozent des laufenden Zuwachses genutzt werden. Die Intervalle zwischen den Aufnahmen von Altbestand und Verjüngung sowie der Behandlung betragen im Regelfall fünf Jahre. Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Verjüngung über fünf Aufnahmen nach einer Versuchsdauer von 25 Jahren. Auf den Feldern mit raschem Verjüngungsgang ist die Verjüngung seit der vierten Aufnahme (nach 20 Jahren) vollständig vom Altbestandsschirm frei gestellt. Auf den Feldern mit mittlerer Verjüngungsgeschwindigkeit ist der Vorrat des Altbestandes zwischenzeitlich auf 30 Prozent des Ausgangsvorrates abgesenkt und bei langsamer Verjüngung auf 60 Prozent. Dargestellt in Abbildung 6 ist die Oberhöhe der Tannen im Vergleich zu den Fichten.

Abbildung 5: Klima-Risiko-Karten für Fichte [aus Hanewinkel et al. (2010)] und Tanne in Südwestdeutschland abgeleitet für das gegenwärtige Klima (oben) und eine Klimaprojektion für das Jahr 2050 (unten); bei Tanne umschließen die eingezeichneten Grenzlinien (hellblau) die natürlichen Verbreitungsgebiete der Baumart in Baden-Württemberg.

Deutlich zu erkennen ist, dass während der Überschirmung die Tanne erwartungsgemäß im Vergleich zur Fichte größere Höhenzuwächse leistet und in der relativen Höhe kontinuierlich zulegt (Abbildung 6). Bei raschem Verjüngungsgang (Nutzung des Altbestandes innerhalb von 20 Jahren) deutet sich in den Phasen mit stark aufgelockertem bzw. bereits abgedecktem Schirm (Aufnahmen 3 – 5) eine Stagnation der Höhenrelation zwischen Tanne und Fichte an. Auf den anderen Flächen baut die Tanne bei (noch) anhaltender Überschirmung ihren Höhenvorsprung weiter aus.

Zu betonen ist, dass sich die einer erfolgreichen Tannenwirtschaft zugrunde liegenden langfristigen Verjüngungszeiträume in (struktureichen) Beständen ausschließlich im Kontext angepasster Wildbestände verwirklichen lassen. Tatsächlich gilt im baden-württembergischen „Tannenland“ der Nachweis waldbaulich für Tanne tragbarer (geringer) Verbissintensitäten als Gradmesser und Nagelprobe für die jagdliche Ernsthaftigkeit bei der Umsetzung der Ziele des naturnahen Waldbaus (Kohnle und Klädtke 2010).

Rasche Hiebsgänge und insbesondere abrupte Freistellungen (z. B. Sturm) sind der Entwicklung von Tannen-Verjüngungen grundsätzlich abträglich. Zum einen leidet die Schattbaumart auf Freiflächen unter Problemen (z. B. Frost, Lausbefall). Zum anderen fällt sie in gemischten Verjüngungen im Wachstum vor allem gegenüber der unter Freiflächenverhältnissen vorwüchsigen Fichte zurück. Problematisch kann dies insbesondere nach Sturmschäden werden, wie sich am Beispiel von „Lothar“ klar gezeigt hat. Vom Sturm abgedeckte Naturverjüngungen enthielten zwar in erfreulich hohem Umfang nennenswerte Tannenanteile (Kohnle et al. 2005 a). In vielen gemischten Verjüngungen aus Fichte und Tanne zeichnete sich jedoch bereits bei einer Erhebung vier Jahre nach dem Sturm ab, dass die Tannen im Wachstum hinter den Fichten zurückzubleiben begannen. In 12 detailliert aufgenommenen gemischten Verjüngungen waren die Tannen unmittelbar vor dem Sturm im Mittel zwar geringfügig höher als die Fichten (116 Prozent der Oberhöhe der Fichte); vier Jahre später (2003) waren sie mit im Mittel 91 Prozent der Oberhöhe bereits leicht hinter die Fichte zurückgefallen (Kohnle et al. 2005 b).

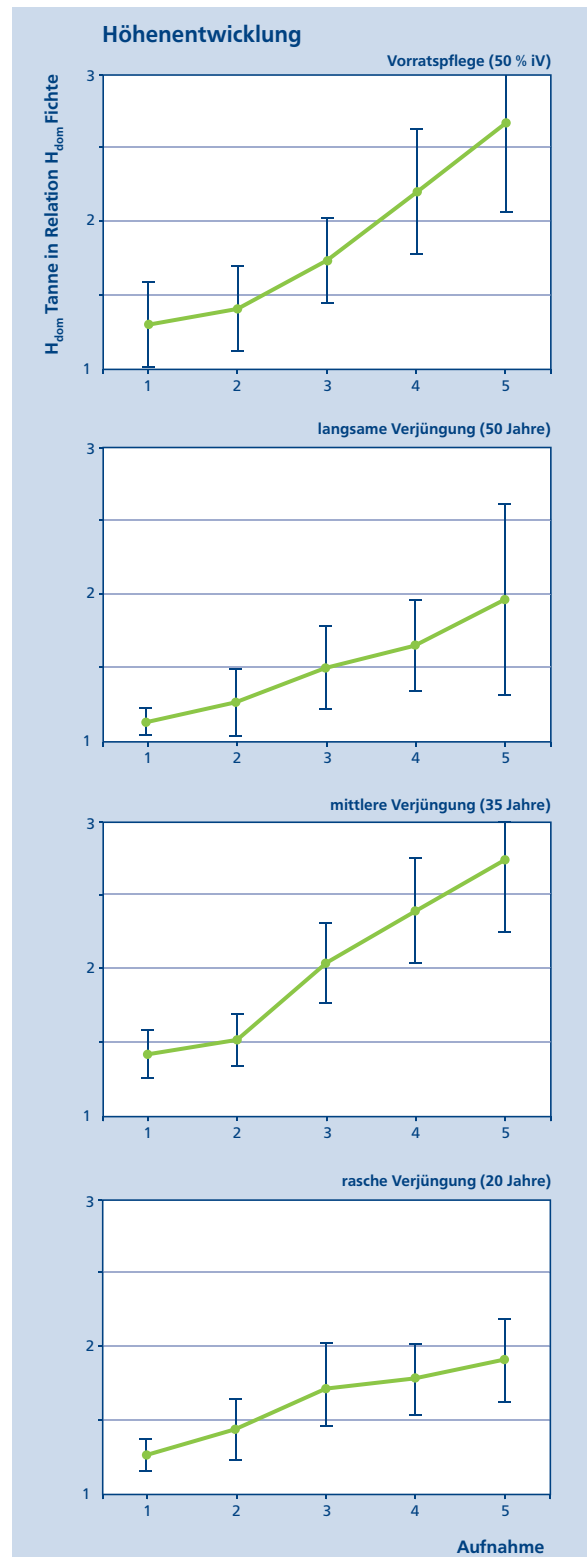


Abbildung 6: Höhenentwicklung von Tanne in Relation zu Fichte in der Naturverjüngung unterschiedlich rasch geführter Femelschläge; dargestellt sind Mittelwerte und Standardfehler der Oberhöhenrelation zwischen Tanne und Fichte in Jungwuchsaufnahmen bei fünfjährigen Aufnahmeintervallen (erste Aufnahme fünf Jahre nach dem ersten Femelhieb); Datenquelle: Femel-Versuchsserie Ta 221-225 der FVA (Weise 1995) mit insgesamt 19 Versuchsfeldern.

Um sich bis zur ersten Durchforstung im Herrschenden halten zu können, benötigen Tannen in unbehandelt wachsenden Mischverjüngungen im Regelfall bei Freistellung einen erheblichen Höhenvorsprung vor der Fichte. Dies zeigte sich bei einer anderen Arbeit in unbehandelten, gemischten Naturverjüngungen 14 Jahre nach Freistellung auf Grund von Sturm (Frühjahr 1990). Die im Winter 2003/04 noch im Herrschenden beteiligten Tannen hatten zum Zeitpunkt der Freistellung die Fichten um ein Mehrfaches an Höhe übertroffen (Abbildung 7). Innerhalb von nur 14 Jahren hatten die Fichten diesen deutlichen Wuchsvorsprung im Wesentlichen bereits eingeholt. Die mit großem Höhenvorsprung ausgestatteten Tannen waren allerdings noch nicht entscheidend überwachsen, sondern immer noch im Herrschenden beteiligt.

Diese Befunde unterstreichen die Erfahrung forstlicher Praktiker mit plötzlich freigestellten gemischten Verjüngungen aus Tanne und Fichte. Soll in solchen Situationen die Tanne als stabilisierendes Element in nennenswertem Umfang sicher bis zur Erstdurchforstung im Herrschenden erhalten bleiben, benötigt sie einen substantiellen Höhenvorsprung vor der Fichte. Trifft dies nicht zu, ist im Regelfall eine energische Mischwuchsregulierung zugunsten der Tanne erforderlich, um sie bis zum Beginn der Durchforstung im Herrschenden halten zu können.

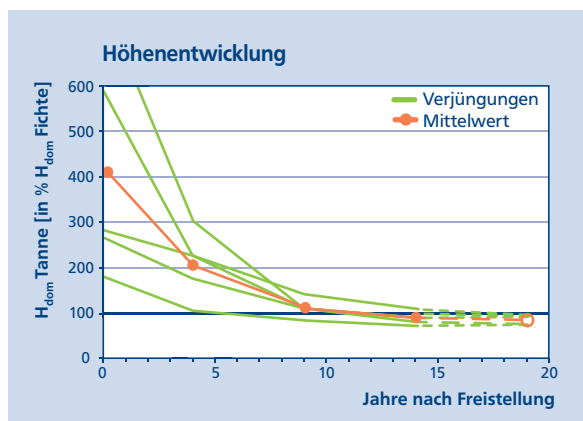


Abbildung 7: Entwicklung der relativen Höhe von Tanne im Verhältnis zu Fichte in gemischten Verjüngungen während 14 Jahren nach Freistellung auf Grund von Sturm; dargestellt ist die Entwicklung in fünf verschiedenen Verjüngungen (grüne Linien) und des Mittelwertes (orange Linie), sowie eine fünfjährige Trendfortschreibung bis zum Alter von 19 Jahren [(leicht verändert aus Kohnle et al. (2005 b))].

Literatur

Albrecht, A. (2009): *Sturmschadensanalysen langfristiger waldwachstumskundlicher Versuchsflächendaten in Baden-Württemberg*. FFF-Bände Nr. 42, 174

Albrecht, A.; Hanewinkel, M.; Bauhus, J.; Kohnle, U. (2010): *How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations*. European Journal of Forest Research DOI: 10.1007/S10342-10-0432-X

Aldinger, E.; Michiels, H.-G. (1997): *Baumarteneignung in der forstlichen Standortskartierung Baden-Württembergs*. AFZ/Der Wald 52, S. 234–238

Gerwig, F. (1868): *Die Weißtanne (Abies pectinata. DC.) im Schwarzwalde*. Verlag Julius Springer, Berlin

Hanewinkel, M.; Cullmann, D.; Michiels, H.-G. (2010): *Veränderte Bewertung infolge Klimawandel – Künftige Baumarteneignung für Fichte und Buche in Südwestdeutschland*. AFZ/Der Wald 65, S. 30–33

Hierholzer, O. (1954): *Die Massenvermehrung der krummzähligen Tannenborkenkäfer in Württemberg-Hohenzollern von 1947–1950*. In: Wellenstein, G. (Hrsg.): *Die große Borkenkäferkalamität in Südwestdeutschland 1944–1951*. Forstschutzstelle Südwest, Rینگingen

Hink, V. (1973): *Das Wachstum von Fichte und Tanne auf den wichtigsten Standortseinheiten des Einzelwuchsbezirks „Flächenschwarzwald“ (Südwestdeutschland-Hohenzollern)*. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 41, Selbstverlag, Stuttgart

Kohnle, U.; Dinkelaker, F.; v. Gilsa, H. (2005 a): *Sicherung waldbaulicher Qualitätsstandards in Baden-Württemberg – Ergebnisse zum Stand der Wiederbewaldung 2003*. AFZ/Der Wald 60, S. 561–565

Kohnle, U.; Kändler, G. (2007): *Is Silver fir (Abies alba) less vulnerable to extraction damage than Norway spruce (Picea abies)?* European Journal of Forest Research 126, S. 121–129

Kohnle, U.; Klädtke, J. (2010): *Drei Jahrzehnte naturnaher Waldbau in Baden-Württemberg*. AFZ/Der Wald 65, S. 22–25

Kohnle, U.; Struss, M.; Eisenmann, P. (2005 b): *Entwicklung von Naturverjüngungen aus Fichte und Tanne nach Sturm*. AFZ/Der Wald 60, S. 569–571

Moosmayer, U. (1977): *Zur regionalen waldbaulichen Planung in Baden-Württemberg*. AFZ/Der Wald 32, S. 504–509

Schmidt, M.; Hanewinkel, M.; Kändler, G.; Kublin, E.; Kohnle, U. (2010): *An inventory-based approach for modeling single tree storm damage – experiences with the winter storm 1999 in southwestern Germany*. Canadian Journal of Forest Research 40, S. 1.636–1.652

v. Teuffel, K. (2010): *Naturnaher Waldbau und Klimawandel*. AFZ/Der Wald 65, S. 33–36

Wagenführ, R. (2000): *Holzatlas*. Fachbuchverlag Leipzig

Weidenbach, P.; Kohnle, U. (2010): *Naturnahe Waldwirtschaft in Baden-Württemberg – ein Rückblick*. AFZ/Der Wald 65, S. 20–22

Weise, U. (1995): *Zuwachs- und Jungwuchsentwicklung in Versuchen zur natürlichen Verjüngung von Fichten-Tannen-(Buchen) Beständen in Baden-Württemberg – Ergebnisse nach zehnjähriger Laufzeit der Versuche*. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 25, Freiburg/Br.

Yue, C.; Kohnle, U.; Hanewinkel, M.; Klädtke, J. (2011): *Extracting environmentally driven growth trends from diameter increment series based on a multiplicative decomposition model*. Canadian Journal of Forest Research (in review)

Yue, C.; Kohnle, U.; Hein, S. (2008): *Combining tree- and stand-level growth models: a new approach to growth prediction*. Forest Science 54, S. 553–566

Key words: Silver Fir, forest growth, climate change, South-Western Germany

Summary: Growth trend analysis based on either year ring analysis of dominant trees or periodic measurements of whole stands (basal area) disclosed notable differences between Silver fir (*Abies alba*) and Norway spruce (*Picea abies*) in Southwest Germany (Baden-Württemberg) since the mid 20th century. On one hand, fir displayed a characteristic growth depression during the 1960s – 1980s whereas on the other hand the increasing growth trend in the 1980s was much more prominent in fir than in spruce. Since lately, growth trends in both species have reversed. However, inversion of growth trends occurred well before the drought year 2003. Based on a current climate scenario, the climatic risk of spruce will develop very unfavourably in the German Southwest. According to the scenario, spruce will most probably lose its role as the economic staple tree in most of the state until 2050. In part, fir might provide an alternative, as the species' climate risk within its natural ranges in Southwest Germany is judged to develop by far less unfavourably than in spruce. In order to manage fir effectively, it is necessary to pay particular attention to characteristic key elements in fir silviculture, in particular for regeneration. In Southwest Germany, effective fir silviculture is associated with long-term regeneration techniques and management in unevenly-structured stands (e.g. single selection forests or group selection systems such as "Femelwald"). Obligate pre-requisite are regulated populations of browsing wildlife species as well as prolonged periods with decades with (partial) crown cover. Under rapid regeneration cutting systems, the shade tolerant fir loses the height dominance over spruce necessary to maintain the fir in the dominant cohort of the stand after complete removal of the overstory. Of particular concern with this respect are mixed fir-spruce regenerations where the overstory is abruptly removed e.g. through storm damage. Under full light conditions spruce height growth is thriving and will rapidly outgrow fir. If fir is not released under such conditions through selective pre-commercial thinnings from spruce competition, it will as a rule not be possible to retain adequate portions of dominant firs in the stand until the first thinning.

Ökonomische Bewertung der Tanne

Herbert Borchert und Stefan Friedrich

Schlüsselwörter: Sturmschaden, Sturmwurfisiko, Tanne, Fichte, Überlebenswahrscheinlichkeit, Erwartungswert

Zusammenfassung: Im Zuge der Klimaänderung wird die Fichte in Süddeutschland wohl erheblich an Fläche verlieren. Derzeit werden Fichtenreinbestände in großem Umfang in Mischwälder umgebaut, in denen auch die Weißtanne neben Fichte und Buche einen größeren Anteil haben soll. Vor allem in den für die Fichte noch verbleibenden Anbaugebieten stellt sich die Frage, welche Vorzüge aus wirtschaftlicher Sicht die Tanne gegenüber der Fichte hat. Der Holzpreis, die Massenleistung und die schwierigeren Verjüngungsmöglichkeiten sprechen nicht für eine wirtschaftliche Überlegenheit der Tanne. Das Sturmwurfisiko der beiden Baumarten unterscheidet sich nach Auswertung der Inventurdaten aus dem bayerischen Staatswald jedoch signifikant. Obwohl Sturmwurfereignisse in reinen Fichtenbeständen und in Mischbeständen aus Fichte und Tanne gleich häufig sind, treten in Fichten-Tannen-Mischbeständen und Tannenreinbeständen deutlich geringere Schäden auf. Fichten-Tannen-Bestände scheiden deshalb seltener vorzeitig aus als Bestände aus reiner Fichte. Dieses unterschiedliche Sturmwurfisiko wurde ökonomisch bewertet, indem aus den Inventurdaten Überlebenswahrscheinlichkeiten abgeleitet und die Erwartungswerte der Bodenertragswerte kalkuliert wurden. Es zeigte sich, dass unter Berücksichtigung des Ausfallrisikos ein gemischter Bestand aus Fichte und Tanne selbst bei einer etwas geringeren Wuchsleistung einem Fichtenreinbestand ökonomisch ebenbürtig ist. Allerdings hängt der langfristige wirtschaftliche Erfolg in weit höherem Maße von der Höhe der Kosten für die Bestandesbegründung ab.

Die Fichte gilt als der Brotbaum der Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Sie wird dort im Zuge der Klimaänderung wohl erheblich an Fläche verlieren. Die Tanne bedeckt in Bayern nur zwei Prozent der Waldfläche. Ihr künftiges potentiell Anbauggebiet wird sich häufig mit dem überschneiden, das für die Fichte überhaupt noch übrig bleibt. Es stellt sich deshalb die Frage, ob es auch aus wirtschaftlicher Sicht Vorzüge der Tanne gegenüber der Fichte gibt. Die Weißtanne wuchs in Bayern in der Vergangenheit eher etwas langsamer als die Fichte.

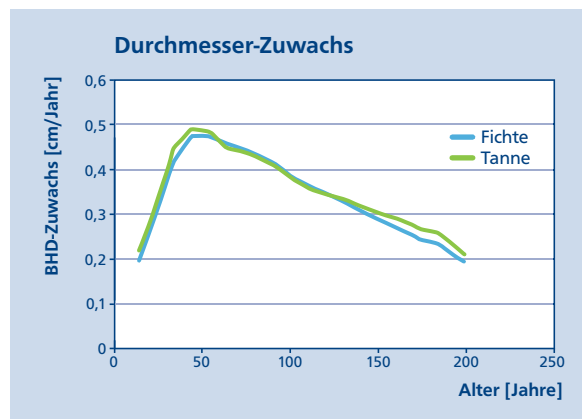


Abbildung 1: Der durchschnittliche BHD-Zuwachs von Fichte und Tanne über dem Alter auf mehr als 50.000 Stichprobenflächen der Betriebsinventuren im bayerischen Staatswald, auf denen beide Baumarten in der Oberschicht gemischt vorkamen.

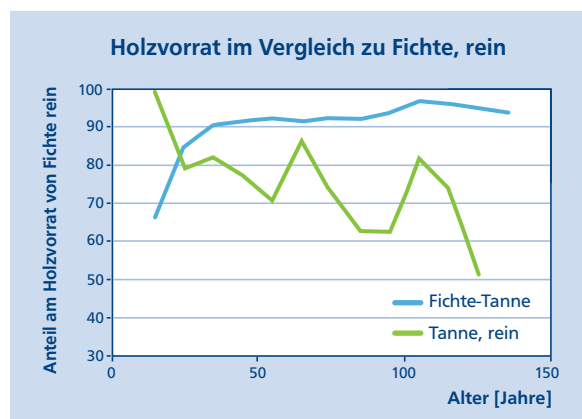


Abbildung 2: Die Höhe des Holzvorrates in Fichten-Tannen-Beständen und in reinen Tannen-Beständen im Verhältnis zu dem in reinen Fichten-Beständen im bayerischen Staatswald außerhalb der Alpen; nur Stichprobenflächen mit reiner Fichte wurden einbezogen, wenn in demselben Waldort Fichte und Tanne auch gemischt bzw. Tanne rein vorkam.

Zwar zeigen sich im Dickenwachstum der Bäume kaum Unterschiede, wie eine Auswertung von mehr als 50.000 Stichprobenflächen im bayerischen Staatswald ergab (Abbildung 1).

Auf diesen Stichprobenflächen kamen Fichte und Tanne in der Oberschicht gemeinsam vor, hatten daher beide die gleichen Standortsbedingungen. Die Vorräte in reinen Fichten-Beständen sind allerdings etwas hö-

her als die in Fichten-Tannen-Mischbeständen und deutlich höher als die in reinen Tannen-Beständen (Abbildung 2).

Die Erzeugerpreise für das Stammholz der Weißtanne entsprachen seit 1990 im Mittel genau denen der Fichte (Abbildung 3). Beide Zeitreihen korrelieren fast vollständig positiv miteinander ($r=0,95$).

Die Weißtanne ist in einem Baumarten-Portfolio nicht anders zu bewerten als die Fichte. Eine Mischung von Tanne und Fichte dämpft offensichtlich nicht die Marktrisiken der Forstbetriebe, wie es für andere Baumarten-Mischungen beschrieben wurde (Knoke 2008). Die Zeitreihen der Preise in Abb. 3 überraschen etwas, weil die Forstbetriebe beim Verkauf meist Preisabschläge für Tanne vereinbaren. Die niedrigeren Preise der Tanne für Stammholz normaler Qualität gegenüber Fichte werden jedoch durch geringere Anteile schlechter Qualitäten bei der Tanne kompensiert.

Die Waldverjüngung ist bei der Weißtanne infolge starker Wildverbissbelastung häufig schwieriger als bei der Fichte. Einzig die häufig genannte größere Standfestigkeit der Tanne bei Stürmen bleibt als ein wirtschaftliches Argument für den Tannenanbau. Die bisherigen Klimaprognosen deuten nicht auf eine Zunahme extremer Winterstürme hin. Unzweifelhaft wird es bei einer Klimaerwärmung jedoch mehr Gewitterstürme geben, da diese eng mit der Temperatur korreliert sind. Der Holzpreis, der Verjüngungserfolg und das Wachstum der Tanne im Vergleich zur Fichte können keine wirtschaftliche Überlegenheit der Tanne begründen. Im Folgenden wird deshalb analysiert, ob die größere Sturmfestigkeit der Tanne den wirtschaftlichen Erfolg steigern kann.

Datengrundlage

Die Sturmwurfisiken wurden auf der Grundlage der im bayerischen Staatswald erhobenen Inventurdaten analysiert. Bei den permanenten Betriebsinventuren im bayerischen Staatswald wird bei der Wiederholungsaufnahme vermerkt, ob Bäume, die seit der letzten Inventur ausgeschieden sind, Opfer eines Windwurfs wurden. Sturmwürfe sind im Gegensatz zu Sturmbruch auch nach Aufarbeitung anhand der angeschobenen Stöcke und Wurzelteller häufig zu erkennen. Die Tanne dürfte auf Grund ihres Wurzelsystems im Vergleich zur Fichte stabiler bei drohendem Sturmwurf als bei drohendem Bruch sein, insofern ist die Begrenzung auf

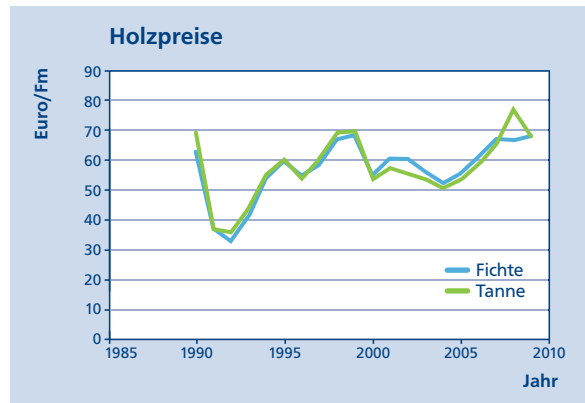


Abbildung 3: Entwicklung der Preise für Stammholz der Stärke 2b von Fichte und Tanne im Staatswald Bayerns (unentrindet, frei Waldstraße)

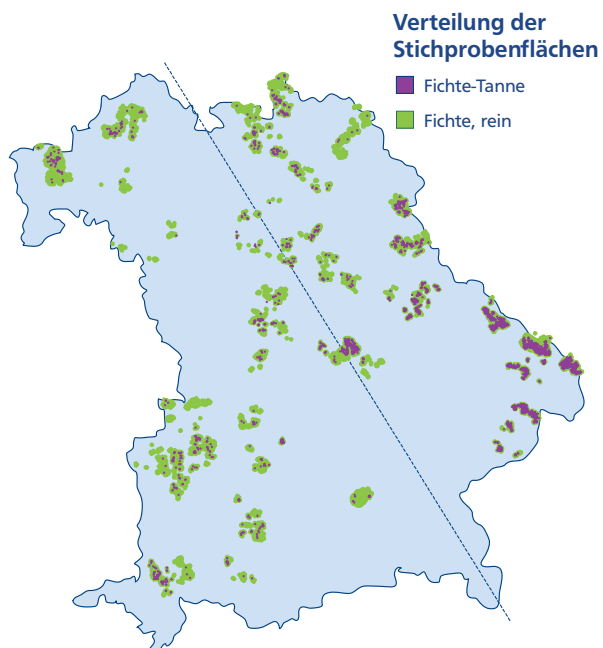


Abbildung 4: Die Verteilung der Stichprobenflächen mit reiner Fichte (Anteil ≥ 80 Prozent) und von Fichte und Tanne. Die Linie zeigt die Grenze zwischen den Straten West und Ost.

Wurfrisiken bei dieser Analyse zweckmäßig. Die Inventurdaten wurden im Zeitraum von 1985 bis Ende 2006 aufgenommen. Der Datensatz umfasst keine Stichprobenflächen aus dem Alpenraum. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Stichprobenflächen.

Im Erhebungszeitraum der Daten betrafen starke Stürme vor allem den Westen Bayerns. Ostbayern wurde kurz vorher (1984) und unmittelbar danach (2007) von Orkanen heimgesucht. Aus diesem Grund wurden die Daten entlang einer Geraden zwischen Bamberg und Landshut nach West und Ost getrennt. Für Fichten-Reinbestände gab es circa 29.000 Stichprobenflächen, für

reine Fichten-Bestände in der Nachbarschaft von Tanne circa 3.500 und für Fichten-Tannen-Bestände mit ähnlichem Alter beider Baumarten etwa 3.000 Stichprobenflächen mit im Durchschnitt 81 Prozent Anteil von Fichte und Tanne an der Grundfläche. Fichte und Tanne unterschieden sich im Alter um maximal 30 Prozent. Stichproben mit reiner Tanne gab es nur knapp 600, davon lagen fast drei Viertel im Osten Bayerns. Der Zeitraum zwischen den beiden Inventuren betrug im Mittel zehn Jahre. Als Reinbestand wurden Stichproben-

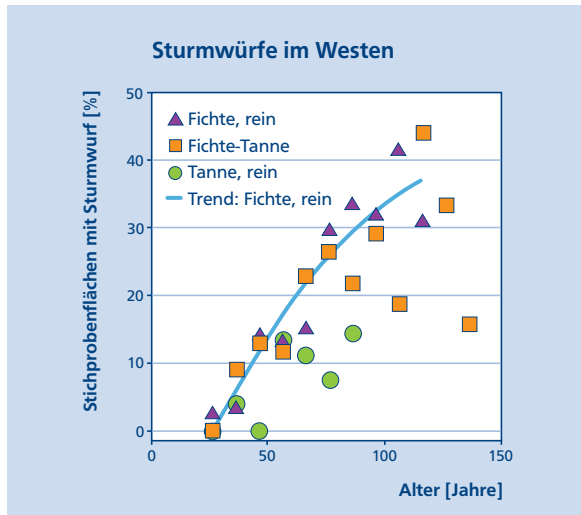


Abbildung 5: Die Häufigkeit von Sturmwürfen zwischen zwei Inventuren in reinen Fichten-Beständen, Fichten-Tannen-Beständen und Tannen-Beständen im Westen Bayerns über dem Alter am Beginn der Periode; nur Stichprobenflächen mit reiner Fichte wurden einbezogen, wenn in demselben Waldort auch Tanne vorkam.

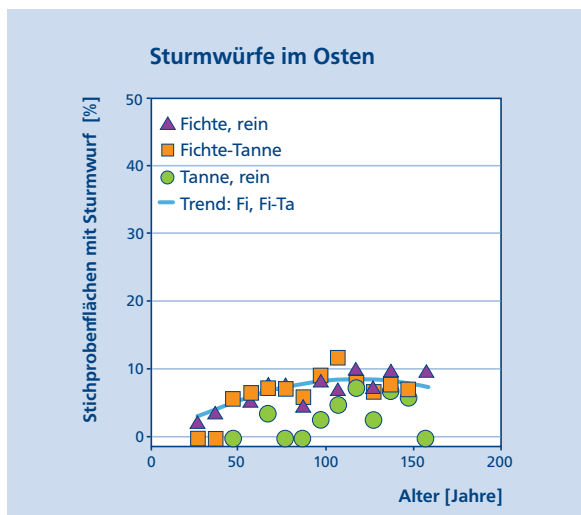


Abbildung 6: Die Häufigkeit von Sturmwürfen zwischen zwei Inventuren in reinen Fichten-Beständen, Fichten-Tannen-Beständen und Tannen-Beständen im Osten Bayerns über dem Alter am Beginn der Periode; nur Stichprobenflächen mit reiner Fichte wurden einbezogen, wenn in demselben Waldort auch Tanne vorkam

flächen von Fichte oder Tanne klassifiziert, wenn ihr Anteil 80 Prozent oder mehr betrug. Stichprobenflächen mit reiner Fichte wurden nur mit Flächen mit Fichte-Tanne oder reiner Tanne verglichen, wenn in demselben Waldort auch die Tanne vorkam. Auf diese Weise sollten mögliche Standortsunterschiede als Grund für eine unterschiedliche Standfestigkeit der Baumarten weitgehend ausgeschlossen werden.

Als Maßstab für die ökonomische Bewertung wurde der Bodenertragswert¹ verwendet. Der Kalkulation wurde ein Zinssatz von zwei Prozent zugrunde gelegt. Als Kulturkosten wurden 3.500 Euro pro Hektar veranschlagt. Verwaltungskosten wurden außer Acht gelassen. Bei der Berechnung der Holzerlöse wurden die von den Bayerischen Staatsforsten während der letzten fünf Jahre erzielten durchschnittlichen Holzpreise herangezogen. Für die Erntekosten wurden Leistungszahlen der maschinellen Holzernte und Stundensätze nach Pausch und Ponitz (2002) sowie nach Lüthy (1997), korrigiert von Pausch, verwendet. Das Wachstum eines Fichten-Reinbestandes wurde mit dem Programm SILVA modelliert. Dabei wurde ein nährstoffreicher Standort im Alpenvorland zugrunde gelegt. Das Wachstum eines Fichten-Tannen-Bestandes wurde modelliert, indem die Vorratswerte des Fichten-Reinbestandes entsprechend dem in Abbildung 2 dargestellten Verhältnis reduziert wurden. Die Risiken von Sturmschäden wurden berücksichtigt, indem die Erwartungswerte der Bodenertragswerte berechnet wurden. Dazu wurden die möglichen Abtriebslöse mit den Wahrscheinlichkeiten für das Ausscheiden eines Bestandes infolge eines Sturmwurfeignisses bzw. für das Überleben des Bestandes während des folgenden Jahrzehntes gewichtet. Im Falle des Ausscheidens auf Grund von Sturmwurf wurde der erntekostenfreie Abtriebslös um die Hälfte reduziert (Dieter 1997, S. 97). Zur Herleitung der bedingten Wahrscheinlichkeiten für das Überleben von Beständen sei auf Dieter (1997, S. 29) verwiesen.

Ergebnisse

Sturmwürfe waren im Westen und Osten Bayerns unterschiedlich häufig (Abbildungen 5 und 6).

¹ Der Bodenertragswert ist der Gegenwartswert aller künftigen Ein- und Auszahlungen aus dem Wald mit unendlichem Zeithorizont. Dabei wird von einem noch unbestockten Waldboden ausgegangen.

Im Westen stieg der Anteil der innerhalb eines Jahrzehnts von Sturmwurf betroffenen Stichprobenflächen mit dem Alter der Bestände auf Werte von teilweise mehr als 40 Prozent an, im Osten blieb er meist unter zehn Prozent. Der Zusammenhang der Sturmwurf-Häufigkeit mit dem Alter war im Westen insbesondere bei den Fichten-Reinbeständen sehr eng, im Osten dagegen kaum ausgeprägt. Gleichwohl besteht eine kausale Beziehung vorrangig mit der Baumhöhe (König 1995; Schmidt et al. 2006). Die Baumhöhe korreliert eng mit dem Alter. Für die ökonomischen Betrachtungen wird jedoch der Alterszusammenhang benötigt. Werden alle im Westen gelegenen Fichten-Reinbestände, von denen Wiederholungsaufnahmen vorliegen, in die Auswertung einbezogen, ist der Zusammenhang mit dem Alter noch enger (Abbildung 7). In der Altersspanne von etwa 60 bis 120 Jahren, in der meist die Endnutzungsentscheidung fällt, verlaufen beide Kurven nahezu identisch. In Fichten-Tannen-Beständen im westlichen Teil Bayerns streuten die Werte über dem Alter stärker. Dies dürfte auf dem geringen Stichprobenumfang beruhen.

Sturmwürfe waren in Fichten-Tannen-Beständen offensichtlich nicht weniger häufig als in Fichten-Reinbeständen. Die Stichprobenflächen mit reiner Tanne waren im Westen seltener von Sturmwurf betroffen. Allerdings war hier die Zahl der Stichproben zu gering, um daraus Schlüsse ziehen zu können.² Häufig wurden bei den Sturmwürfen nicht alle Bäume geworfen. Meistens war nur ein geringer Teil der Grundfläche betroffen (Abbildung 8).

Abbildung 8: Die Häufigkeit von Stichprobenflächen mit Sturmwurf verteilt über dem Schadensausmaß in reinen Fichten-Beständen und Fichten-Tannen-Beständen im Westen Bayerns; der Anteil der geworfenen Grundfläche steht für das Schadensausmaß.³

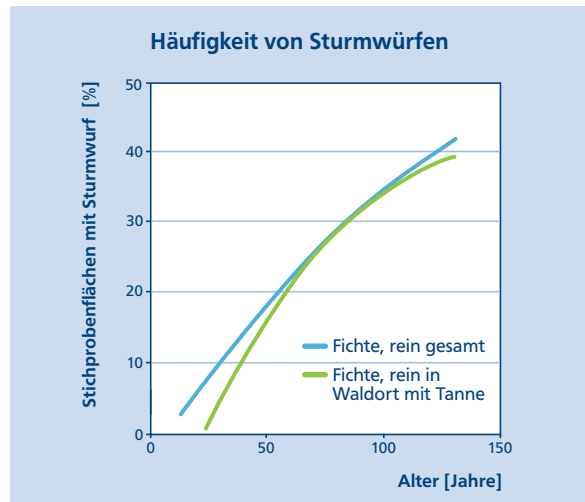
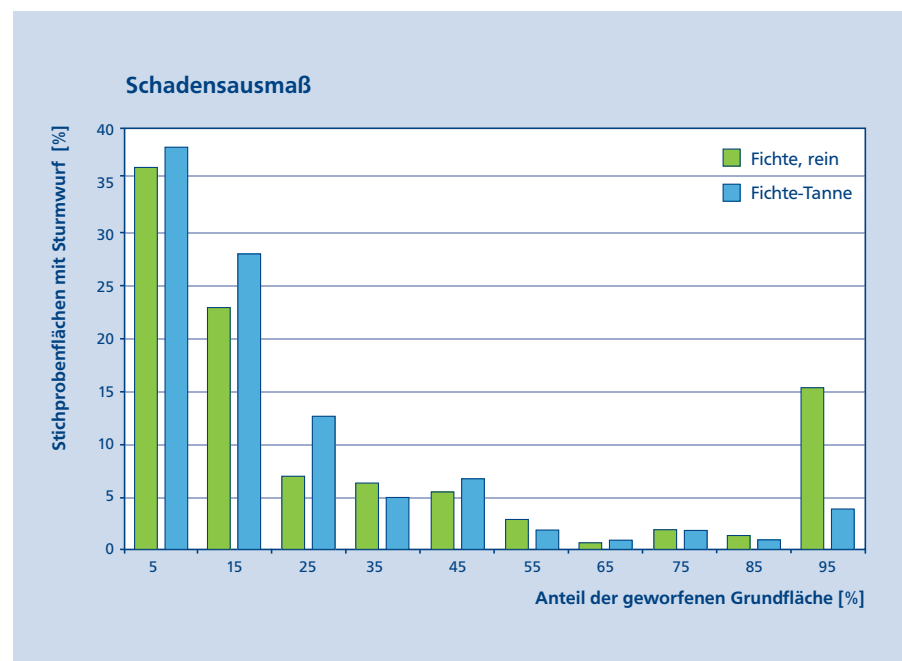


Abbildung 7: Die Häufigkeit von Sturmwürfen zwischen zwei Inventuren in reinen Fichten-Beständen im Westen Bayerns über dem Alter am Beginn der Periode; eine Trendlinie bezieht sich auf alle Stichprobenflächen mit reiner Fichte ($N=14.942$, $R^2=0,98$), die andere nur auf Flächen, bei denen in demselben Waldort auch Tanne vorkam ($N=762$, $R^2=0,89$).

Dabei unterscheiden sich reine Fichten- und Fichten-Tannen-Bestände deutlich. Reine Fichten-Beständen wurden viel häufiger vollständig geworfen. Die Grundfläche der geworfenen Bäume in den vom Sturmwurf betroffenen Stichprobenflächen mit Fichte-Tanne war im Westen mit 23 Prozent hochsignifikant⁴ niedriger als in denen mit reiner Fichte (35 Prozent). Innerhalb der Fichten-Tannen-Bestände war in etwa der Hälfte der Fälle (52 Prozent) nur die Fichte vom Sturmwurf betroffen. In wenigen Fällen (elf Prozent) war allein die Tanne be-

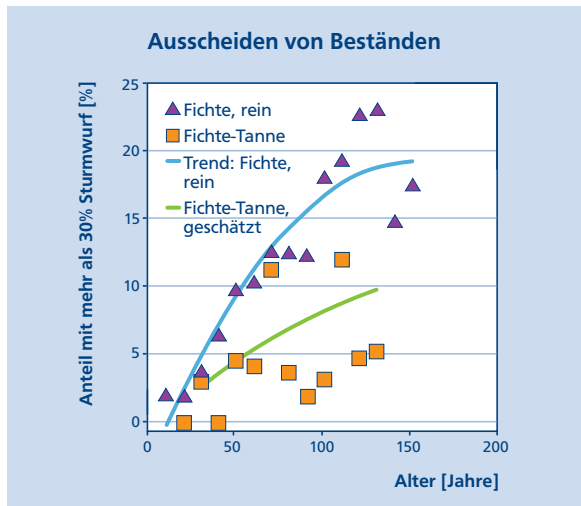


Abbildung 9: Die Häufigkeit von Sturmwürfen mit mehr als 30 Prozent betroffener Grundfläche zwischen zwei Inventuren in reinen Fichten-Beständen und Fichten-Tannen-Beständen im Westen Bayerns über dem Alter am Beginn der Periode

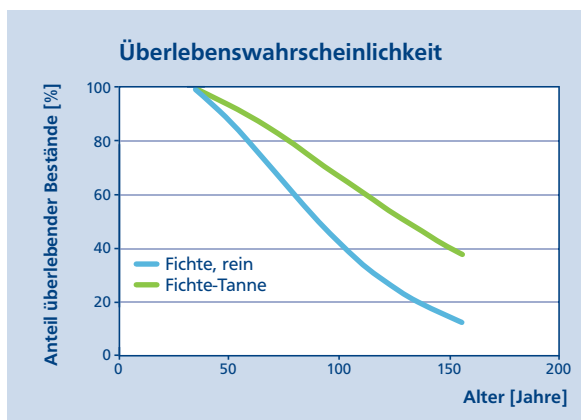


Abbildung 10: Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit über dem Alter für reine Fichten-Bestände und Fichten-Tannen-Bestände im Westen Bayerns unter Sturmwurftrisiken

troffen. Im Osten Bayerns wurde in den gemischten Beständen sogar in 59 Prozent der Fälle allein die Fichte geworfen. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Umfang der vom Sturmwurf betroffenen Grundfläche und dem Baumartenanteil in den gemischten Beständen war nicht zu erkennen. In den Tannen-Reinbeständen im Westen Bayerns unterschied sich der vom Sturmwurf betroffene Anteil an der Grundfläche nicht signifikant von dem in den gemischten Beständen. Nehmen wir an, dass nur Bestände mit einem Schadensausmaß von mehr als 30 Prozent der Grundfläche einen Sturmwurf nicht überleben werden, ergibt sich die in Abbildung 9 dargestellte Häufigkeit für das Ausscheiden der Bestände.

Die Häufigkeiten bei den Fichten-Tannen-Beständen streuen erheblich. Dies ist auf die geringe Zahl der Fälle mit größerem Schadensausmaß zurückzuführen.⁵ Aus diesem Grund wurde die Ausgleichskurve für die Fichten-Tannen-Bestände nicht aus der Punktwolke in Abbildung 9 geschätzt. Stattdessen wurde von der Häufigkeit von Sturmwürfen in den reinen Fichtenbeständen ausgegangen (siehe Abbildungen 5 und 7), weil sich Fichten-Tannen-Bestände darin offensichtlich nicht von reinen Fichten-Beständen unterschieden. Diese Häufigkeit wurde mit der durchschnittlichen Häufigkeit von Fällen mit mehr als 30 Prozent betroffener Grundfläche in Fichten-Tannenbeständen (23 Prozent der Fälle) multipliziert. Aus den Kurven in Abbildung 9, die das Ausscheiden der Bestände infolge eines Sturmwurfs beschreiben, lassen sich die in Abbildung 10 dargestellten Kurven von Überlebenswahrscheinlichkeiten errechnen.

Diese sind so zu interpretieren, dass ein heute begründeter Bestand, der Sturmwurftrisiken unterliegt, wie sie in den vergangenen zwei Jahrzehnten im Westen Bayerns bestanden, mit einer Wahrscheinlichkeit von 65 Prozent nach 75 Jahren noch existiert und das folgende Jahrzehnt überleben wird. Ein Fichten-Tannen-Bestand wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 82 Prozent nach 75 Jahren noch bestehen und das folgende Jahrzehnt überleben. Dabei wurde unterstellt, dass Sturmwürfe erst ab einem Alter von 40 Jahren beginnen, auch wenn nach den Inventurdaten in Einzelfällen auch in jüngerem Alter Fälle von Sturmwurf vorkamen. Dabei kann es sich auch um Nachhiebsreste gehandelt haben. Gleichung für die Wahrscheinlichkeit P des Ausscheidens eines Bestandes über dem Alter (Abbildung 9):

$$P(\text{Fichte, rein}) = -0,00001 \times \text{Alter}^2 + 0,0031 \times \text{Alter} - 0,0483$$

$$P(\text{Fichte-Tanne}) = -0,000003 \times \text{Alter}^2 + 0,0012 \times \text{Alter} - 0,0113$$

² Auf 12 von 158 Stichprobenflächen mit reiner Tanne kamen im Westen Bayerns Sturmwurfsschäden vor.

³ Nur Stichprobenflächen mit reiner Fichte wurden einbezogen, wenn in demselben Waldort auch Tanne vorkam. Die Grundfläche bezieht sich auf den Beginn der Periode.

⁴ Irrtumswahrscheinlichkeit bei zweiseitigem t-Test < 1 Prozent

⁵ In 22 von 95 Flächen mit Sturmwurf war mehr als 30 Prozent der Grundfläche betroffen. Im Westen Bayerns gab es insgesamt 447 Stichprobenflächen mit Fichte-Tanne.

Ohne Berücksichtigung von Sturmwurftrisiken errechnen sich die in Abbildung 11 dargestellten Bodenertragswerte.

Die höheren Ertragswerte in den reinen Fichten-Beständen beruhen allein auf ihrer höheren Wuchsleistung. Der beste Zeitpunkt für die Endnutzung der Bestände wäre ein Alter von 75 Jahren, weil dann die höchsten Bodenertragswerte erzielt werden könnten. Werden die Sturmwurftrisiken berücksichtigt, ergeben sich die in Abbildung 12 dargestellten Kurven für die Erwartungswerte.

Die zu erwartenden Ergebnisse sind niedriger als die ohne Berücksichtigung einer Sturmwurfgefährdung. Hier ist der Kurvenverlauf für die reinen Fichten-Bestände und die Fichten-Tannen-Bestände bis zur Kulmination im Alter von 75 Jahren nahezu identisch. In höheren Altern sind die gemischten Bestände den reinen Fichten-Beständen sogar überlegen. Zusammenfassend ist festzustellen, dass gemischte Bestände aus Fichte und Tanne auf Grund ihrer größeren Stabilität bei Stürmen ihre etwas geringere Wuchsleistung im Vergleich zu reinen Fichten-Beständen kompensieren können. Der wirtschaftliche Erfolg beider Bestandesformen unterscheidet sich unter Berücksichtigung der Sturmwurftrisiken kaum.

Wie Abbildung 13 zeigt, spielen andere Bedingungen eine weit größere Rolle: Lässt sich ein Bestand über Naturverjüngung begründen, kann der Erfolg um ein beträchtliches Maß gesteigert werden. Ist die Begründung nur im Wege der Pflanzung möglich und bedarf die Kultur auch noch eines Zaunschutzes, ist das wirtschaftliche Ergebnis fast null.

Diskussion

Die permanenten Waldinventuren im bayerischen Staatswald stellen eine umfangreiche Datenquelle für die Analyse von Sturmwurftrisiken dar. Die Sturmwurf-schäden lassen sich bei dieser Analyse nicht bestimmten Stürmen und damit bekannten Sturmstärken zuordnen, wie es Schmidt et al. (2006) im Fall des Orkans Lothar im Jahr 1999 möglich war. Sie beziehen sich auf das Sturmgeschehen, das in einem längeren Zeitraum in einem Gebiet auftritt. Die großen regionalen Unterschiede in der Häufigkeit der Sturmwürfe zeigen, dass selbst ein Zeitraum von etwa zwei Jahrzehnten, aus dem die Daten stammen, knapp bemessen ist, um die Sturmwurftrisiken abzubilden, denen die Waldbestände

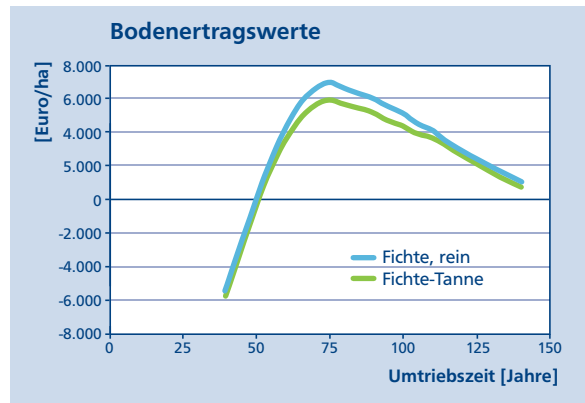


Abbildung 11: Die möglichen Bodenertragswerte in reinen Fichtenbeständen und Fichten-Tannen-Beständen auf einem wuchskräftigen Standort im Alpenvorland ohne Berücksichtigung von Risiken über der Umtriebszeit in Jahren

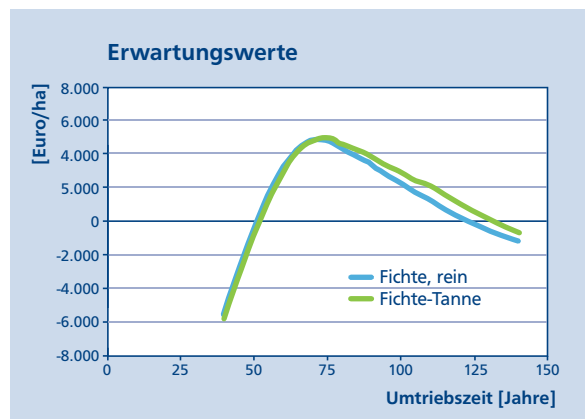


Abbildung 12: Die Erwartungswerte der Bodenertragswerte in reinen Fichtenbeständen und Fichten-Tannen-Beständen unter Sturmwurftrisiken über der Umtriebszeit in Jahren

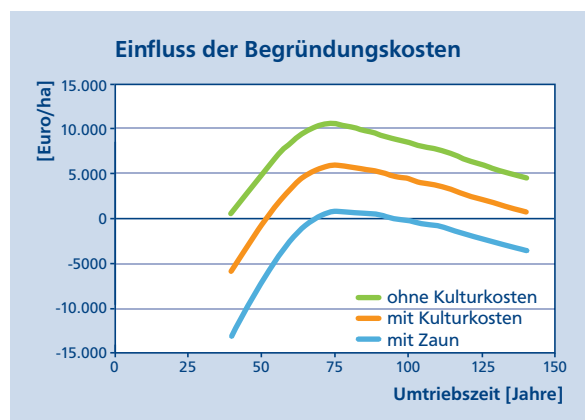


Abbildung 13: Die möglichen Bodenertragswerte in Fichten-Tannen-Beständen über der Umtriebszeit in Jahren ohne Berücksichtigung von Sturmwurftrisiken mit und ohne Ansatz von Kulturkosten sowie mit Ansatz von Kulturkosten und Zaunschutz, wobei Zaunkosten in Höhe von 4.000 Euro pro Hektar kalkuliert wurden.

langfristig unterliegen. Hätte der Datensatz Inventuren umfasst, die nach dem Orkan Kyrill zu Beginn des Jahres 2007 im Osten Bayerns durchgeführt wurden, wären vermutlich weniger starke regionale Unterschiede festgestellt worden. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Voraussetzungen dürften im Osten Bayerns skelettreiche und gut durchlüftete Waldböden häufiger sein. Deshalb ist eine größere Überlebenswahrscheinlichkeit der Bestände bei gleichen Windgeschwindigkeiten durchaus plausibel.

Der Zusammenhang zwischen Baumart und der Wahrscheinlichkeit eines Sturmwurfs wurde bei den bisherigen Arbeiten unterschiedlich bewertet. König (1995) stellte zwar einen signifikanten Einfluss der Bestandesform fest. Die Baumhöhe, der Standort und der Zeitraum seit der letzten Durchforstung hatten jedoch einen weit aus stärkeren Einfluss (König 1995). Schmidt et al. (2006) ermittelten ein geringeres Risikoniveau der Tanne im Vergleich zur Fichte. Nach den Analysen von Albrecht (2009) erklärt die Baumart neben der Baumhöhe den größten Teil des Sturmschadensrisikos. Auch bei ihm erwies sich die Tanne als weit weniger gefährdet im Vergleich zur Fichte. Er bestätigte außerdem einen deutlichen Einfluss der vorausgegangenen waldbaulichen Behandlung. Selbst wenn der Einfluss der Baumart nicht erheblich sein sollte, kann dies doch, wie hier gezeigt, der ausschlaggebende Beitrag sein, der die Tanne der Fichte wirtschaftlich ebenbürtig macht.

Eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse auf Grund unterschiedlicher Standorte sollte dadurch vermieden werden, dass Stichproben mit reiner Fichte nur berücksichtigt wurden, wenn in demselben Waldort auch die Tanne wuchs. Dennoch gibt es natürlich auch innerhalb des Waldortes Standortunterschiede und eine Verzerrung kann nicht vollständig ausgeschlossen werden. Das geringere Ausmaß der Sturmwurfschäden in Fichten-Tannen-Beständen beruht wohl vor allem auf der geringeren Betroffenheit der Tanne. Es wäre auch denkbar, dass auf Grund der Verflechtungen der Wurzelsysteme die Tannen in den gemischten Beständen die Fichten stärker im Boden verankern könnten. Das muss zwar weiterhin nicht ausgeschlossen werden. Das häufige selektive Ausscheiden der Fichte deutet jedoch darauf hin, dass dieser Effekt, wenn er bestehen sollte, eher gering ist. Weil der kausale Zusammenhang zum Sturmrisiko weniger auf dem Bestandesalter, sondern auf der Baumhöhe beruht, wird die Überlebenswahrscheinlichkeit je nach der Wachstumsleistung in einem bestimmten Alter eher größer oder kleiner sein als hier dargestellt.

Beinhofer (2010) stellte ebenfalls Kurven für die Überlebenswahrscheinlichkeit von Baumarten dar, die er aus unterschiedlichen Quellen abgeleitet hatte. Die von ihm für die Fichte gezeigte Kurve entspricht fast exakt der Kurve, die in Abbildung 10 die Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichten-Tannen-Bestände beschreibt. Dabei berücksichtigt er nicht nur Sturmwurfrisiken, sondern auch andere Gefährdungen, denen die Fichte unterliegt. Die von ihm für die Fichte beschriebenen Überlebenswahrscheinlichkeiten sind also viel höher als die hier für die reinen Fichten-Bestände im Westen Bayerns geschätzten Wahrscheinlichkeiten. In Anbetracht der erheblichen regionalen Unterschiede, die bei einer Betrachtung von nur zwei Jahrzehnten bestehen können, sowie der Unterschiede zwischen gemischten und reinen Fichten-Beständen erscheinen die Unterschiede in den Kurven nicht widersprüchlich. Für die längerfristig bestehenden Sturmwurfrisiken in Süddeutschland dürfte die hier beschriebene Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichte zutreffender sein.

Bei den vorstehenden Betrachtungen wird der schlagweise Hochwald als Bewirtschaftungsmodell zugrunde gelegt. Die Weißtanne vermag sich allerdings eher in Systemen mit langfristigen Verjüngungsverfahren oder in Plenterwäldern gegenüber anderen Baumarten zu behaupten. Für solche Bewirtschaftungssysteme gibt es andere ökonomische Bewertungskriterien als den Bodenertragswert (Knoke 1998; Borchert 2002). Soll das Risiko von Sturmwürfen dabei berücksichtigt werden, müsste es dort auf der Ebene der Einzelbäume zunächst in das Wachstumsmodell einbezogen werden. Ansätze dazu zeigte Müller (2002) auf. Auch das Erklärungsmodell von Schmidt et al. (2006) und eines von Albrecht (2009) beziehen sich auf Einzelbäume.

Das waldbauliche Ziel für die Standorte, die im Zuge der Klimaveränderung für die Fichte verbleiben, werden weder reine Fichten-Bestände noch Fichten-Tannen-Bestände, sondern eher Bestände aus Fichte, Tanne und Buche sein. In dieser Kombination mit Buche ergeben sich dann auch Vorteile auf Grund der unterschiedlichen Marktrisiken, denen die Baumarten ausgesetzt sind (Knoke 2008).

Literatur

Albrecht, A. (2009): *Sturmschadensanalysen langfristiger waldwachstumskundlicher Versuchsflächendaten in Baden-Württemberg*. Freiburger Forstliche Forschung Band 42, 174 S.

Beinhofer, B. (2010): *Zur Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft – Finanzielle Optimierungsansätze zur Bewertung von Diversifikationseffekten*. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 208

Borchert, H. (2000): *Die Bestimmung der für Forstbetriebe ökonomisch optimalen Holznutzungsmengen – Ein kontrolltheoretischer Ansatz*. Dissertation Universität München, 176 S.

Dieter, M. (1997): *Berücksichtigung von Risiko bei forstbetrieblichen Entscheidungen*. Schriften zur Forstökonomie Band 16. Frankfurt a. M., J. D. Sauerländer's Verlag

Knoke, T. (1998): *Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald – zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern*. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 170

Knoke, T. (2008): *Zur Rolle der Douglasie in einem finanziell optimierten Baumarten-Portfolio*. LWF Wissen 59, S. 83–87

König, A. (1995): *Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald – Ein Erklärungs- und Prognosemodell*. Frankfurt a. M., J. D. Sauerländer's Verlag, 194 S.

Lüthy, C. (1997): *Holzrücken mit Forwarder - Grundlagen zur Leistungsschätzung*. Wald und Holz 4, S. 33–35, zitiert und korrigiert nach bzw. von Pausch, R.

Müller, F. (2002): *Modellierung von Sturm-, Schnee- und Rotfäulerisiko in Fichtenbeständen auf Einzelbaumebene*. Dissertation TU München, 180 S.

Pausch, R.; Ponitz, K. (2002): *Leistung von Harvestern bei unterschiedlichen Hiebsbedingungen auf der Basis langfristiger Beobachtung*. Forst und Technik 4

Schmidt, M.; Bayer, J.; Kändler, G. (2006): *Sturm „Lothar“ - Ansatz einer inventurbasierten Risikoanalyse*. Vortrag auf der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde des DVFFA

Key words: Storm damages, risk, spruce, fir, land expectation value, probability of survival

Summary: Because of climate change the area covered from spruce (*Picea abies*) will decrease considerable in Southern Germany. Currently forest owners convert pure spruce stands into mixed stands composed of spruce, beech (*Fagus sylvatica*) and fir (*Abies alba*). Particularly in the regions which remain suitable for spruce the question pose, if there are economic advantages of fir over spruce. The timber prices, timber growth and difficult regeneration conditions don't argue for an economic superiority of fir. The risk of storm damages differs between both tree species significantly as an analysis of forest inventory data from the Bavarian state forest show. Although the risk of being affected by a windstorm seems to be not lower in mixed stands of fir and spruce, pure stands of spruce suffer more damages. From forest inventory data the probability of survival of the stands and the land expectation value were calculated. The land expectation value was weighted with the probabilities of survival or loss caused by storm damages and the corresponding differences in the stumpage values. Considering the risk, mixed stands of spruce and fir can yield the same profit, even if the timber growth of mixed stands is somewhat lesser. But in the long term the profitability depends much more on the amount of regeneration costs.

Tanne – vom Sorgenkind zum Hoffnungsträger

Andreas Rothe, C. Dittmar und C. Zang

Schlüsselwörter: Tanne, Schwefel, Klimawandel, Jahrringe

Zusammenfassung: Hohe Schwefeleinträge haben in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts die Vitalität der Tanne in Süddeutschland massiv beeinträchtigt. Jahrringanalysen zeigen deutlich den damit verbundenen Zuwachsrückgang. Nach dem Rückgang der Schwefeleinträge ab den 1980er Jahren hat sich die Tanne erholt und auch Extremereignisse wie den Hitzesommer 2003 gut überstanden. Die Ergebnisse eines neuen Forschungsprojektes, in dem an zahlreichen Standorten in Bayern Jahrringmessungen durchgeführt wurden, belegen, dass die Tanne auf Trockenereignisse deutlich schwächer reagiert als die Fichte. Damit ist die Tanne auf vielen Standorten eine interessante Ersatzbaumart für die Fichte im Hinblick auf die prognostizierten Klimaveränderungen. Dies gilt insbesondere für submontane bis montane Regionen mit ausreichendem Niederschlag während der Vegetationszeit, dagegen stoßen auch gesunde Tannen in kollinen Gebieten mit warm-trockenen Klimabedingungen an ihre Grenzen.

In den 1970er und 1980er Jahren wurde die Anbaueignung der Tanne auf Grund des Tannensterbens vielerorts in Frage gestellt. Dagegen gilt sie heute im Zeichen des Klimawandels neben der Douglasie als die Hoffnungsträgerin unter den Nadelbäumen. Der folgende Beitrag geht auf der Basis umfangreicher Jahrringanalysen der Frage nach, warum sich die Bewertung der Tanne innerhalb eines – zumindest forstlich gesehen – sehr kurzen Zeitraumes derart stark verändert hat.

In den 70er und 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts war die zukünftige Anbaueignung der Tanne mit einem großen Fragezeichen versehen. Viele Tannen wiesen starke Schäden auf, die optisch vorwiegend an einer Verlichtung der Krone und an der für die Tanne typischen Storchennestbildung zu erkennen waren. Der Schädigungsprozess führte teilweise bis zum Absterben der Bäume und wurde deshalb mit dem Begriff „Tannensterben“ umschrieben. Die äußerlich sichtbare Schädigung der Tannenkronen war auch mit einem Rückgang der Jahrringbreiten bis hin zum vollständigen Ausfall von Jahrringen verbunden.

Abbildung 1 zeigt dies exemplarisch an einem Tannenkollektiv aus dem Frankenwald, der wie das gesamte nordostbayerische Grenzgebirge vom „Tannensterben“ besonders stark betroffen war. Die Ursachen für das Tannensterben wurden damals kontrovers diskutiert. Einerseits wurden Luftschadstoffe (insbesondere Schwefeldioxid) als Hauptursache genannt, andererseits gab es Hypothesen, die die Auswirkungen von Klimaextremen (Dürre, Frost) in den Vordergrund stellten. Auf Grund der schlechten Vitalität der Tanne insbesondere im Trockenjahr 1976 haben ihr viele Experten auch schlechte Noten hinsichtlich Dürresistenz gegeben. In der umfangreichen Metaanalyse von Niinemets und Valladares (2006) wird die Tanne auf einer Stufe mit der Fichte als sehr dürreempfindliche Baumart eingestuft.

Tanne und Schwefeldioxid

Die umfangreichen Analysen, die gegen Ende des letzten Jahrhunderts im Zusammenhang mit dem „Waldsterben“ durchgeführt wurden, belegen klar, dass Tannen sehr empfindlich auf erhöhte Schwefeldioxid-Konzentrationen reagieren. Insbesondere bei langfristiger Exposition mit relativ niedrigen Konzentrationen sind Tannen deutlich anfälliger als Fichten und stellen einen sensiblen Bioindikator für Abgas-Fernwirkungen dar. In der Rückschau erstaunt es daher wenig, dass die stark gestiegenen Schwefelemissionen seit dem Zweiten Weltkrieg die Vitalität der Tanne massiv beeinträchtigt haben. Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Schwefelbelastung und dem Grad der Schädigung (Abbildung 2). Auch die zahlreichen Einzelbeispiele von Tannenschäden in der Umgebung lokaler Emittenten (z.B. Penzberg, Schwandorf, Ingolstadt) betätigen eindrucksvoll, wie hohe Schwefelemissionen damals der Tanne zugesetzt haben.

Gewidmet Prof. Dr. W. Elling, der die „Rehabilitation“ seiner Lieblingsbaumart leider nicht mehr vollständig miterleben durfte.

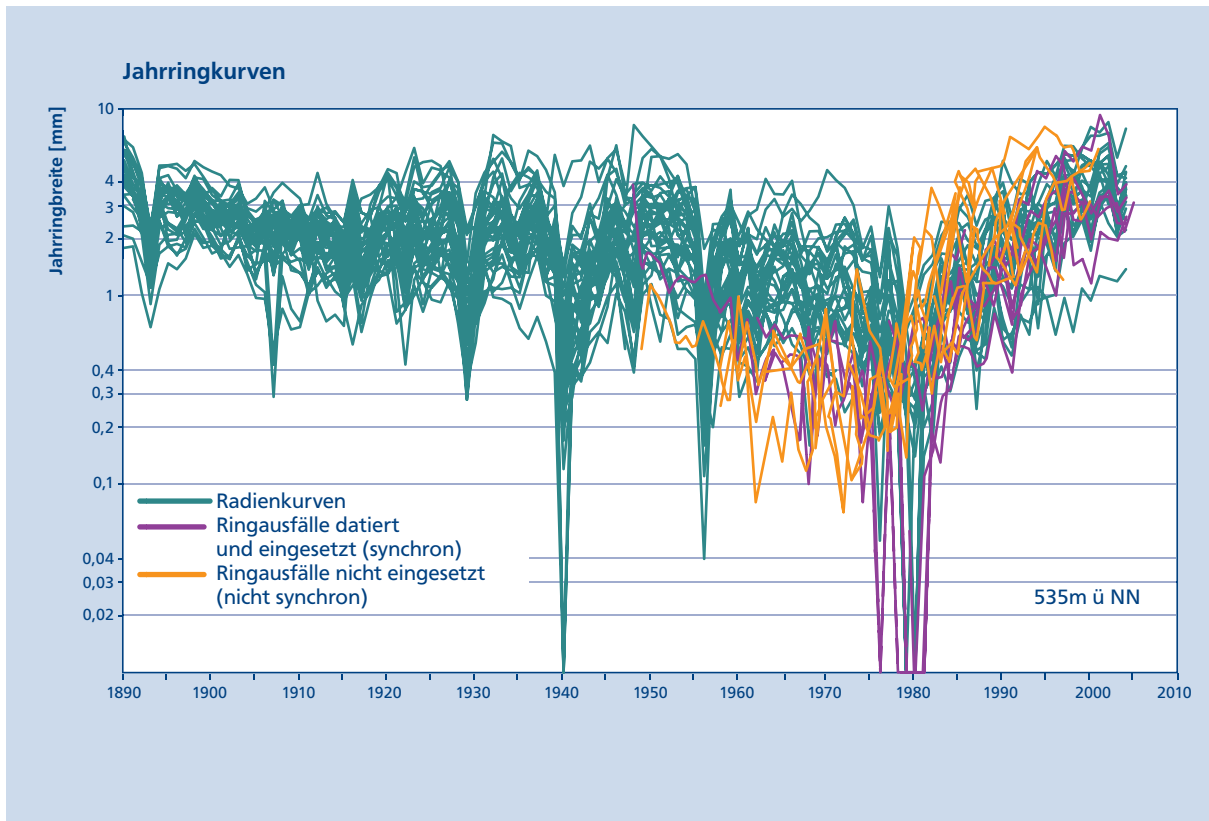


Abbildung 1: Jahrringkurven von 20 Tannen im Frankenwald (Rothenkirchen/Pfaffenberg); Kurven mit Jahrringausfällen sind orange und violett hervorgehoben. Auf 40 Bohrkernen wurden 129 fehlende Ringe nachgewiesen. 16 der 20 analysierten Bäume sind von Jahrringausfällen betroffen (nach Elling et al. 2007).

Es erstaunt nicht, dass derart vorgeschädigte Tannen auch empfindlich auf Witterungsextreme reagieren, ähnlich wie ein geschwächter Mensch auch anfälliger ist für Krankheiten. Die Zuwachsrückgänge in Folge des Trockenjahres 1976 wurden oftmals als Trockenheitsanfälligkeit interpretiert, obwohl die primäre Ursache in der hohen Schwefelbelastung lag. Dies wird klar, wenn man die weitere Entwicklung der Tanne nach dem deutlichen Rückgang der Schwefelemissionen ab den 1980er Jahren betrachtet. Dank des Einbaus von Entschwefelungsanlagen gingen die Schwefelemissionen bis heute um über 90 Prozent zurück. Die sichtbaren Schäden nahmen ab, auch Jahrringmessungen belegen die Zunahme der Vitalität der Tanne. Wolfram Elling hat seine umfangreichen dendroökologischen Arbeiten in Süddeutschland zu dieser Fragestellung in Abbildung 3 zusammengefasst. Deutlich zu sehen ist, dass das Maximum der Schwefelemissionen in den 1970er Jahren mit dem Minimum der Radialzuwächse zusammenfällt und die Jahrringbreiten der Tannen seitdem bis zur Jahrtausendwende stetig angestiegen sind. Heute liegen die Schwefelemissionen fast in ganz Mitteleuropa auf einem akzeptablen Niveau und die Grenzwerte für eine Schädigung der Tanne (zehn bis 15 Mikrogramm Schwefeldioxid pro Kubikmeter) werden in Süddeutschland in der Regel weit unterschritten.

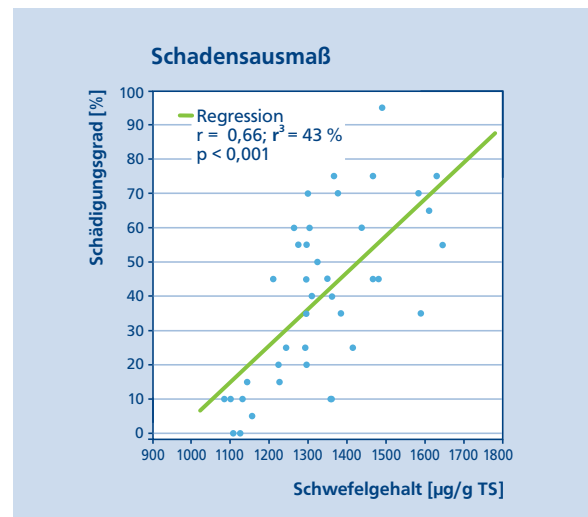


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Schwefelbelastung und Schädigungsgrad der Tanne an 41 Standorten in Süddeutschland; als Maß für den Schädigungsgrad steht hier der Anteil der Bäume mit Jahrringausfällen pro Bestand (nach Elling et al. 2007).

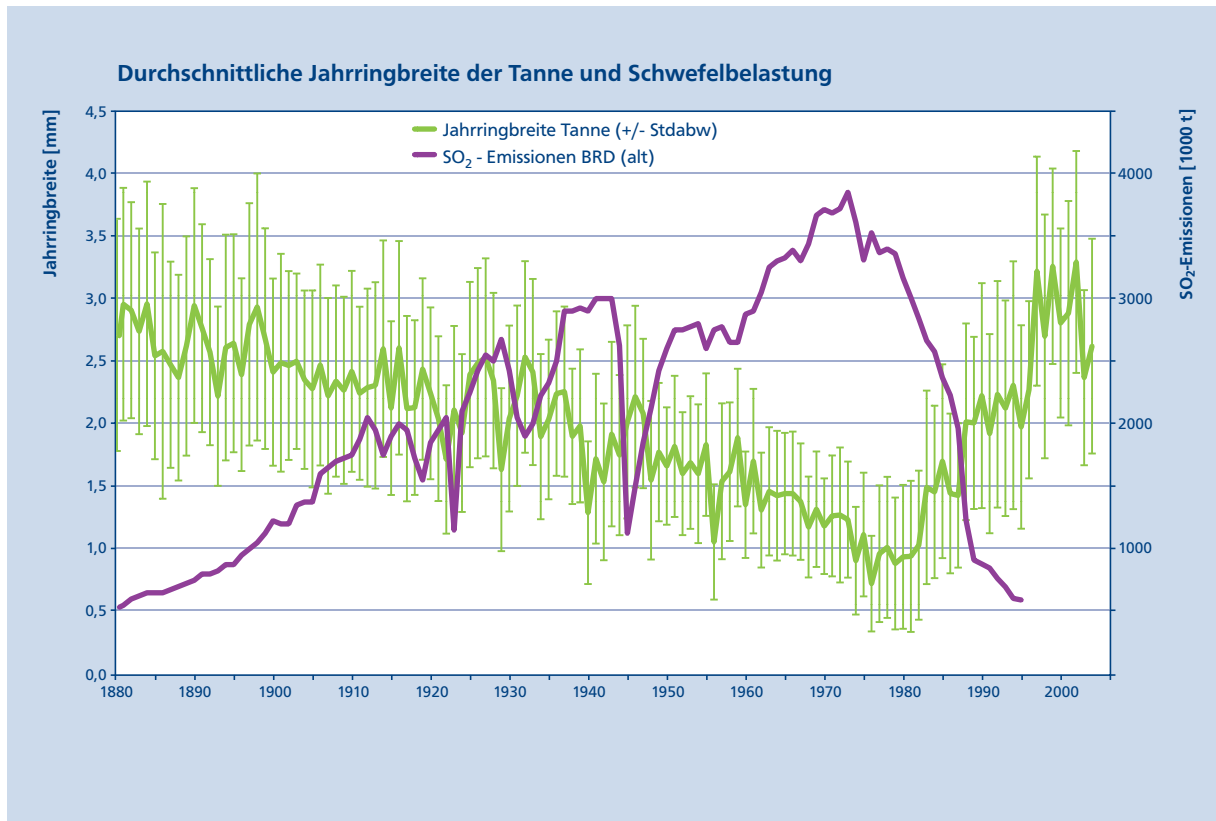


Abbildung 3: Schwefeldioxidemissionen in der ehemaligen Bundesrepublik und durchschnittliche Jahrringbreite von 1.010 Tannen in Süddeutschland (nach Elling et al. 2007)

Tanne und der Klimawandel

Nach dem Rückgang der Schwefelemissionen soll jetzt die Trockenempfindlichkeit der »nicht schwefelgeschädigten« Tanne beurteilt werden. Die Natur hat dafür mit dem Trockenjahr 2003 ein besonderes Bioexperiment bereitgestellt. In diesem Jahr lagen die Sommertemperaturen in Mitteleuropa um etwa 5°C über dem langjährigen Durchschnitt bei gleichzeitig geringen Niederschlägen. Damit war 2003 ein extremes Trockenjahr, das unter bisherigen Klimabedingungen sehr selten auftritt, aber unter den prognostizierten Klimaszenarien in Zukunft deutlich häufiger werden könnte. Im Rahmen eines vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Forschungsprojektes wurden deshalb umfangreiche dendroökologische Arbeiten durchgeführt, um die Reaktion der wichtigsten Wirtschaftsbaumarten auf ein derartiges Extremereignis zu analysieren. Insgesamt wurden circa 1.500 Bäume in Bayern und angrenzenden Gebieten einbezogen. Die Ergebnisse belegen klar, dass die Tanne weniger sensibel auf Trockenheit reagiert als die Fichte (Abbildung 4). Der Zuwachseinbruch im Trockenjahr war bei der Tanne signifikant geringer als bei der Fichte und auch die Einbeziehung der Erholung in den Folgejahren ergibt das gleiche Bild.

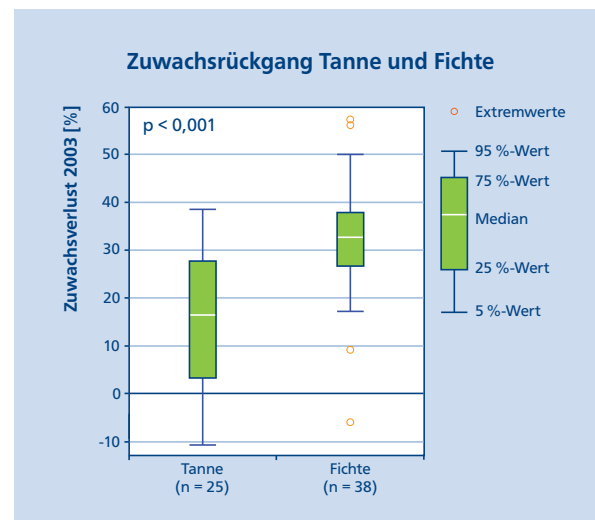


Abbildung 4: Rückgang des Radialzuwachses von Tanne und Fichte im Trockenjahr 2003 im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 1998–2002 (n = Anzahl Waldbestände)

Damit bestätigen sich auch die Ergebnisse unserer früheren Arbeiten, die in Gebieten mit geringerer Schwefelbelastung bereits im letzten Jahrhundert eine geringere Anfälligkeit der Tanne im Vergleich zur Fichte zeigten. Unsere wissenschaftlichen Ergebnisse decken sich mit den älteren Einschätzungen der forstlichen Praxis. Rebel schrieb im Jahr 1922: »Auf den heißen Südhängen des Jura gut aushaltend und hauptständig werdend, hat die Tanne im Trockenjahr 1911 keine Abgänge gehabt, sehr im Gegensatz zur Fichte.« Diese Aussage hätte auch gut auf das Trockenjahr 2003 gepasst, das die Tanne im Jura auch auf flachgründigen Südstandorten erstaunlich gut überstanden hat. Dagegen starben bekanntlich zahlreiche Fichten ab, insbesondere auf Grund von Borkenkäferschäden.

Dennoch bleibt die Tanne eine Baumart, die in montanen und submontanen Regionen mit ausreichend Niederschlägen daheim ist. Tannen »stecken« bei Niederschlägen über 500 Millimeter während der Vegetationszeit auch extreme Trockenjahre ohne nennenswerte Zuwachsverluste »weg«, in trockeneren Gebieten dagegen ist die Reaktion deutlich stärker ausgeprägt (Abbildung 5). Dies erklärt auch, warum der Zuwachsrückgang 2003 im Norden Bayerns stärker war als im niederschlagsreicheren Südbayern. In den trockeneren Gebieten Frankens gewinnt der lokale Standort zunehmend an Bedeutung. Tannen sind hier insbesondere auf tongründigen Standorten konkurrenzkräftig, auf denen eine stauende Schicht die Wassersickerung verzögert.

Folgerungen

Die hohen Schwefelemissionen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beeinträchtigten die Vitalität der Tanne erheblich und führten zu einer hohen Anfälligkeit gegenüber sekundären witterungsbedingten Stressfaktoren. Nach dem Rückgang der Schwefelemissionen hat sich die Tanne rasch erholt und ist heute deutlich weniger trockenheitsanfällig als die Fichte einzuwerten. Damit ist die Tanne unter den prognostizierten Klimaänderungen auf vielen Standorten eine interessante und ökologisch vorteilhafte Alternative zur Fichte. Dies gilt insbesondere für submontane bis montane Regionen mit ausreichendem Niederschlag während der Vegetationszeit, in kollinen Gebieten mit warm-trockenen Klimabedingungen stoßen dagegen auch gesunde Tannen an ihre Grenzen.

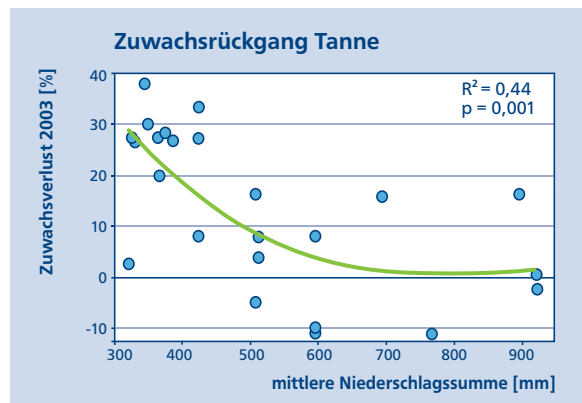


Abbildung 5: Rückgang des Radialzuwachses der Tanne im Trockenjahr 2003 in Abhängigkeit vom Niederschlag während der Vegetationszeit

Literatur

Elling, W.; Heber, U.; Polle, A.; Beese, F. (2007): *Schädigung von Waldökosystemen*. Elsevier-Verlag, München, 422 S.

Niinemets, U.; Valladares, F. (2006): *Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs*. Ecological Monographs 76, S. 521–547

Zang, C.; Rothe, A.; Pretzsch, H.; Weis, W. (2011): *Zur Baumarteneignung bei Klimawandel: Ableitung der Trockenstress-Anfälligkeit wichtiger Waldbaumarten aus Jahrringbreiten*. Eingereicht bei der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung

Key words : Silver Fir, sulphur, climate change, tree-rings

Summary: High deposition of sulphur strongly reduced the vitality of silver fir in Southern Germany during the second half of the 20th century. Tree-ring chronologies clearly reflect the reduction of growth rates. After the decrease of sulphur emissions starting in the 1980ies silver fir recovered and resisted even extreme climatic events like the heat wave of 2003 without serious problems. According to the results of a current research project investigating tree ring chronologies throughout Bavaria Silver fir is significantly less affected by drought compared to Norway spruce. Thus, silver fir has potential to replace Norway Spruce as a crop species at many sites under climate change scenarios especially in submontane and montane regions with sufficient precipitation during the growing season.

Verwendungsorientierte Managementstrategien für Buchen-Küstentannen-Mischbestände

Hermann Spellmann, Mark Geb, Jürgen Nagel, Ralf Nagel und Matthias Schmidt

Schlüsselwörter: Weißtanne, Küstentanne, Waldwachstum, Holzverwendung, Bestandesbehandlung

Zusammenfassung: Auf dem deutschen Holzmarkt zeichnen sich mittelfristig Versorgungsengpässe für schwächere Nadelholz-Sortimente ab. Einen wesentlichen Beitrag zur Lösung dieses Problems kann unter Umständen der Anbau der schnell wachsenden Küstentannen in Mischung mit der heimischen Buche leisten. Verwendungsorientierte Managementstrategien für Buchen-Küstentannen-Mischbestände werden vorgestellt, die die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Forst-Holz-Wertschöpfungskette Buche / Küstentanne“ erarbeitete. Die Arbeitsgrundlagen bildeten die Auswertungen zahlreicher langfristig beobachteter und standörtlich breit gestreuter Anbau-, Standraum- und Ertragsversuche sowie ergänzende einmalige Aufnahmen. Sie wurden auch dazu genutzt, den für Nordwestdeutschland parametrisierten Waldwachstumssimulator BWINPro für Küstentannen-Rein- und -Mischbestände zu erweitern.

Anlass und Ziele

Auf dem deutschen Holzmarkt zeichnen sich mittelfristig für schwächere Nadelholz-Sortimente Versorgungsengpässe ab (Spellmann et al. 2008; Polley et al. 2009). Diese ergeben sich aus Bereitstellungsproblemen seitens des Kleinprivatwaldes, der großflächigen Überführung von Nadelholzbeständen in Laubholzbestände sowie der steigenden energetischen Nutzung von Holz bei einer gleichzeitigen Zunahme der stofflichen Verwertung. Insbesondere in Norddeutschland haben große, global ausgerichtete holzbe- und holzverarbeitende Konzerne Produktionskapazitäten aufgebaut, die zu einem enormen Anstieg der Nadelholznachfrage mit einer veränderten Sortenstruktur geführt haben (Rüther et al. 2007).

Einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Lösung der bestehenden bzw. sich abzeichnenden Holzmarktprobleme kann der Anbau schnell wachsender Nadelbaumarten zusammen mit Buche leisten. Ökonomisch wie ökologisch bietet sich für die Anreicherung natur-

naher Buchenbestände besonders die Große Küstentanne (*Abies grandis* (Dougl.) Lindley) an, die sich in zahlreichen Anbauversuchen als anbauwürdig und ökologisch zuträglich erwiesen hat (Schwappach 1901, 1911; Penschuk 1935/37; Wiedemann 1950; Lembke 1973; Schober 1977, 1978; Röhrig 1978; Stratmann 1988; Spellmann 1994; Schober und Spellmann 2001; Lockow 2002). Für diese Mischbaumart sprechen vor allem ihr breites ökologisches Anbauspektrum, ihre Standortpfleglichkeit, ihre überragende Wuchsleistung und die guten Steuerungsmöglichkeiten in der Waldbehandlung. Darüber hinaus sprechen die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten des Küstentannenholzes als Rohstoff für die Zellstoff-, Platten-, Spaner- oder Sägeindustrie für eine deutliche Ausweitung des Küstentannenbaus in Mischung mit Buche. Gleichzeitig weisen sie einen Erfolg versprechenden Lösungsweg, um die steigende Nachfrage nach Industrieholz und Sägeabschnitten bereits mittelfristig zu decken. Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Forst-Holz-Wertschöpfungskette Buche / Küstentanne“ bestand die Aufgabe der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) darin, auf Grundlage zahlreicher langfristig beobachteter und standörtlich breit gestreuter Anbau-, Standraum- und Ertragsversuche in Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland sowie ergänzender einmaliger Aufnahmen waldbauliche und waldwachstumskundliche Entscheidungsgrundlagen zur zielgerichteten Steuerung von Buchen-Küstentannen-Mischbeständen in Nordwestdeutschland zu erarbeiten. Diese sollen dabei helfen, Wachstum und Qualitätsentwicklung in Richtung auf das jeweils angestrebte Produktionsziel Industrieholz, Energieholz oder Sägeholz zu lenken. Darüber hinaus sollten die Ergebnisse der Versuchsflächenanalysen dazu genutzt werden, den an der NW-FVA entwickelten und für Nordwestdeutschland parametrisierten Waldwachstumssimulator BWINPro für Küstentannen-Rein- und -Mischbestände zu erweitern, um der forstlichen Praxis auch für diese Bestandestypen ein Prognose- und Entscheidungswerkzeug bereitzustellen.

Natürliche Verbreitung

Die Große Küstentanne stammt aus dem westlichen Nordamerika. Ihre beiden Hauptverbreitungsgebiete verteilen sich auf das Küstengebirge und die Westabhänge der Kaskaden im Westen sowie auf die Rocky Mountains im Osten. Dort kommt sie in Höhenlagen zwischen 400 und 2.200 Metern ü. NN vor. Ihre klimatische Amplitude reicht vom mild ozeanischen bis zum stark kontinentalen Bereich, die Jahresniederschläge variieren zwischen 350 und 2.800 Millimetern und die Temperaturextreme reichen von -40°C bis $+40^{\circ}\text{C}$. Die Küstentanne ist bodenvag, bevorzugt aber frische und tiefgründige Standorte und meidet dichte Tonböden. Meist kommt sie in Mischbeständen vor. Für Deutschland werden Herkünfte aus West-Washington sowie von Vancouver Island in Britisch Kolumbien empfohlen (Rau et al. 2008).

Analysen von Küsten-Reinbeständen als Grundlage für die Bewirtschaftung von Buchen-Küstentannen-Mischbeständen

Allgemeine Anbauerfahrungen in der Kultur- und Jungbestandsphase

Für Empfehlungen zur Begründung und Pflege von Küstentannenbeständen in Deutschland bilden die über 30 standörtlich breit gestreuten Küstentannen-Anbauversuche der Serie von 1980/81 in Nordwestdeutschland eine gute Grundlage. In diesen Versuchen ist fast immer auch die Douglasie der Herkunft Darrington als Vergleichs- bzw. Mischbaumart vertreten. Die Küstentannenparzellen wurden einheitlich mit Pflanzen der Herkunft Courtenay von der Ostseite Vancouver Islands im Verband $2,5 \times 1,3$ Meter, also mit 3.076 Stück pro Hektar begründet.

Insgesamt waren in allen Regionen sehr gute Anwuchserfolge der Küstentanne zu verzeichnen. Jungpflanzen fielen vor allem auf sehr stark vernässten Versuchsfeldern aus, vereinzelt auch auf Grund von Hallimasch-Befall. Molkeböden stellten sich als Grenzstandorte für den Küstentannenbau heraus. Im Seitenschutz von Althölzern waren die Frostschäden weitaus geringer. Jugend- und Kulturgefahren waren nach dem vierten Standjahr nahezu überwunden. Der Pflanzschock hielt unter ungünstigen Verhältnissen über mehrere Jahre an. Im Höhenwuchs war die Douglasie der Küstentanne in den ersten Standjahren deutlich überlegen, danach holte die Küstentanne allmählich auf. Die Selbstdifferenzierung ist bei ihr noch stärker ausgeprägt als bei der Douglasie. In Rotwildgebieten traten Schäl- und Schlagschäden auf.

Standort-Leistungs-Bezug

Die qualitativen Ansprachen der Nährstoff- und Wasserversorgung von der Standortskartierung spiegeln sich nicht in den Höhenwuchsleistungen der Küstentannen in den Anbauversuchen der Serie 1980/81 wider (Abbildung 1).

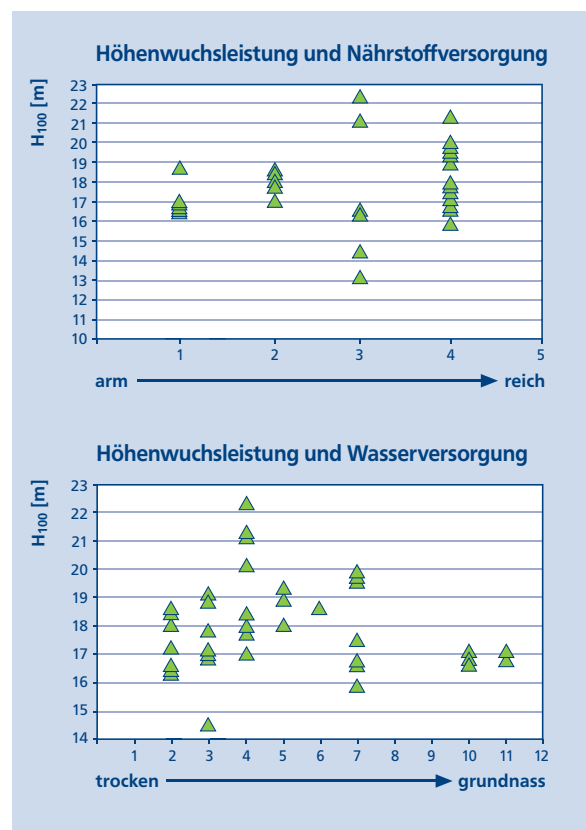


Abbildung 1: Höhenwuchsleistung (H_{100}) der Küstentanne in Abhängigkeit von der Nährstoff- und Wasserversorgung im Alter 27 in der Anbauversuchsserie von 1980/81

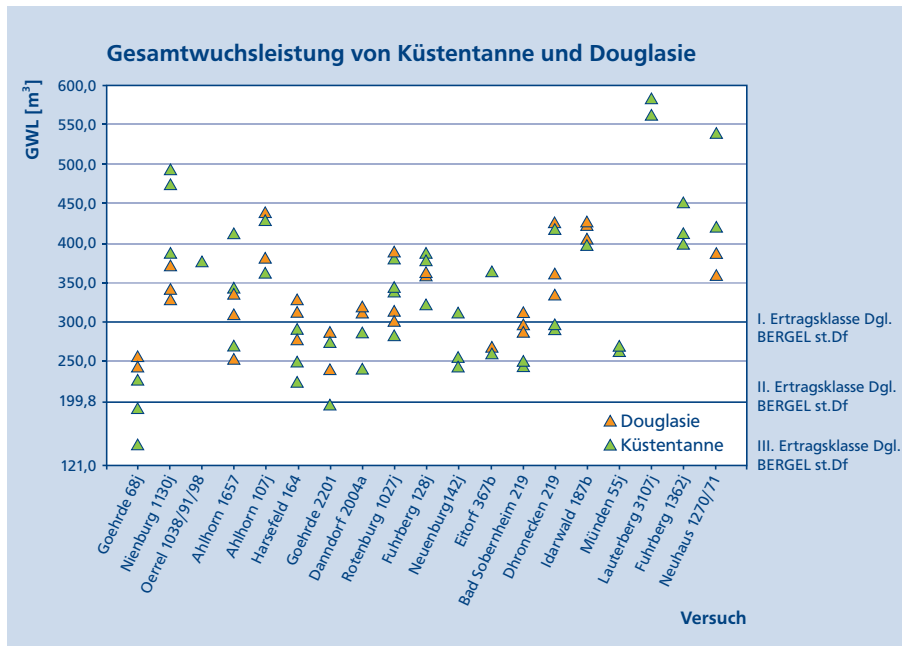


Abbildung 2: Gesamtwuchsleistung 27-jähriger Küstentannen- und Douglasien-Versuchspartellen der Anbauversuchsserie von 1980/81

Bei gleicher Nährstoff- und Wasserversorgung variieren die Oberhöhenwerte im Alter 27 Jahre selbst im gleichen Wuchsbezirk um mehrere Meter. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, die qualitativen Bodenkennwerte Nährstoffversorgung und Wasserhaushalt in weitergehenden Analysen quantitativ zu erfassen, um das Standortpotential zutreffender beschreiben zu können. Insgesamt wird jedoch deutlich, dass die Küstentanne auf fast allen Versuchsstandorten ein hervorragendes Leistungspotential aufweist. Die Bestandesoberhöhen (H_{100}) liegen fast immer auf dem Niveau der I. und II. Douglasien-Ertragsklasse. Im direkten Vergleich bleiben die Küstentannen in den Versuchen gegenüber den Douglasien in der Oberhöhenentwicklung noch etwas zurück.

Auch hinsichtlich der Gesamtwuchsleistung zeigt sich das hohe Leistungsvermögen der Küstentanne (Abbildung 2). Die Gesamtwuchsleistungen liegen auf fast allen Standorten zwischen der I. und II. Douglasien-Ertragsklasse oder noch darüber. Im direkten Vergleich mit der Douglasie ist die Küstentanne in vielen Versuchen sogar überlegen. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die bemerkenswert hohe Standraumeffizienz dieser Baumart, da sie auf gleicher Fläche bei noch etwas geringeren Bestandesoberhöhen mehr Biomasse als die leistungsstarke Douglasie produziert. Im Vergleich zur Douglasie, aber auch zur Fichte, bildet die Küstentanne deutlich schlankere Kronen mit geringeren Kronenbreiten aus. Daraus ergibt sich eine höhere Stammzahlhaltbarkeit.

Modellierung des Wachstums

Die Versuchsflächendaten der NW-FVA sowie die Daten der ergänzenden Aufnahmen wurden auch zur Parametrisierung der Wachstumsfunktionen für die Baumart Küstentanne genutzt.

Das Oberhöhenwachstum wurde unter Verwendung der für diese Zwecke bewährten Chapman-Richards-Gleichung modelliert. Anschließend wurden die absoluten Oberhöhenbonitäten 22, 26, 30, 34 und 38 im Alter 50 sowie drei relative Ertragsklassen I, II und III entsprechend H_{100} von 34, 30, bzw. 26 m im Alter 50 festgelegt.

Vergleicht man die Oberhöhenverläufe des nordwestdeutschen Bonitätsfächers mit denjenigen anderer Küstentannenertragstafeln (Lockow und Lockow 2007; Christie und Lewis 1961) sowie der Douglasien-Ertragstafel nach Bergel (1985), zeigt sich, dass die Verläufe am ehesten denjenigen der Douglasien ähneln, aber im Alter zwischen 20 und 80 Jahren stets darüber liegen (Abbildung 3).

Abbildung 3: Vergleich der Oberhöhenentwicklung (H_{100}) nach verschiedenen Küstentannen-Bonitierungsfächern (Christie und Lewis 1961; Lockow und Lockow 2007; Nordwestdeutschland 2009) und der Douglasien-Ertragstafel von Bergel (1985)

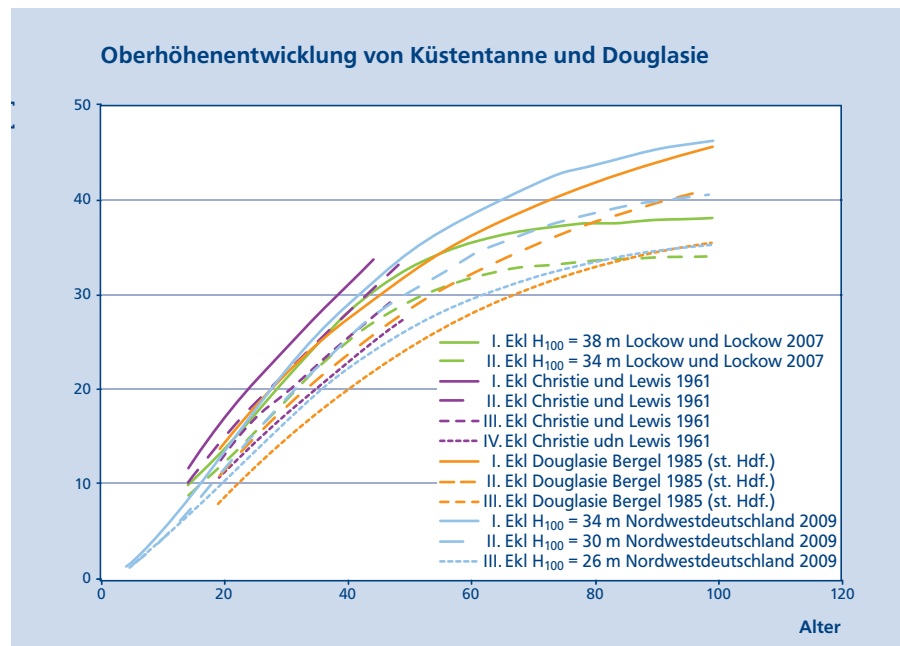
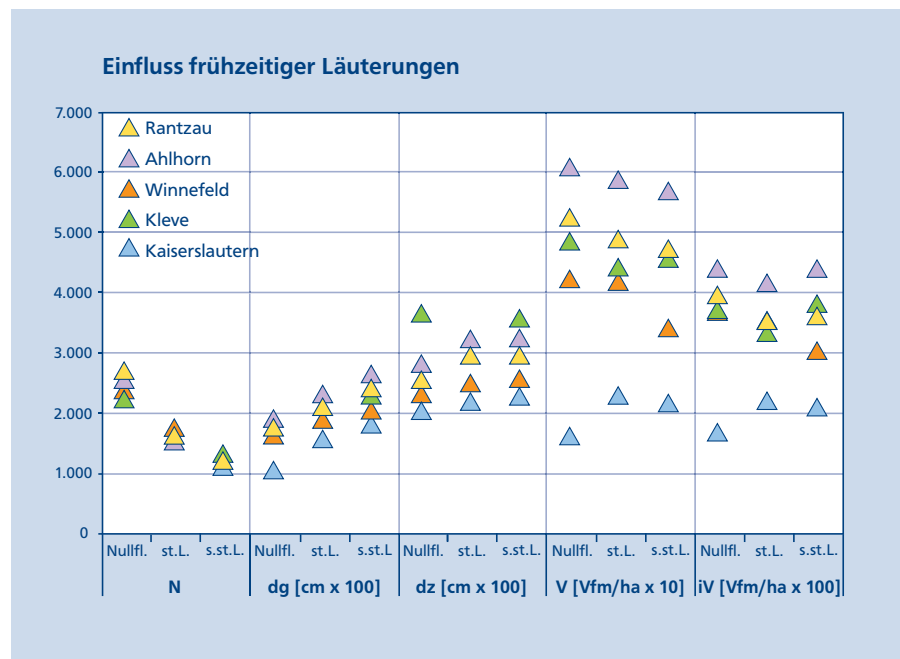


Abbildung 4: Einfluss frühzeitiger Lässerungen (h_{100} ca. 8 m) auf verschiedene Bestandesmerkmale im Alter 27; Küstentannen-Standraumversuche der NW-FVA vor der Erstdurchforstung



Dieser Befund lässt sich mit Bezug zu den zuvor beschriebenen Wachstumsvergleichen erklären. In dem Grundlagenmaterial der Bergel'schen Ertragstafel sind jüngere, bereits unter dem Einfluss der Stickstoffeinträge in den sechziger Jahren erwachsene Douglasienbestände nicht vertreten. Die Kurvenverläufe nach Lockow und Lockow für das Wachstum der Küstentanne in Brandenburg sind in der Altersspanne 20 bis 50 Jahre fast deckungsgleich mit denen für Nordwestdeutschland, fallen aber etwa ab Alter 60 deutlich ab. Die I. Bonität nach Christie und Lewis für Küstentannen in England liegt

noch über der I. Bonität Nordwestdeutschland, die II. Bonität ist etwa deckungsgleich mit der II. Bonität Nordwestdeutschland.

Als Wachstumssimulator wurde für die Küstentanne der ForestSimulator BWinPro der NW-FVA in der aktuellen Version 7.5 gewählt. Der Simulator basiert auf dem Software-Paket TreeGroSS (Tree Growth Open Source Software), das in der Programmiersprache Java für die praktische Anwendung statistischer Einzelbaumwachstumsmodelle geschrieben wurde (Nagel 2002). Auf Grund der bisher für Eiche, Buche, Fichte, Douglasie

und Kiefer gewonnenen positiven Erfahrungen (Nagel 1999; Nagel et al. 2002; Nagel et al. 2006) wurden – so weit möglich – die bisher in BWinPro verwendeten Teilmodelle auch für die Küstentanne parametrisiert.

Der Simulator steht allen Interessierten im Internet unter www.nw-fva.de, Stichwort »Software«, zur Nutzung zur Verfügung. Dort sind auch die Wachstumsfunktionen beschrieben.

Wachstum der Küstentanne in Abhängigkeit von Bestandesbehandlung und Mischungsform

Läuterungseffekte

In den fünf Küstentannen-Standraumversuchen Rantzau (SH), Ahlhorn (NI), Winnefeld (NI), Kleve (NRW) und Kaiserslautern (RP) wurden bei einer Oberhöhe von sieben bis acht Metern starke bzw. sehr starke Läuterungen vorgenommen und Nullflächen belassen (Abbildung 4). Im Zuge der Läuterungen wurden die Baumzahlen (N) annähernd auf die Hälfte bzw. ein Drittel der Ausgangspflanzenzahlen abgesenkt. Auf diese Weise wurde das Durchmesserwachstum im Bestandesmittel (dg) stärker gefördert als bei den Z-Baumanwärttern (dZ). Diese Beobachtung lässt sich mit der sehr starken Durchmesser-Differenzierung der Bestände erklären. Trotz der großen Unterschiede in der Stammzahlhaltung sind jedoch die Bestandesvorräte (Vfm/ha) bei beiden Eingriffsvarianten sehr ähnlich. Hier kommt der Wuchsbeschleunigungseffekt nach starken Eingriffen zum Ausdruck.

Betrachtet man die Durchmesserverteilungen in den Läuterungsversuchen vor der ersten Durchforstung, werden zwei weitere Aspekte offensichtlich (Abbildung 5). Zum einen sind die Küstentannenbestände in ihrer Durchmesserentwicklung sehr stark differenziert – dies ist aus waldbaulicher Sicht zu begrüßen (Strukturreichtum, waldbauliche Pflegeoptionen, gestreckte Nutzungszeiträume) – zum anderen machen Vorwüchse mit BHD-Werten über 25 Zentimeter unabhängig von der Läuterungsintensität mehr als drei Viertel der Stammzahlen aus. Dieses Kollektiv eignet sich jedoch im Hinblick auf die Holzqualität (breite Jahrringe) nur eingeschränkt für höherwertige Sägeholzprodukte. Dies ist für die Entwicklung verwendungsorientierter Managementstrategien ein wesentlicher Gesichtspunkt (frühzeitige Nutzung der Vorwüchse als Industrieholz).

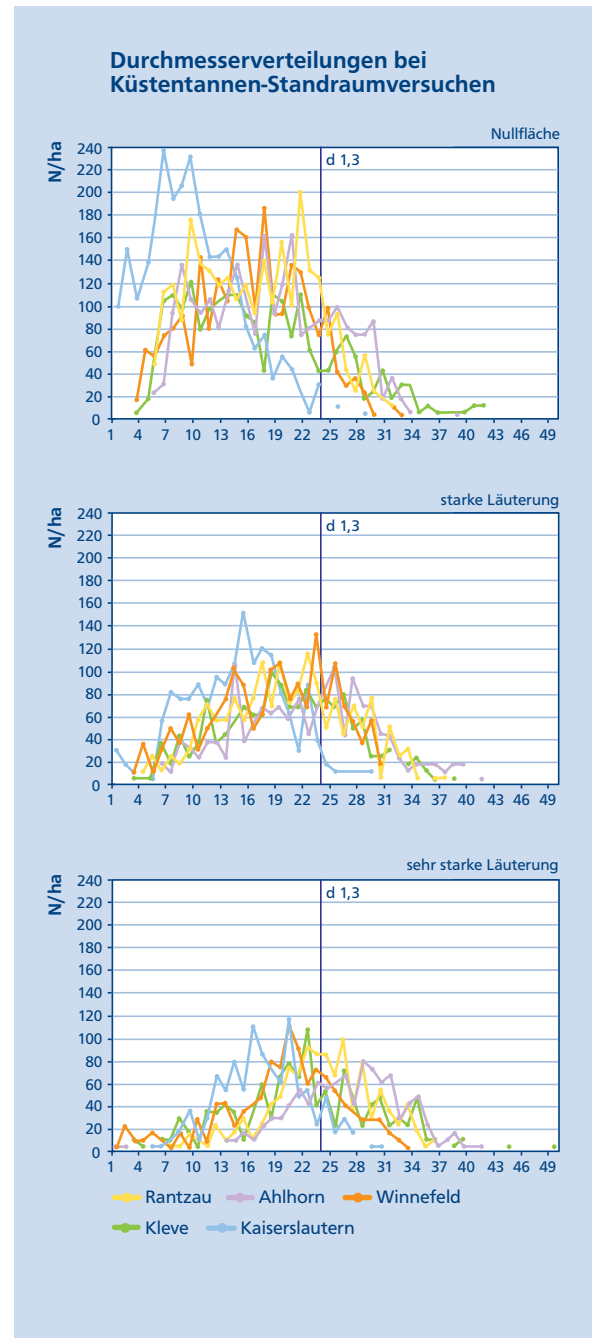


Abbildung 5: Durchmesserverteilungen in den Küstentannen-Standraum-Versuchen im Alter 27 vor der ersten Durchforstung

Abbildung 6: Vorratshaltung von Küstentanne, Douglasie, Fichte im Alter 32 und Buche im Alter 36 bei unterschiedlicher Durchforstungsstärke auf vergleichbaren frischen bis vorratsfrischen Standorten im Solling

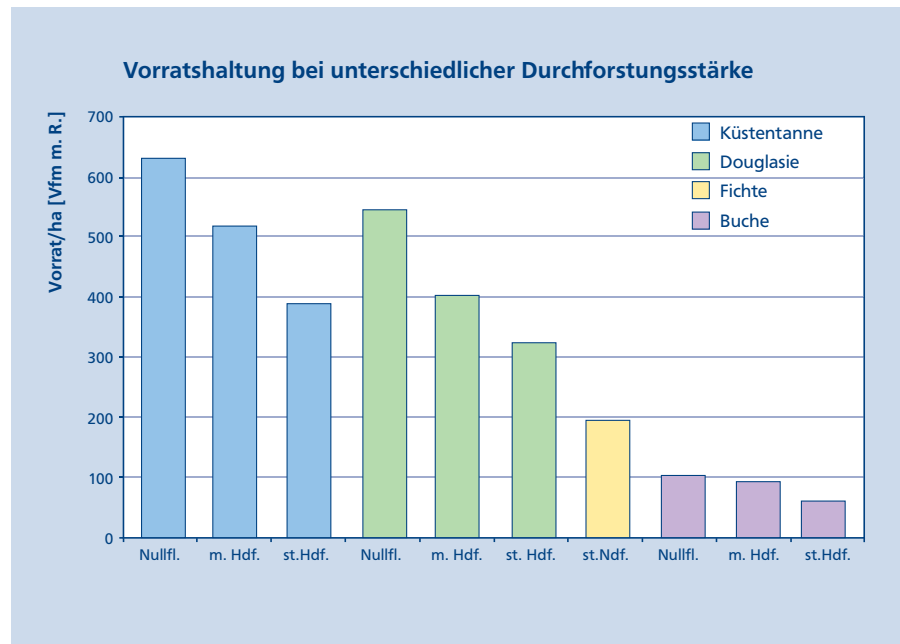
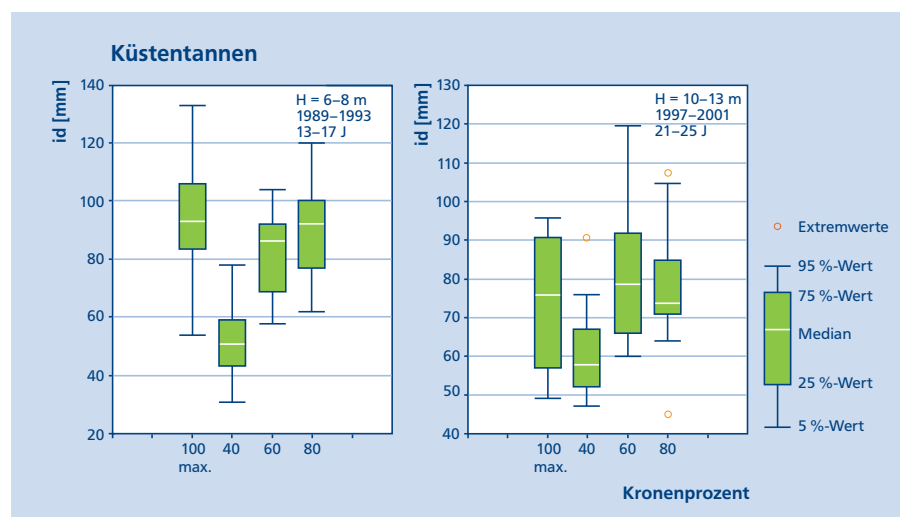


Abbildung 7: Küstentannen-Grünästungsversuch Ahlhorn 1365j: Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit vom Kronenprozent und dem Zeitpunkt der ersten Ästung



Durchforstung

Im Vergleich der grundflächengesteuerten Durchforstungsversuche Winnefeld 3042, Münden 128 und Münden 2027 wird deutlich, über welch großes Leistungspotential die Küstentanne auf vergleichbaren Standorten gegenüber Douglasie, Fichte und Buche bereits in einem frühen Alter verfügt (Abbildung 6). Die Küstentanne ermöglicht auf Grund ihres geringen Standraumbedarfs die höchste Stammzahlhaltung unter den Nadelbaumarten. In der Durchmesserentwicklung der stärksten Stämme (d_{100}) führt sie leicht vor der Douglasie, deutlich vor der Fichte und mit sehr großem Abstand vor der Buche. Auch bei der Bestandesoberhöhe (H_{100}) liegt die Küstentanne im Alter von 32 Jahren bereits vorne. Die größten Unterschiede zeigen sich

jedoch in den Bestandesvorräten (Vfm/ha). Die Küstentanne dominiert hier auch gegenüber der Douglasie deutlich und leistet in Relation zur Fichte das Doppelte bis Dreifache, gegenüber der Buche das Vier- bis Sechsfache.

Betrachtet man die Küstentanne allein und nur in Abhängigkeit von der Durchforstungsstärke, fallen mehrere Aspekte auf. Hinsichtlich der erreichten Durchmesser (D_{100}) und Oberhöhen (H_{100}) liegen die verschiedenen Durchforstungsstärken recht nahe beieinander. Betrachtet man dagegen die Bestandesvorräte, zeigen sich sehr große Unterschiede zwischen der Nullvariante, der mäßigen und der starken Hochdurchforstung. Als waldbauliche Option scheidet die Nullvariante mit Blick auf die Vorphlege des Füll- und die Qualität des

Hauptbestandes weitgehend aus. Die starke Durchforstung bietet sich auch nicht an, da sie nicht zu rechtefertiger Vorratseinbußen mit sich bringt, die der Massenproduktion von Nadelsäge- und Industrieholz entgegenstehen. Bleibt die mäßige Hochdurchforstung, die der Standraumökonomie und Selbstdifferenzierung der Küstentanne Rechnung trägt und sich für die Pflege von Küstentannenreinbeständen bzw. den Küstentannen-Anteilsflächen in Mischbeständen empfiehlt.

Grünästung

Die Auswirkungen des Beginns, der Wiederkehr und der Stärke von Grünästungen auf den Zuwachs und die Ausbeute an astfreiem Schnittholz werden im Küstentannen-Grünästungsversuch Ahlhorn 1365 analysiert. Die 150 Probestämme sind auf zehn Versuchsgruppen verteilt. Sie unterscheiden sich nach der Ästungsintensität (keine Ästung, Reduktion der Kronenlängen auf 80, 60 und 40 Prozent der Baumhöhen) sowie den Zeitpunkten der ersten Ästung ($h = 6-8$ m, Alter 13; $h = 8-10$ m, Alter 17; $h = 10-13$ m, Alter 21) bzw. der folgenden Eingriffe zur Einhaltung der jeweils angestrebten Kronenprozente.

Die statistischen Auswertungen zeigen, dass nur die Grünästungen mit einer Reduktion auf 40 Prozent Kronenlänge signifikante Einbußen beim Durchmesserzuwachs verursachen (Abbildung 7). Die absoluten Zuwachsreduktionen gegenüber der ungeästeten Variante scheinen mit steigendem Alter abzunehmen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass mit zunehmendem Alter ein immer größerer Anteil photosynthetisch wenig aktiver Nadelmasse entfernt wird. Grundsätzlich ist anzumerken, dass sich mit Grünästungen das Durchmesserwachstum gegebenenfalls dämpfen und die Produktion qualitativ hochwertiger Schnittholzsortimente absichern lässt.

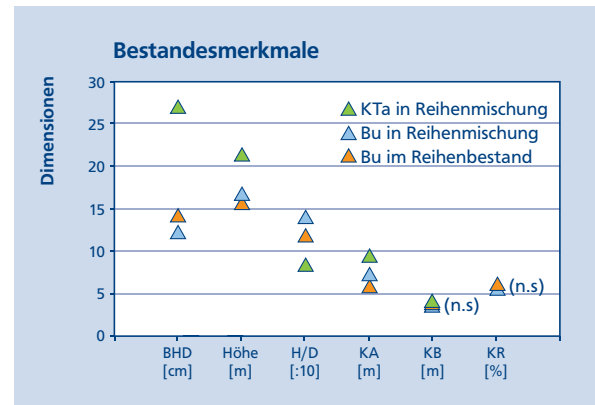


Abbildung 8: Vergleich der Bestandesmerkmale 32-jähriger Küstentannen und Buchen in Reihemischung bzw. mit Buchen im Reinbestand; Standraumversuch Ahlhorn 2138/39j

Reihemischung mit Buche

Um Hinweise für geeignete Mischungsformen abzuleiten, wurde u. a. den Konkurrenzsituationen zwischen Buche und Küstentanne anhand von Einzelbaummerkmalen auf stark durchforsteten Versuchsflächen mit abwechselnd drei Reihen Küstentanne und drei Reihen in der Kombination Buche-Lärche-Buche nachgegangen. Erwartungsgemäß zeigten sich auf Grund der sehr verschiedenen Wachstumsrhythmen der Mischbaumarten signifikante Unterschiede bei den Brusthöhendurchmessern (BHD), Kronenansätzen (KA), H/D-Werten und Kronenbreiten (KB) (Abbildung 8).

Der Versuch Ahlhorn 2138/39j bot außerdem die Möglichkeit, Entwicklungsunterschiede zwischen Buchen aus Reihemischung mit Küstentanne und solchen aus einem gleichaltrigen Buchenreinbestand zu analysieren. Bezogen auf den mittleren Durchmesser und die mittlere Höhe sind die Küstentannen der Buche in Reihemischung klar überlegen. Im Vergleich zu den Reinbestandsbuchen weisen die Mischbestandsbuchen größere Höhen und höhere Kronenansätze auf, ihre Brusthöhendurchmesser sind jedoch geringer. Der starke Seitendruck der Küstentanne »treibt« sie in engen Lichtschächten nach oben. Dort wachsen sie rasch in die Höhe, um weiter überleben zu können. Dies führt jedoch auch zu hohen Schlankheitsgraden (H/D-Werte) und einer Gefährdung gegenüber Nassschnee. Für die Merkmale Kronenbreite (KB) und Kronenprozent (KR) wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt.

Simulation unterschiedlicher Nutzungsstrategien in Küstentannen-Reinbeständen und Küstentannen-Buchen-Mischbeständen

Um den Einfluss verschiedener Eingriffsvarianten auf die quantitative und qualitative Entwicklung in Küstentannen-Buchen-Mischbeständen zu quantifizieren, wurden mit Hilfe des weiterentwickelten Waldwachstums-simulators und auf Basis einer realen, sehr wüchsigen Versuchsparzelle drei verschiedene waldbauliche Nutzungsstrategien modelliert.

- Variante 1: Küstentannen-Reinbestand: Bis zur Kulmination des laufenden Zuwachses im Alter 33 (h_{100} 26,8 m) werden nur die vorwüchsigen Küstentannen entnommen. Danach werden 200 Z-Bäume pro Hektar ausgewählt, gefördert, bei einer Zielstärke von 45 Zentimetern geerntet und mit Nachrückern ersetzt.
- Variante 2: Küstentannen-Reinbestand: Im Alter werden 18 (h_{100} 12,7 m) 200 vorherrschende Z-Bäume pro Hektar ausgewählt und nur diese freigestellt. Die Z-Bäume werden bei einer Zielstärke von 45 Zentimetern geerntet und mit Nachrücken ersetzt.

- Variante 3: Buchen-Küstentannen-Mischbestand: Aus jeweils drei Reihen Küstentanne und zwei Reihen Buche wird eine Reihenmischung (2,5 m) erzeugt und die Küstentannen ansonsten wie Variante 2 behandelt (Abbildung 9).

Die Variante 2 (1.526 Vfm/ha) liefert gegenüber Variante 1 (1.361 Vfm/ha) insgesamt eine höhere Gesamtwuchsleistung. Der Mischbestand hat die geringste Küstentannen-Gesamtwuchsleistung (1.173 Vfm/ha; Buche: 192,7 Vfm/ha). Bezogen auf die Anteilsflächen im Mischbestand ist die Küstentanne dort jedoch am leistungsstärksten, da sie in den Kontaktzonen zur Buche mehr Wuchsraum zur Verfügung hat. Bei den Z-Bäumen der Variante 2 schwanken die Jahrringbreiten deutlich stärker als bei den Z-Bäumen der Variante 1 (Abbildung 10). Die breitesten Jahrringe waren bei den Küstentannen in Reihenmischung mit der Buche zu verzeichnen. Dies lässt sich wiederum mit dem größeren Wuchsraum in der Nachbarschaft zur Buche erklären.

Bestandesentwicklung Variante 3

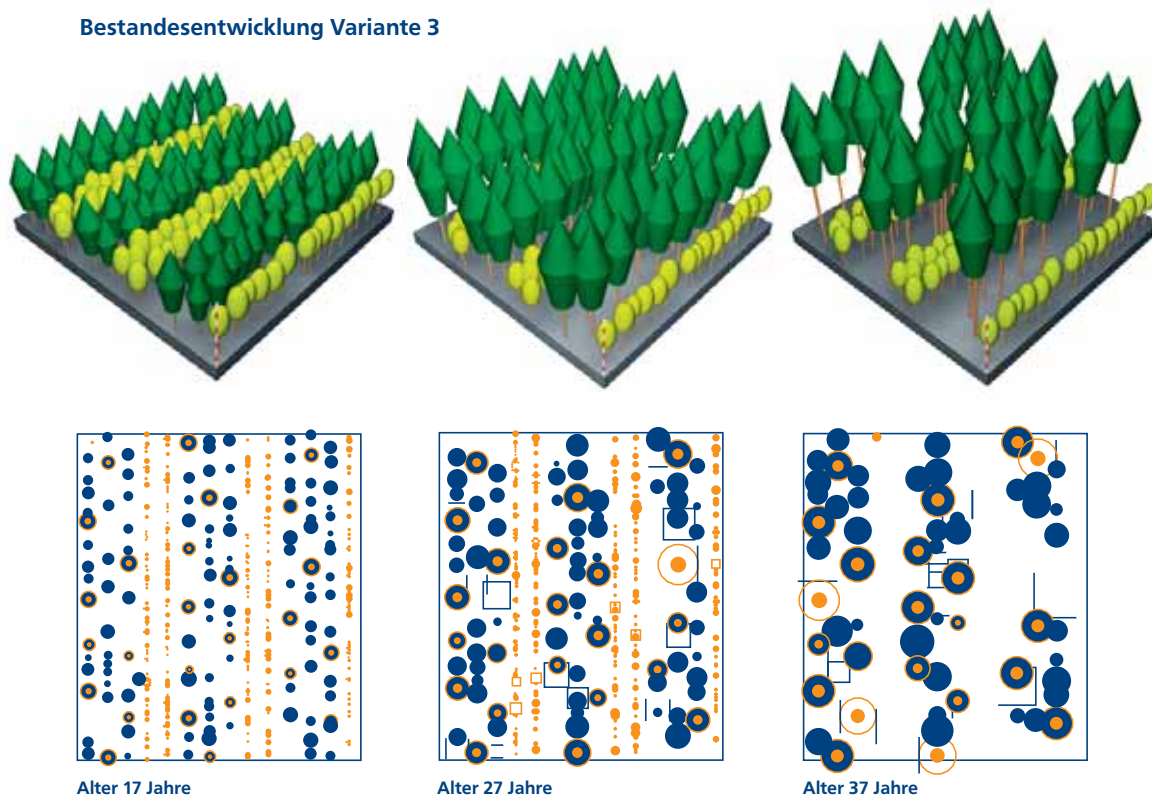


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Variante 3 (Buchen-Küstentannen-Mischbestand) für verschiedene Alter

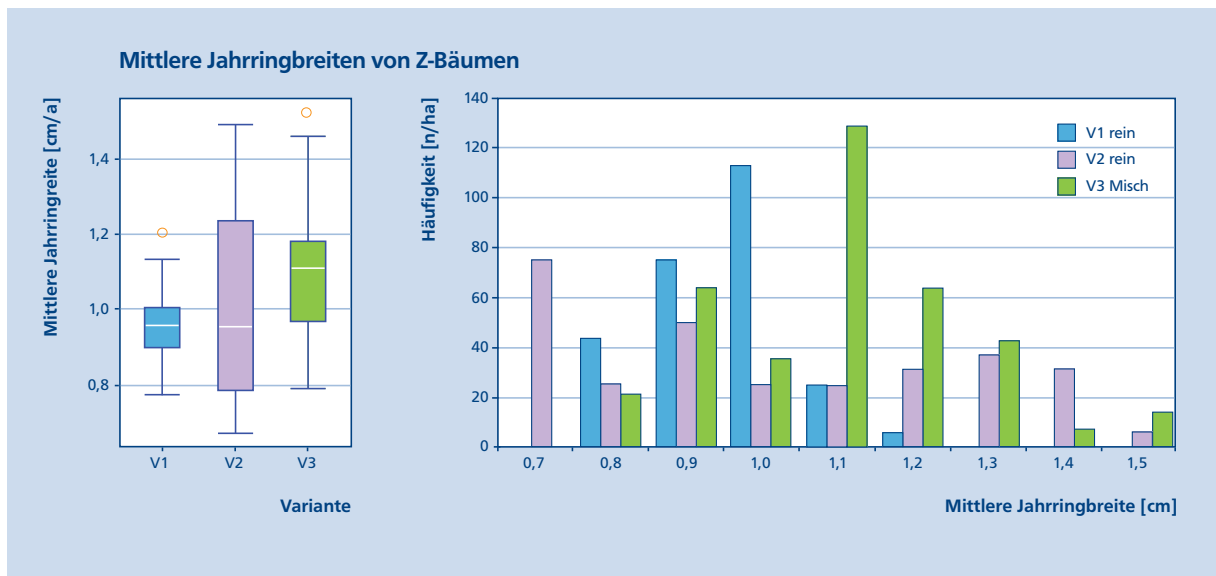


Abbildung 10: Vergleich der mittleren Jahrringbreiten von Z-Bäumen der waldbaulichen Varianten 1 bis 3 und deren Häufigkeitsverteilung; die mittlere Jahrringbreite wurde für einen Zeitraum von 63 Jahren berechnet.

Die Simulation verdeutlicht, dass die verschiedenen Nutzungsvarianten und Mischungsformen Quantität und Qualität des produzierten Holzes erheblich beeinflussen. Deshalb ist es notwendig, verwendungsorientierte, am jeweiligen Produktionsziel ausgerichtete Managementstrategien zu entwickeln.

Verwendungsorientierte Managementstrategien

Die Ergebnisse der Versuchsflächenauswertungen und der Wachstumsmodellierungen zeigen, dass die Buche der Küstentanne im Wachstum deutlich unterlegen ist. Die fehlende Konkurrenz in der Nachbarschaft zur Buche führt bei vor- und herrschenden Küstentannen zu enormem Wachstum mit weiten Jahrringen. Angesichts der Wuchsrelationen und der unterschiedlichen Pro-

duktionszeiträume sind danach intensive Mischungen nicht zu empfehlen. Eine frühzeitige Entnahme vorwüchsiger Küstentannen führt bei vertretbaren Zuwachseinbußen zu besseren Qualitäten. Sehr starke Lässerungen und anschließend sehr starke Durchforstungen (natürlicher Bestockungsgrad 0,65) senken hingegen die Flächenproduktivität und führen zu sehr breiten Jahrringen bei den Z-Bäumen.

Auf Basis dieser Erkenntnisse lassen sich für Mischbestände aus Küstentanne und Buche verwendungsorientierte Managementstrategien ableiten. Für die Forstpraxis eignen sich insbesondere das klassische Produktionsziel Säge- und Industrieholz oder die ausschließliche Produktion von Holz für die Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie an. Um diese Produktionsziele zu erreichen, bieten sich die in den Tabellen 1 und 2 dargestellten Strategien an.

Produktionsziel Industrie- und Sägeholz		
Standorte	schwach bis ziemlich gut nährstoffversorgt, da sonst zu starkes Dickenwachstum; keine staunassen und wechsellrockenen Standorte	
Bestandestyp	Küstentanne/Buche: (K _{Ta} 50–70 %, Bu 30–50 %, Begleitbaumarten ca. 10 %) Tiefland ggf. REi oder WLi statt Bu Buche/Küstentanne: (Bu 50–70 %, K _{Ta} 30–50 %, Begleitbaumarten ca. 10 %) (K _{Ta} als Zeitmischung, Auspflanzung Bu-NV)	
Zielstärke	Küstentanne	45 cm + in 40–60 Jahren
	Buche	55 cm + in 100–140 Jahren
Mischungsform	Buche in Küstentanne	horstweise
	Küstentanne in Buche	trupp- bis horstweise
Kultur	Freifläche	ca. 2.500–3.000 K _{Ta} /ha Anteilfläche, 7.000–10.000 Bu/ha
	lichter Schirm	ca. 2.000–2.500 K _{Ta} /ha Anteilfläche, 5.000–7.000 Bu/ha
Pflege der Küstentanne		
Jungbestand	h ₁₀₀ (6–8 m):	i.d.R. keine Läuterung, ggf. Protzenaushieb
Stangenholz	h ₁₀₀ (8–12 m):	Feinerschließung
Geringes Baumholz	h ₁₀₀ (12–20 m):	schrittweiser Auszug der vorherrschenden K _{Ta} vorsichtige Pflege der bestveranlagten herrschenden K _{Ta}
	h ₁₀₀ (20–28 m):	Auswahl von 200 Z-Bäumen/ha mäß Hdf.
Mittleres Baumholz	h ₁₀₀ (> 28 m):	gestreckte Zielstärkennutzung, möglichst NV

Tabelle 1: Produktionsziel Industrie- und Sägeholz

Produktionsziel Zellstoff und Holzwerkstoff		
Standorte	breite Standortpalette mit Ausnahme der reichen (zu schade), staunassen und wechsellrockenen Standorte (Jugendgefahren, Windwurf)	
Bestandestyp	Küstentanne/Buche (K _{Ta} 70–80 %, Bu 20–30 %, Begleitbaumarten ca. 10 %) Keine führende Buche, Buche als ökologische Anreicherung	
Zielstärke	Küstentanne	30 cm + in 30 bis 40 Jahren
	Buche	keine Festlegung, fallweise
Mischungsform	Buche in Küstentanne	trupp-bis guppenweise
Kultur	Freifläche	ca. 2.000–2.500 K _{Ta} /ha Anteilfläche, 3.000–4.000 Bu/ha
	lichter Schirm	ca. 2.000–2.500 K _{Ta} /ha Anteilfläche, 2.000–3.000 Bu/ha
Pflege der Küstentanne		
Jungbestand	h ₁₀₀ (6–8m):	i. d.R. keine Läuterung
Stangenholz	h ₁₀₀ (8–12m):	Feinerschließung
Geringeres Baumholz	h ₁₀₀ (12–26m):	Auswahl von 300 bis 350 Z-Bäumen/ha st. Hdf.
	h ₁₀₀ (> 26m):	erst Zielstärkennutzung, dann Abtrieb
Neukultur	im Seitenschutz der verbliebenen Buchen und Mischbaumarten	

Tabelle 2: Produktionsziel Zellstoff und Holzwerkstoff

Literatur

- Bergel, D. (1985): *Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland*. Aus der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum, Selbstverlag, 72 S.
- Christie, J. M.; Lewis, R. E. A. (1961): *Provisional yield tables for Abies grandis and Abies nobilis*. [British] Forestry Commission Forest Record 47, Her Majesty's Stationery Office, London, 48 S.
- Lembke, G. (1973): *Der gegenwärtige Stand des unter Schwapach begründeten Freienwalder Anbauversuchs mit ausländischen Baumarten*. Beiträge für die Forstwirtschaft 7, S. 24–37
- Lockow, K.-W. 2002: *Ergebnisse der Anbauversuche mit amerikanischen und japanischen Baumarten*. In: Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern, Landesforstanstalt Eberswalde, S. 41–101

- Lockow, K-W.; Lockow, J. (2007): *Anbau der Großen Küstentanne in Brandenburg aus ertragskundlicher Sicht*. Forst und Holz, S. 15–18
- Nagel, J. (1999): *Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 128, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., 122 S.
- Nagel, J. (2002): *Das Open Source Entwicklungsmodell – eine Chance für Waldwachstumssimulatoren*. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung Schwarzburg 13-15. Mai 2002, S. 1–6
- Nagel, J.; Albert, M.; Schmidt, M. (2002): *Das waldbauliche Prognose- und Entscheidungsmodell BWINPro 6.1*. Forst und Holz, S. 486–493
- Nagel, J.; Duda, H.; Hansen, J. (2006): *Forest Simulator BWINPro 7*. Forst und Holz, S. 427–429
- Penschuk, H. (1935/37): *Die Anbauversuche mit ausländischen Holzarten unter Berücksichtigung ihrer Ertragsleistung*. Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen, S. 113–137, S. 525–555
- Polley, H.; Hennig, P.; Schwitzgebel, F. (2009): *Holzvorrat, Holzzuwachs, Holznutzung in Deutschland*. AFZ/Der Wald, S. 1.076–1.077
- Rau, H.-M.; König, A.; Ruetz, W.; Rumpf, H.; Schönfelder, E. (2008): *Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27*. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 4, Universitätsverlag Göttingen, 62 S.
- Röhrig, E. (1978): *Anbauergebnisse mit Abies grandis in Deutschland*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 54, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., S. 37–52
- Rüther, B.; Hansen, J.; Ludwig, A.; Spellmann, H.; Nagel, J.; Möhring, B.; Dieter, M. (2007): *Clusterstudie Forst und Holz Niedersachsen*. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 1, Universitätsverlag Göttingen, 92 S.
- Schober, R. (1977): *Erste Ergebnisse von Anbauversuchen mit Tannen und anderen Koniferen aus Japan im Vergleich mit nordamerikanischen und europäischen Nadelhölzern, Teil 1: Zielsetzung der Versuche und Eigenschaften japanischer Koniferen in ihrer Heimat*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S. 197–207
- Schober, R. (1978): *Erste Ergebnisse von Anbauversuchen mit Tannen und anderen Koniferen aus Japan im Vergleich mit nordamerikanischen und europäischen Nadelhölzern, Teil 2: Die Versuche und ihre Ergebnisse*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S. 197–221
- Schober, R.; Spellmann, H. (2001): *Von Anbauversuchen mit Tannen und anderen Koniferen aus Japan, Nordamerika und Europa*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 130, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 178 S.
- Schwappach, A. (1901): *Die Ergebnisse der in den Preußischen Staatsforsten ausgeführten Anbauversuche mit fremdländischen Holzarten*. Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen, S. 137–169, 195–225, 261–292
- Schwappach, A. (1911): *Die weitere Entwicklung der Versuche mit fremdländischen Holzarten in Preußen*. Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft, S. 3–37
- Spellmann, H. (1994): *Ertragskundliche Aspekte des Fremdländeranbaus*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, S. 27–34
- Spellmann, H.; Mantau, U.; Polley, H. (2008): *Nachhaltige Rohholzversorgung aus deutschen Wäldern*. Positionspapier der Plattform Forst & Holz von DFWR und DHWR vom 5.6.2008. <http://www.dfwr.de/download/>, 10 S.
- Stratmann, J. (1988): *Ausländeranbau in Niedersachsen und den angrenzenden Gebieten*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 91, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 131 S.
- Wiedemann, E. (1950): *Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft*. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 346 S.

Key words: Silver Fir, Grand Fir, forest growth, use of wood, stand treatment

Summary: Timber product oriented silvicultural strategies for mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and grand fir (*Abies grandis*). A shortage of small dimensioned assortments of coniferous timber might hit the German timber market in near future. The fast growing grand fir, mixed with beech, could help to overcome this shortage. Product oriented silvicultural strategies for mixed stands of grand fir and beech, which were developed by the Northwest German Forest Research Station within the framework of the project „value-added chain forest-timber: beech/grand fir“, are presented. The strategies are based on the results of many long-term observed cultivation, spacing and yield experimental plots which are scattered over a wide amplitude of forest sites. Additional data of single observations were used to complement the data set. The data were also used to extend the Northwest German version of the forest growth simulator BWINPro for grand fir in pure and mixed stands.

Verwendungsmöglichkeiten für Küstentannen-Schnittholz

František Hapla

Schlüsselwörter: Küstentanne, Holzeigenschaften, Schnittholzsortierung, Verarbeitung

Zusammenfassung: Im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes wurden technologisch relevante Eigenschaften des Holzes der Großen Küstentanne (*Abies grandis*) durchleuchtet. Dabei standen die Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten des Schnittholzes im Vordergrund. Die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt dienen neben der Lösung konkreter praxisrelevanter Fragestellungen im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten und Verarbeitungsbedingungen auch der Entwicklung nachhaltiger Konzepte zur optimalen, verwendungsorientierten Bereitstellung dieses Holzes aus naturnaher Bewirtschaftung von Buchen-Mischbeständen.

Die Forstpraxis bemängelt häufig eine „Nasskernbildung“ bei der Küstentanne. Daher wurden die Feuchteverteilung und die Ursachen von Verfärbungen im „Kernholz“ der Küstentanne analysiert. Aus definierten Stammabschnitten wurde Schnittholz mit deutlichen Verfärbungen des „Kerns“ erzeugt. Nach der technischen Trocknung und Hobelung der Brettware wurden keine Farbunterschiede zwischen der ursprünglichen Splint- und „Kern“-zone festgestellt. Die Schnittholzqualität war in keiner Weise beeinträchtigt. Weitere Ergebnisse der Holzinhaltsstoffanalysen zeigten, dass eine „Nasskernbildung“ nicht generell mit einem mikrobiellen Abbau der Reservestoffe verbunden sein muss. Keine der Proben mit „Nasskern“ wies Veränderungen in der Lignifizierung der einzelnen Zellwandschichten auf.

Damit wurde bewiesen, dass ein »Nasskern« nicht zwangsläufig mit Holzqualitätseinbußen bei der Küstentanne einhergeht.

Mechanische Eigenschaften

Das Holz der Küstentanne wies bei 12 Prozent Holzfeuchte im Mittel eine Rohdichte von 0,422 Gramm pro Kubikzentimeter (g/cm^3) im Splint, 0,389 g/cm^3 im „Kernholz“ und 0,362 g/cm^3 im juvenilen marknahen Holz auf. Die mechanischen Eigenschaften korrelieren sehr gut mit der Rohdichte des Holzes. Die Messungen zeigen anhand des Vergleichs dreier Standortskollektive auch, dass die Jahrringbreite als Ergebnis standörtlicher Bedingungen und waldbaulicher Behandlung die Ausprägung von Rohdichte und Festigkeit dieses Holzes wesentlich beeinflusst. Die bekannte Tendenz abnehmender Rohdichten und Festigkeiten innerhalb der Stämme von außen nach innen und von unten nach oben findet sich auch bei der Küstentanne bestätigt.

Sortierung

Die Verwendung der Küstentanne für Schnittholz im konstruktiven Bereich setzt aktuell beinahe zwingend eine maschinelle Sortierung voraus. Der selbst bei ver-



Abbildung 1: Küstentanne-Terrassendeckelement, Küstentanne-Triobalken, Küstentanne-Profilholz
(Fotos: B. C. Kielmann)

gleichsweise langsam gewachsenen Beständen noch relativ grobe Jahrringbau führt bei visueller Sortierung zu inakzeptabel geringen Ausbeuten. Die maschinelle Sortierung kann ein vorhandenes gutes Festigkeitsniveau erschließen und nachweisen. Zur Beurteilung der Schnittholzqualität wurden circa 1.340 jeweils 2,5 Meter lange Stammabschnitte zu Kanteln mit einem Querschnitt von 80 x 25 Millimetern aufgeschnitten. Diese wurden entsprechend den Kriterien nach DIN 4074-1 zunächst visuell sortiert. Eine Auswahl von 200 Kanteln daraus wurde weiterhin einer Sortierung mit dem »Timber Grader« und anschließend der zerstörenden Vierpunkt-Biegeprüfung nach EN 408 unterzogen. Die Festigkeit liegt unterhalb dem Niveau der Fichte, überlappt sich mit diesem jedoch insbesondere im äußeren Splintholz und bei engerem Jahrringbau. Das sehr schnell gewachsene Holz eines Versuchskollektivs erreichte bei einer apparativ unterstützten Sortierung auf Basis der Messung des dynamischen E-Moduls mit dem Timber Grader noch eine Gesamtausbeute von über 70 Prozent in den Sortierklassen ab S7 aufwärts, die visuelle Sortierung nach DIN 4074 schloss nahezu 95 Prozent dieses Schnittholzes aus.

Verarbeitung

Die Verarbeitung des Küstentannenholzes mit aktuell verfügbaren Klebstoffsystemen erscheint problemlos. Auch das mit der geringeren Rohdichte zusammenhängende weniger stark ausgeprägte Quellen und Schwinden unter wechselnder Feuchtigkeit trägt zu einer sehr guten Beständigkeit der Klebefugen unter Last und bei Feuchtebeanspruchung bei. Als positiv erwiesen sich die leichte Verarbeitbarkeit, das gute Verklebungsverhalten sowie die schnelle und gute Trocknung des Schnittholzes. Eine thermische Modifizierung mit dem BICOS-Verfahren senkte die Ausgleichsfeuchte um circa 50 Prozent und erhöhte die Resistenz des Holzes gegen Basidiomyceten sehr deutlich. Dabei wurden wichtige mechanische Eigenschaften nur moderat beeinflusst. Das Elastizitätsmodul und die Druckfestigkeit nahmen gegenüber dem unbehandelten Vergleichskollektiv geringfügig zu, die Biegefestigkeit wurde dagegen nur unwesentlich reduziert.

Die Küstentanne bietet einige Vorteile in der Holzverarbeitung. Die mechanischen Eigenschaften erreichen teilweise die Fichtenwerte. Dabei ist jedoch eine gezielte waldbauliche Behandlung der Mischbestände unerlässlich. Weiterhin wurden gute Ergebnisse bei der Bearbeitung und Verklebung des Holzes erzielt. Aus

ästhetischen Gesichtspunkten wird das helle Holz mit seiner gleichmäßigen Struktur als zeitloses Muster positiv beurteilt. Die relativ geringe Abholzigkeit sowie der günstige Astansatzwinkel der Probebäume führten zu einer hohen Ausbeute an Schnittholz-Produkten. Das mit dem Fichtenholz vergleichbare bis günstigere Sorptionsverhalten ergab bei der Schnittholztrocknung eine gute Dimensionsstabilität. Das Schnittholz kann im Innenbereich für Decken- und Wandvertäfelungen, Massivholzplatten sowie als Schreinerware im Möbelbau seine Verwendung finden. Die Harzfreiheit des Holzes macht die Küstentanne für die Herstellung von Saunaeinrichtungen besonders interessant.

Fazit

Aus waldbaulicher Sicht sprechen für die Küstentanne als Mischbaumart zur Buche mittlerweile mehrere Argumente. Mit Hilfe gezielter waldbaulicher Maßnahmen kann die Küstentanne in Abhängigkeit vom jeweiligen Produktionsziel geeigneten Rohstoff sowohl für die Sägeindustrie als auch für die Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie liefern.

Literatur

Hof, C.; Hapla, F.; Koch, G. (2008): *Küstentanne häufig zu Unrecht unter Wert verkauft – Einfluss der Feuchteverteilung (Nasskernbildung) auf Verfärbungen im Kernholz der Küstentanne (Abies grandis)*. Holz-Zentralblatt Nr. 29, S. 806-807

Hof, C.; Kielmann, B.C.; Hapla, F. (2008): *Verwendungsorientierte Untersuchungen am Schnittholz der Abies grandis*. Holztechnologie Nr. 6, S. 7-11

Key words: Grand fir, wood properties, sawn-timber grading, processing,

Summary: In the frame of BMBF-joint project utilization orientated investigations on Grand fir (*Abies grandis*) timber were carried out. The wood product properties and the possible uses of the sawn-timber were the principal objectives. The obtained investigation results contribute to the development of a timber market for Grand fir. From the point of view of wood quality, an optimal forest management strategy for this fast growing tree species should be established too.

Holzmarkt und Waldumbau aus der Sicht der Holzindustrie

Lars Schmidt

Schlüsselwörter: Holzmarkt, Beschaffungs- und Absatzproblem, naturnahe Waldwirtschaft

Zusammenfassung: Der naturnahe Waldbau ist aus der modernen Forstwirtschaft nicht mehr wegzudenken, verbindet er doch in hervorragender Weise ökonomische und ökologische Funktionen und Zielsetzungen. Trotzdem darf das „Denken“ einer modernen Forstwirtschaft nicht an der Waldstraße enden. Der Rundholzbeschaffungsmarkt ist auf Grund logistischer und ökonomischer Restriktionen regional ausgerichtet. Weiterhin sind das Holzaufkommen und die Verfügbarkeit insbesondere von Nadelholzsortimenten rückläufig. Gleichzeitig agieren Großkonzerne als auch klein- und mittelständische Unternehmen zunehmend auf globalisierten Schnittholzmärkten. Eine moderne Forstwirtschaft sollte vor allem auch auf die Erhaltung und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des gesamten Clusters Forst und Holz ausgerichtet sein und kann sich auf Dauer nicht leisten, am Markt vorbei zu produzieren. Aus Sicht der Holzindustrie ist – natürlich unter Beachtung ökologischer Erfordernisse – ein Waldbau zwingend, der die standörtlichen Voraussetzungen auf der gesamten Waldfläche voll ausschöpft.

Der naturnahe Waldbau ist aus der modernen Forstwirtschaft nicht mehr wegzudenken, verbindet er doch in hervorragender Weise ökonomische und ökologische Funktionen und Zielsetzungen. Außerdem ist die naturnahe und sorgsame Bewirtschaftung der Wälder unter Einbeziehung natürlicher Prozesse die „passende“ Antwort auf die zunehmende und zum Teil polemische Kritik der Naturschutzverbände an der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland. Trotzdem darf das „Denken“ einer modernen Forstwirtschaft nicht an der Waldstraße enden.

Globalisierte Märkte

Um auf einem zunehmend globalisierten Markt konkurrenzfähig und auch langfristig erfolgreich zu bleiben, müssen Unternehmen Anforderungen und Tendenzen des Marktes erkennen und bedienen können. Bei einem Produkt, das wie das Rohholz extrem lange Produktionszeiten hat, ist eine auf kurzfristige Marktentwicklungen ausgerichtete Produktion mit hohen Risiken behaftet. Nur eine breite Produktpalette gewährleistet die notwendige Flexibilität, situationsbedingt zu reagieren. Die naturnahe Waldwirtschaft mag die richtige Antwort auf die Risiken der Klimaveränderung sein. Ganz ohne gezielte Steuerung der Baumartenzusammensetzung, gegebenenfalls mittels Nachpflanzung und Pflege produktiver, auch nichtheimischer Baumarten, kann sie jedoch nicht optimal die Nachfrage des Marktes bedienen.

Die Rahmenbedingungen für die Forst- und Holzwirtschaft lassen sich in Stichworten wie folgt umreißen:

- Weltweit wächst der stoffliche, chemische sowie energetische Holzverbrauch;
- insbesondere steigt die energetische Nutzung auf Grund der Verknappung fossiler Rohstoffe;
- der Naturschutz fordert großflächigen Nutzungsverzicht, zahlreiche Gesetze und Verordnungen auf EU-, Bundes- und Landesebene beeinträchtigen die Nutzung;
- der Rundholzmarkt ist „regional“ begrenzt (Transportkosten); Holzaufkommen und Verfügbarkeit insbesondere Nadelholzsortimente sind rückläufig (Nutzungskonkurrenz, Naturschutz, Waldumbau);
- der Schnittholzmarkt hingegen ist zunehmend global/international, weltweit „offen“, sowohl für deutsche Unternehmen im Ausland als auch auf dem heimischen Markt für ausländische Marktpartner.

In der Folge steigen die Rohstoffkosten bei gleichzeitig stagnierenden bzw. sinkenden Produkterlösen.

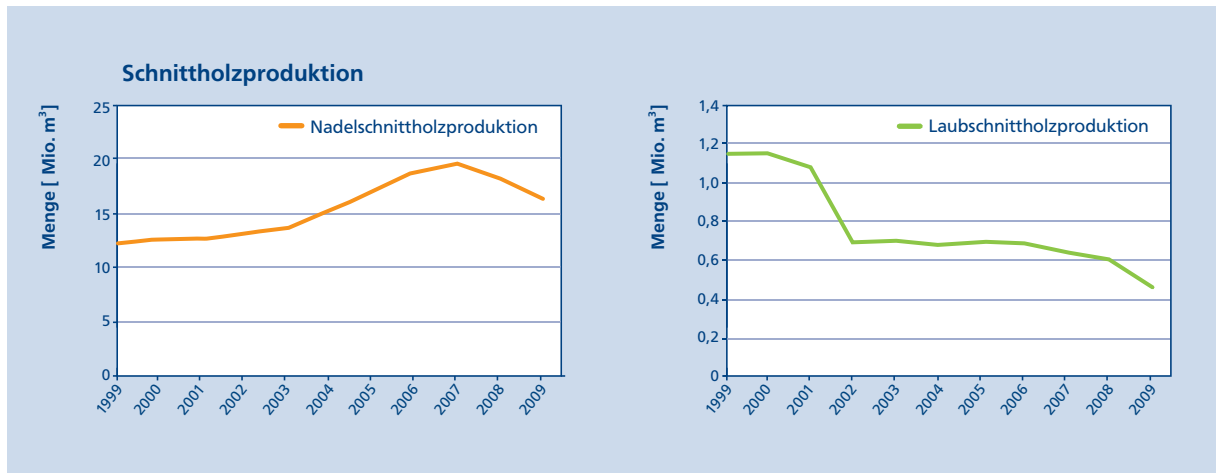


Abbildung 1: Produktion von Nadel- und Laubschnittholz in Kubikmetern (ZMP 2007)

Beschaffungsproblem der Nadelholzsägeindustrie

Der Nadelholzanteil geht in Deutschlands Wäldern flächenmäßig zurück. Dieser Prozess entspricht jedoch nicht dem zukünftigen Holzbedarf. Die rückläufigen Nadelholzmengen, vor allem in den Bau- und Industrieholzsortimenten, werden den heimischen Holzbedarf der Bevölkerung nicht mehr decken können. Daher muss, insbesondere aus klimapolitischer Sicht, ein ausreichender Nadelholzanteil in deutschen Wäldern erhalten bleiben. Denn viele Verwendungsmöglichkeiten für Holz im Bereich „Konstruktion, Platte und Papier“ sind nur mit Nadelhölzern zu verwirklichen. Es ist also kein Unwille der Industrie, sich technisch auf die geänderte Rohstoffsituation einzustellen, sondern schlicht eine Frage der Märkte.

Absatzproblem der Laubsägeindustrie

Die Nachfrage nach Laubholz steht im Gegensatz zu den waldbaulichen Maßnahmen. Die Produktion von Laubschnittholz ist rückläufig. Mit Blick auf diese negative Entwicklung ist ebenfalls fraglich, ob ausreichend Absatzmärkte vorhanden sind und ob das Zielsortiment »Buchenstarkholz« noch bestehen kann. Der Markt für massive Laubholzprodukte geht zunehmend an Holzwerkstoffe verloren. Lösungsansätze könnten neben gezieltem Marketing für „echtes“ Massivholz auch die Weiterentwicklung neuer Anwendungsbereiche (konstruktiver Bereich, TMT) bieten.

Fragestellung an die Forstwirtschaft

Mit Blick auf diese Rahmenbedingungen und Entwicklungen sollte die Forstwirtschaft insbesondere folgende Fragen beantworten, um die Zukunftsfähigkeit des Holzstandortes Deutschland sicher stellen zu können:

- Marktkonforme Baumartenzusammensetzung und Sortimente: Reichen die Nadelholzanteile (insbesondere auch klimaresistenter Arten) für den zukünftigen Bedarf und Verbrauch aus?
- Laubstarkholz: Welche gemeinsamen Anstrengungen können Forst und Holz unternehmen, um traditionelle sowie zukunftsfähige Märkte für Laubmassivholz zu stärken und auszubauen, um einen genügenden Absatz für den zukünftigen Laubstarkholzüberhang auch „abseits“ der energetischen Nutzung sicherzustellen?
- Moderne und effiziente Logistikketten im Rahmen der Einzelstammnutzung: Können wir die Effizienz in dieser Kette mit dem Ziel internationaler Wettbewerbsfähigkeit erhalten oder sogar ausbauen? Ist ausreichend Personal für „just-in-time“-Belieferung, Betreuung im Privatwald und ökonomische Betriebsabläufe vorhanden?
- Artenvielfalt und Naturschutz im Zuge sorgsamer Waldbewirtschaftung: Lässt sich die Forstwirtschaft diese Kernkompetenzen vom amtlichen und kommerziellen Naturschutz nehmen?

Handlungsempfehlungen und Forderungen seitens der Holzindustrie

Die Arbeitsgemeinschaft Rohholzverbraucher (AGR) und der Bundesverband Säge- und Holzindustrie (BSHD) fordern:

- Der Nadelholzanteil ist auf den geeigneten Standorten in ausreichendem Umfang von 50 Prozent sicherzustellen.
- Die Fichte ist außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes mit Nadel-Laubmischwaldbeständen mit Beimischung geeigneter Nutzholzarten wie Douglasie und Lärche zu ersetzen.
- Die Küstentanne ist schnellwüchsig und hat eine breite Standortsamplitude. Sie liefert frühzeitig verwertbares Durchforstungsholz. Ihre Verwendung als Sägeholz (insbesondere in stärkeren Dimensionen) ist allerdings problematisch, vor allem wegen der Starkastigkeit, des Nasskerns und des Trocknungsverhaltens.
- Als Alternative zur Fichte ist daher aus Sicht der Sägeindustrie der Douglasie der Vorzug zu geben, weil sie hervorragendes Sägeholz liefert, keine erkennbaren Probleme für die einheimische Flora und Fauna verursacht, schnellwüchsig ist und hervorragendes Holz liefert (kein Nasskern, unproblematisch in der Trocknung).
- Der Tannenanteil ist aus ökologischer Sicht zu erhöhen.
- Die Verjüngung von Nadelholz auf geeigneten Standorten unter Beimischung von Laubholz mittels Pflanzung oder Saat ist zu optimieren und zu erweitern.
- Der förderfähige Nadelholzanteil beim Waldumbau (Fichte, Tanne, Douglasie) im Privatwald muss erhöht werden.
- Auf Laubholzstandorten sollte ein Nadelholzanteil als Zeitmischung eingebracht werden.
- Der Waldanteil in Deutschland ist zu erhöhen. Brachliegende landwirtschaftliche Flächen sollten vorzugsweise mit Nadelgehölzen aufgeforstet werden.
- Die Förderrichtlinienpolitik sollte zugunsten eines stärkeren Anbaus von Nadelgehölzen geändert werden.
- Die Kiefer sollte auf geeigneten Standorten im Nordostdeutschen Tiefland künstlich verjüngt werden, insbesondere dann, wenn die Naturverjüngung auf Grund starker Bodenvegetation ausbleibt.

Eine moderne Forstwirtschaft sollte insbesondere auch auf die Erhaltung und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des gesamten Clusters Forst und Holz ausgerichtet sein. In einem zunehmend globalisierten Markt müssen wir die Konkurrenzfähigkeit unseres gemeinsamen Produktes Holz im Vergleich zu anderen Roh- und Werkstoffen erhalten. Kein wirtschaftlich handelndes Unternehmen (und auch nicht die Forstwirtschaft) kann es sich auf Dauer leisten, am Markt vorbei zu produzieren. Nur eine marktwirtschaftlich orientierte Forstwirtschaft kann auch langfristig erfolgreich sein.

Key words: Natural forestry, timber market, timber buying and sale problems.

Summary: We couldn't possibly imagine modern-day forest management without the concept of natural forestry, in particular because it connects economic with ecological functions and objectives in an excellent manner. Nevertheless, modern-day forest management „thinking“ must not stop at the forest tracks. The procurement market for logs has a strong regional focus due to logistic and economic limitations. Apart from this, the amount of wood and, notably, the availability of coniferous wood lines are declining. At the same time, large companies as well as SMEs are increasingly moving on global sawn timber markets. Modern-day forest management should mainly focus on maintaining and increasing competitiveness of the entire forestry and timber cluster and cannot afford to keep up producing without taking into account market needs. From the perspective of the timber industry – of course taking into account ecological requirements – forestry needs to make the most of site conditions in the entire forest area.

Übersetzung: Susanne Mühlhaus

Anschriften der Autoren

Dr. Herbert Borchert

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

Franz Brosinger

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

Dominik Cullmann

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Abteilung Waldwachstum
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
E-Mail: Dominik.Cullmann@forst.bwl.de

Dr. Christoph Dittmar

Umweltforschung & Bildung (UFB)
Am Sandacker 25
95511 Mistelbach
christoph.dittmar@freenet.de

Wolfgang Falk

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

Stefan Friedrich

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

Mark Geb

Nordwestdeutsche Versuchsanstalt
Abteilung Waldwachstum
Grätzelstraße 2
37079 Göttingen
E-Mail: mark.geb@nw-fva.de

Prof. Dr. Dr. h.c. František Hapla

Burckhardt-Institut der Georg-August-Universität
Göttingen
Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte
Büsgenweg 4
37077 Göttingen
fhapla@gwdg.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

Dr. Ulrich Kohnle

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Abteilung Waldwachstum
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
E-Mail: Ulrich.Kohnle@forst.bwl.de

Dr. Monika Konnert

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

Jürgen Nagel

Nordwestdeutsche Versuchsanstalt
Abteilung Waldwachstum
Grätzelstraße 2
37079 Göttingen
E-Mail: juergen.nagel@nw-fva.de

Ralf Nagel

Nordwestdeutsche Versuchsanstalt
Abteilung Waldwachstum
Grätzelstraße 2
37079 Göttingen
E-Mail: ralf.nagel@nw-fva.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. Andreas Rothe

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fakultät Wald und Forstwirtschaft
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3
85354 Freising
E-Mail: andreas.rothe@hswt.de

Randolf Schirmer

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

Lars Schmidt

Bundesverband Säge- und Holzindustrie Deutschland e.V.
Hauptgeschäftsstelle Berlin
Reinhardtstraße 18
10117 Berlin
E-Mail: lars.schmidt@bshd.eu

Matthias Schmidt

Nordwestdeutsche Versuchsanstalt
Abteilung Waldwachstum
Grätzelstraße 2
37079 Göttingen
E-Mail: matthias.schmidt@nw-fva.de

Prof. Dr. Hermann Spellmann

Nordwestdeutsche Versuchsanstalt
Abteilung Waldwachstum
Grätzelstraße 2
37079 Göttingen
E-Mail: hermann.spellmann@nw-fva.de

Dr. Helge Walentowski

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

Chaofang Yue

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Abteilung Waldwachstum
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg
E-Mail: Chaofang.Yue@forst.bwl.de

Christian Zang

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fakultät Wald und Forstwirtschaft
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3
85354 Freising
E-Mail: christian.zang@hswt.de