

Heft 5/95

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt
für Forsten

Genetik und Waldbau der Weißtanne

Teil 1 Beiträge zum Kolloquium



Freistaat  Sachsen

Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten

Impressum

Herausgeber

Sächsisches Landesanstalt für Forsten (LAF)
Bonnewitzer Straße 34
01827 Graupa
Telefon (03501) 5 42-0
Telefax (03501)-542-213

Redaktion und Gestaltung

Sächsische Landesanstalt für Forsten
Abteilung Generhaltung, Saatgutwesen und Züchtung

Repro/Druck

Druckerei Vettters GmbH

Fotos

Archiv der Landesanstalt

Redaktionsschluß

09/95

Auflage

1 000 Stück

Bezug

über Sächsische Landesanstalt für Forsten

Gedruckt auf Papier aus 100 % chlorfrei (tcf) gebleichtem Zellstoff

Titel:

Genetik und Waldbau der Weißtanne

Verteilerhinweis: Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Kandidaten oder Helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Mißbräuchlich ist besonders die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, daß dies als Parteinahme der Herausgeber zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Teil 1 Beiträge zum Kolloquium

	Vorwort	
F. Scholz	Zur Koordinierung des Verbundprojektes “Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne (<i>Abies alba</i> Mill.) in unterschiedlich immissionsbelasteten Regionen unter besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges”	1
A. Wickel	Hat die Weißtanne in Sachsen eine Chance?	3
L. Llamas Gomez und H. Braun	Die Weißtanne (<i>Abies alba</i> Mill.) in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung ihrer genetischen Konstitution	5
B. Ziegenhagen und F. Scholz	Möglichkeiten der Molekularbiologie in ökologisch-genetischen Fragestellungen am Beispiel der Weißtanne (<i>Abies alba</i> Mill.)	20
F. Bergmann	Genetische Untersuchungen an mittel- und osteuropäischen Weißtannen im Hinblick auf ihre historische Verbreitung	28
M. Konnert	Genetische Variation der Weißtanne (<i>Abies alba</i> Mill.) in Bayern und Baden-Württemberg	36
M. Hartig	Anbau standortsfremder Weißtannen-Herkünfte in Sachsen am Beispiel eines Provenienzversuches	46
M. Waldherr	Verjüngungs- und Pflegeverfahren für die Tanne in Bayern am Beispiel des Bayerischen Waldes	56
J. Grunwald	Die Bewirtschaftung der Weißtanne im Elbsandsteingebiet	64
A. Wickel	Waldbauliche Strategien zur Wiedereinbringung der Weißtanne in Sachsen	70

Vorwort

Die Weißtanne (*Abies alba* Mill.) ist eines der wichtigsten Glieder der natürlichen Waldvegetation Sachsens. Sie ist gleichzeitig die Baumart, die in unseren Wäldern in den letzten 200 Jahren am stärksten im Anteil zurückgegangen ist. Er liegt heute weit unter einem Prozent und beschränkt sich auf wenige Einzelbaumvorkommen.

Hat unter diesen Umständen die Weißtanne überhaupt noch ein Chance in Sachsen und wenn ja, wie soll ihr Anteil wieder schrittweise erhöht werden?

Das waren die zentralen Fragen eines am 01.12.1994 durchgeführten Kolloquiums. Unter den verschiedenen Gesichtspunkten von Wissenschaft und Praxis, reichend von der Genetik bis zu waldbaulichen Strategien, wurde das Thema „Weißtanne“ umfassend erörtert. Mit dem Heft 5/1995 der Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten sind wir nunmehr in der Lage, diese Beiträge zu veröffentlichen.

Der Anlaß zu diesem Kolloquium war der Abschluß eines unter der Nummer 108 05 046/56 durch das Umweltbundesamt geförderten Forschungsprojektes im Rahmen des Themas „Schutz genetischer Systeme von Pflanzenarten in Waldökosystemen als Ziel des Naturschutzes und der Forstwirtschaft“ unter dem Titel:

„Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne in unterschiedlich immissionsbelasteten Regionen unter besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges.“

Dabei handelte es sich um ein dreigeteiltes Forschungsvorhaben an den Einrichtungen: Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Universität Göttingen (Projektleitung von Dr. F. Bergmann), Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Großhansdorf (Hamburg) (Gesamtprojektleitung Dr. F. Scholz) und der Sächsischen Landesanstalt für Forsten in Graupa (Projektleitung Prof. Dr. H. Braun). Dieses Projekt lief vom 01.11.1991 bis zum Februar 1994. Das Ergebnis dieses Forschungsvorhabens unter Bearbeitung von Herrn Lorenzo Llamas Gomez (Graupa) und Frau Dr. B. Ziegenhagen (Hamburg) wird hiermit als Teil zwei der Schriftenreihe im vollen Umfang ebenfalls zur Kenntnis gegeben.

Wie selten ein Forschungsvorhaben - so die allgemeine Einschätzung - hat dieses Projekt die fachliche Praxis für die Tanne mobilisiert und sensibilisiert.

Dieses Forschungsprojekt hatte neben dem eigentlichen fachlichen Inhalt darüber hinaus eine Pilotfunktion für unsere Forschungseinrichtung. Es war das erste sogenannte Drittmittelprojekt kurz nach der Gründung der Sächsischen Landesanstalt für Forsten. Es war somit auch das erste Projekt einer gleichberechtigten Zusammenarbeit zwischen verschiedenen wissenschaftlichen

Einrichtungen aus Ost und West. Es diene dem beiderseitigen Wissenschaftstransfer und trug gleichzeitig, konzipiert bereits im November 1990, zum persönlichen Kennenlernen bei. Diese Tatsache sollte heute, wo dieses alles bereits Normalität geworden ist, nicht unerwähnt bleiben. Für diese Möglichkeit gilt dem Umweltbundesamt unser besonderer Dank.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'H. Braun', written in a cursive style.

Prof. Dr. habil. H. Braun

**Zur Koordinierung des Verbundprojektes
“Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der
Tanne (*Abies alba* Mill.) in unterschiedlich immissionsbelasteten Regionen
unter besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges”**

Florian Scholz

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstgenetik
Großhansdorf

Das Verbundprojekt mit dem genannten Thema umfaßt drei Teilbereiche der Immissionsforschung, die mit Förderung des Umweltbundesamtes bearbeitet wurden. Zunächst ging es dabei um eine Inventur der Restbestände sowie um deren genetische Inventur im Untersuchungsgebiet. Sodann wurden genetische Inventuren in Nachbarpopulationen des sächsischen Verbreitungsgebietes der Tanne durchgeführt. Schließlich erfolgten Untersuchungen an Nachkommenschaften in Reliktbeständen.

Die Untersuchungen wurden in der genannten Reihenfolge von den folgenden drei Arbeitsgruppen an drei Forschungseinrichtungen durchgeführt: Sächsische Landesanstalt für Forsten (H. Braun, L. Llamas), Universität Göttingen (F. Bergmann), Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (F. Scholz, B. Ziegenhagen).

Das Prinzip der “Dreiheit” spielt in der Vorstellungswelt des Menschen seit jeher eine bedeutende Rolle. Von Platons Ideen im “Timaios” bis zum Tisch mit drei Beinen, der nie wackelt begegnet uns die Zahl “drei” immer wieder. Auch bei den zu koordinierenden Elementen dieses Projektes tritt sie wiederholt auf. Im wesentlichen kamen Methoden aus den folgenden drei Gebieten zur Anwendung: Waldbau, Populationsgenetik und Molekularbiologie. Mit Deutschland, Polen sowie Tschechien/Slowakei waren drei europäische Länder beteiligt, in Deutschland wiederum die Bundesländer Freistaat Sachsen, Niedersachsen sowie die Freie und Hansestadt Hamburg.

Drei Ministerien waren in die Arbeit involviert, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und das Sächsische Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten. Dabei waren drei Strukturelemente miteinander zu verknüpfen, nämlich Forschung, Verwaltung und forstliche Praxis.

Mit dem Projekt werden drei Zeitebenen angesprochen, die postglaziale Einwanderung, die gegenwärtige genetische Struktur der Bestände und das künftige genetische Management. Hinsichtlich der forstgenetischen Forschung in Deutschland sei an drei historische Phasen erinnert. Zunächst hatten Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung gemeinsame Wurzeln, sodann diver-

gierten sie in verschiedenen Gesellschaftssystemen. Das vorliegende "Projekt der ersten Stunde" nach der Wiedervereinigung ist ein Beispiel für die gedeihliche Wiederherstellung einer Gemeinschaft.

Bei den Mitwirkenden sind drei Stadien wissenschaftlicher Laufbahn vertreten, Herr L. Llamas als wissenschaftlicher Nachwuchs, Frau B. Ziegenhagen und Herr F. Bergmann als "gestandene Wissenschaftler" und im Forschungsmanagement H. Braun und F. Scholz.

Drei Hauptergebnisse sind erarbeitet worden. Es gibt die Sächsische Tanne noch. Sie ist allerdings genetisch verarmt. Die Nachbarpopulationen im Verbreitungsgebiet sind ähnlich.

Hieraus wurden drei Schlußfolgerungen gezogen. Die Erhaltung der Restvorkommen vor Ort allein aus sich heraus ist nicht möglich. Eine Erhaltung *ex situ* in Samenplantagen zur Vergrößerung der Reproduktionsgemeinschaft ist sinnvoll. Zur Bereicherung der genetischen Diversität wird die Einbringung nicht autochthonen Materials empfohlen. Hierbei ist auf die richtige Provenienzwahl zu achten.

Die Ergebnisse der Arbeiten eröffnen im wesentlichen drei Perspektiven. Die Integration ökologisch-genetischer Aspekte in waldbauliche Konzepte ist sinnvoll. Am Beispiel der Tanne als Modellbaumart wurden die Vorzüge eines Verbundprojektes deutlich. Es empfiehlt sich ein Netzwerk ökologisch-genetischer Forschung in Deutschland, in der Europäischen Gemeinschaft und darüber hinaus.

Mit der heutigen Tagung sollen die Ergebnisse der Praxis vorgestellt werden. Als Koordinator danke ich allen Beteiligten und wünsche der Tagung einen guten Verlauf.

Hat die Weißtanne in Sachsen eine Chance?

Andreas Wickel

Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten

Kurzfassung

Eine verlorene Baumart

- Rückgang der Weißtanne vom Mittelalter bis heute von 10 - 15 auf unter 0,1 %!
- Aus einer wichtigen Baumart der natürlichen Waldgesellschaften der Mittelgebirge ist ein "Exot" geworden.
- Weißtanne - eine Baumart der "roten Liste" vom Aussterben bedrohter Arten.
- Aus den Gedanken der praktizierenden Forstleute ist die heimische Tanne weitgehend verschwunden.

Gründe für das Verschwinden

- Übernutzung des Waldes im Mittelalter (Bergbaufolgen!),
- Aufforstung devastierter Waldflächen mit den schnellwachsenden Baumarten Fichte und Kiefer,
- Schlagfolgewirtschaft, insbesondere die sächsische Schmalkahlschlagwirtschaft ist tannenfeindlich,
- Schäden durch den "sauren Regen" seit dem 18. Jahrhundert,
- Belastung der Forsten mit überhöhten Schalenwildbeständen.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wiedereinbürgerung

- Die Standortverhältnisse im natürlichen Verbreitungsgebiet sind nach dem Wegfall der Streunutzung humus- und nährstoffreicher geworden.
- Anstelle der Kahlschlagwirtschaft sind langfristige Verjüngungsverfahren mit Voranbau und Naturverjüngung vertreten.
- Bewährte sächsische Lehrmeister des naturnahen Waldbaus wie GRASER können Wege zum Bergmischwald mit der Tanne weisen.
- Der Bodenversauerung muß durch Aufkalkung der Pflanzplätze begegnet werden; die Weißtanne wirkt langfristig meliorierend.
- Kenntnisse der genetischen Konstitution der Restvorkommen und genetische Anforderungen an das Pflanzmaterial für Wiedereinbürgerungen sind wesentliche Voraussetzung für den Erfolg.

- Die Luftschadstoffsituation entspannt sich bezüglich des SO₂.

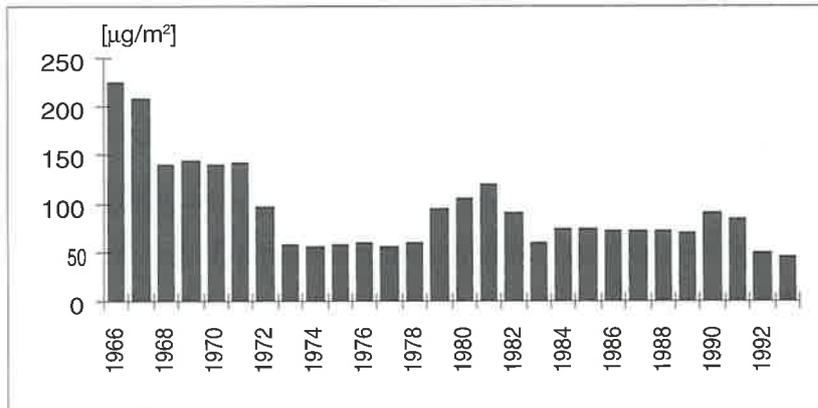


Abb. 1: Jahresmittelwerte SO₂ [µg/m³] aller Meßstationen der TU Dresden im Erzgebirge

- Der Reduktionsabschuß zeigt erste Erfolge.

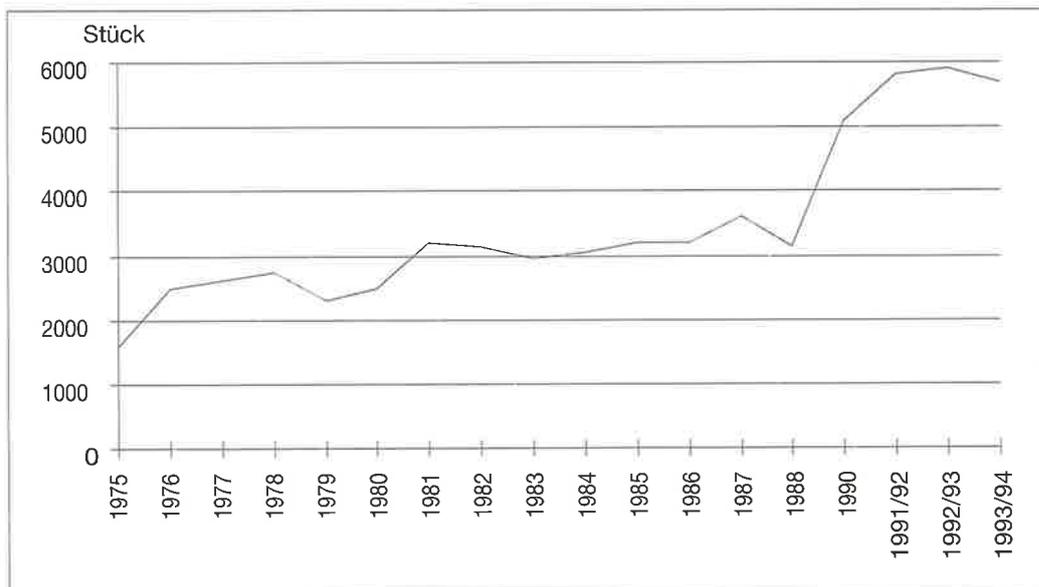


Abb. 2: Abschlußentwicklung Rotwild - Gesamtjagd Sachsen

Antwort auf die Frage des Vortragsthemas

Die Weißtanne hat im natürlichen Verbreitungsgebiet eine Chance. Die Landesforstverwaltung wird sich intensiv dafür einsetzen.

Frage an die Genetiker

Genetische Untersuchungen sind eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen der Tanneneinbringung. Ich messe dabei der genetischen Vielfalt des Saat- und Pflanzgutes große Bedeutung bei und hoffe daher auf eine Beantwortung der Frage:

Muß es in Sachsen immer die "Osttanne" sein?

Die Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung ihrer genetischen Konstitution.

Lorenzo Llamas Gómez und Hubert Braun
Sächsische Landesanstalt für Forsten Graupa

Die Weißtanne ist eines der wichtigsten Glieder der natürlichen Vegetation der sächsischen Mittelgebirge. Bei keiner Baumart ist die Diskrepanz zwischen ihrem ursprünglichen Anteil an der natürlichen Vegetation und ihrer heutigen Verbreitung so groß wie bei der Tanne. Sie gehört heute in Sachsen zu den akut vom Aussterben bedrohten Arten. Ihr kommt somit sowohl als Objekt des Artenschutzes als auch für den Aufbau naturnaher Wälder eine außerordentlich große Bedeutung zu.

Unsere Kenntnisse über den Umfang, den Vitalitätszustand und die genetische Konstitution der Tannenrestvorkommen in Sachsen waren bisher nur lückenhaft bzw., insbesondere die genetische Komponente betreffend, nicht vorhanden. Es bestand daher ein akuter Handlungsbedarf. Die vorliegende Arbeit soll unseren aktuellen Stand der Erkenntnisse und die gebotenen Schlußfolgerungen zusammenfassend darstellen.

Die natürliche Verbreitung der Tanne und die Beschreibung ihres Rückgangs in Sachsen

Die Weißtanne erreichte in der Rückwanderung aus ihren Refugialgebieten nach der Eiszeit als letzte Baumart vor ca. 4000 Jahren den sächsischen Raum und damit auch gleichzeitig ihre nördliche natürliche Verbreitungsgrenze. Ihre Hauptverbreitung beschränkte sich auf die mittleren bzw. höheren Lagen des Erzgebirges.

Bereits im 12. Jahrhundert führten Erzfunde zur Gründung zahlreicher Siedlungen und dadurch vollzog sich eine intensive Rodungstätigkeit. Der Holzbedarf stieg im Zusammenhang mit dem Bergbau enorm an. Nach REINHOLD (1942) kann man davon ausgehen, daß im 16. Jahrhundert zwar der Wald sein ursprüngliches Erscheinungsbild verlor, eine Veränderung der Baumartenzusammensetzung bis auf wenige Ausnahmen jedoch nicht erfolgte. Im 17. Jahrhundert war die Tanne im sächsischen Verbreitungsgebiet noch mit etwa einem Drittel an der Bestockung beteiligt (MEYER, 1956).

Im Zuge des 30jährigen Krieges kam es erneut zu großen Waldverwüstungen und Plünderungen. HEMPEL (1979) kommt zu der Schlußfolgerung, daß die Tanne Ende des 17. Jahrhunderts in den Wäldern des Gebirgsvorlandes stark zurückgegangen war und sich ihr Auftreten mehr und mehr auf die montane Buchenstufe beschränkte.

Anfang des 19. Jahrhunderts begann eine geregelte Forstwirtschaft. Der Hochwald wurde zum überwiegenden Teil schlagweise genutzt und Fichte nach und nach zur Hauptbaumart in den sächsischen Mittelgebirgen.

Im Zuge der bürgerlichen Revolution 1848 wurde das Privileg der herrschaftlichen Jagd aufgehoben. Es kam dadurch zu einer starken Dezimierung des Wildbestandes. HEMPEL (1979) vermutet, daß die heute noch lebenden Tannen aufgrund ihres Alters aus Verjüngungen dieser Zeit stammen.

Durch den Ausbau der Kahlschlagwirtschaft zur dominierenden Wirtschaftsform und dem damit einhergehenden Aufbau von einschichtigen Nadelholzreinbeständen im Zuge der Bodenreinertragslehre verschlechterten sich die ökologischen Grundlagen für ein Gedeihen der Weißtanne weiter. Hinzu kam mit der steigenden Industrialisierung Sachsens die Zunahme des SO₂-Ausstoßes sowie anderer Schadgase. Dieser Komplex führte bereits im 19. Jahrhundert zu einem dramatischen Rückgang der Tanne.

Wie intensiv der Prozeß des Rückgangs der Tanne war, verdeutlichen beispielhaft die Untersuchungen von KIENITZ (1936) an Hand von Pollenanalysen und Archivstudien für den Forstbezirk Eibenstock für einen Zeitraum von 300 Jahren. Gegen Ende des 16. Jahrhunderts lag der Tannenanteil dieses Forstbezirkes noch bei rund 28%. Für das Jahr 1927 ermittelte er einen Tannenanteil an der Holzbodenfläche von lediglich 1%. Zum Stichtag 1.1.1955 gibt MEYER (1956) für Sachsen eine reduzierte Tannenfläche über alle Altersstufen von 159,70 ha (0,03% der damaligen Holzbodenfläche) an. Dabei schätzte er den Anteil gesunder Tannen auf etwa ein Drittel dieser Fläche.

In den letzten Jahren wurden regional begrenzte Erhebungen zu den noch vorhandenen Tannenvorkommen in Sachsen durchgeführt (BLANKMEISTER, 1962; MÖCKEL und WAGNER, 1985; HAUPT, 1988; POLACEKOVA und ZELEK 1991). Bei allen diesen Untersuchungen wird festgestellt, daß sich der Umfang der Tannenvorkommen gegenüber 1955 weiter drastisch verringert hat und die Tanne in Sachsen bereits sehr selten geworden ist (s. a. HARTIG, 1986). Der Rückgang dieser Baumart ist infolge pfleglicher Wirtschaftsformen zwar mancherorts eingeschränkt - so z.B. durch KRUTSCH in Bärenfels; SCHAAL in Olbernhau; SCHLEGEL und WOBST in Hinterhermsdorf -, jedoch nicht aufgehalten worden (LEONHARDT, 1992).

Die aktuelle Verbreitung der Tanne in Sachsen

Heute existieren in Sachsen höchstens 2000 Tannen mit einem Alter von über 60 Jahren. Es handelt sich oftmals nur noch um Einzelbäume. Ein horst-, gruppen- bzw. bestandesbildendes Auftreten ist sehr selten anzutreffen. Einen Überblick vermittelt Abbildung 1. Die größten zusammenhängenden Restvorkommen in Sachsen befinden sich im Elbsandsteingebiet, vorwiegend im Bereich des Nationalparks „Sächsische Schweiz“. Das Forstamt Bad Schandau ist das tannenreichste Forstamt in Sachsen. Zum Zeitpunkt der Aufnahmen waren in diesem Forstamt über 400 Altannen vorhanden.

Aus den Ergebnissen von MEYER (1956) ergibt sich für Sachsen zum Stichtag 1.1.1955 ein Tannenbestand von mindestens 61 000 Altannen. Der Rückgang der Tannenpopulation gegenüber 1955 beträgt demzufolge 96,7 %. Nimmt man in Anlehnung an MEYER (op. cit.) eine Anzahl von 600 Tannen als Umrechnungsfaktor für die reduzierte Tannenfläche, so errechnet sich für das Jahr 1993 eine mit Altannen bestockten Fläche von lediglich 3,3 ha.

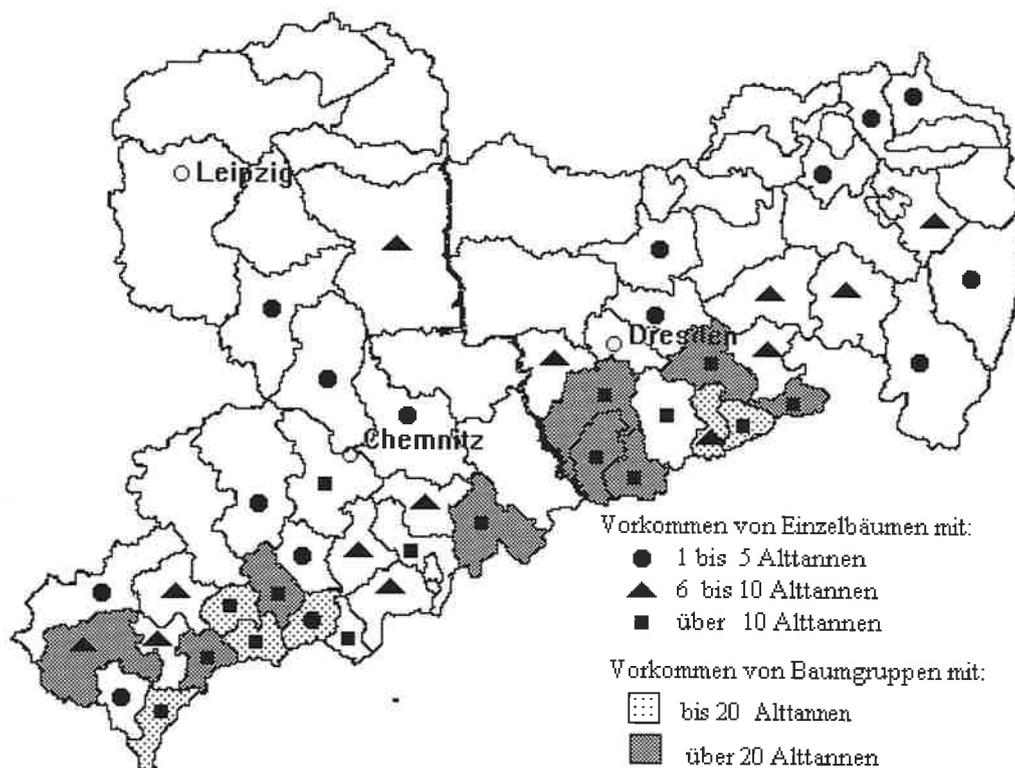


Abb. 1: Verteilung der Altannenvorkommen Sachsens

Der Vitalitätszustand der sächsischen Tanne

Die Bonitierung des Vitalitätszustandes der einzelnen Tannen erfolgte weitgehend auf der Grundlage der Methode der Waldzustandserfassung nach Schadstufen (Tabelle 1), ohne eine Berücksichtigung der Nadelverfärbung.

Tab. 1: Schadstufenbonitur nach dem Nadelverlust

Stufe	Nadelverlust	Bezeichnung	
0	0 - 10 %	ohne Schadensmerkmal	
1	11 - 25 %	schwach geschädigt	(Warnstufe)
2	26 - 60 %	mittelstark geschädigt	deutlich geschädigt
3	61 - 99 %	stark geschädigt	deutlich geschädigt

Der Zustand der Tannenrestvorkommen im Altersbereich von über 60 Jahren wurde im Winter 1992/93 erfaßt und mit insgesamt 636 Tannen bonitiert. Es erfolgte nur eine Bonitur der leben-

den Exemplare. Es entfällt die bei der Waldschadenserhebung ansonsten übliche Schadstufe 4 (abgestorben).

Nach diesen Ergebnissen weisen 94% der Tannen deutliche Schäden auf (Abbildung 2). Nur 5% der Weißtannen gelten als leicht geschädigt und knapp 1% wurde in die Kategorie der nicht geschädigten eingestuft.

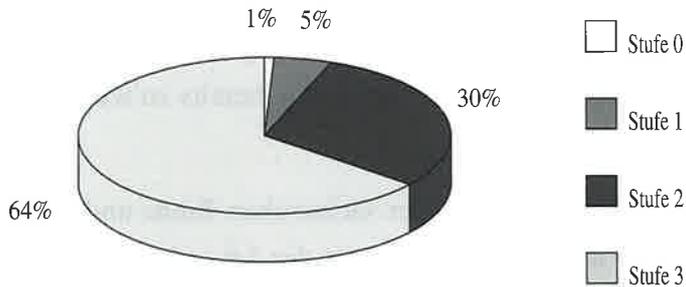


Abb. 2: Verteilung der Schadstufen der Weißtanne

Analysiert man die Schäden in den einzelnen Wuchsbezirken, so sind diese im Westerzgebirge am geringsten. Aus Abbildung 3 geht hervor, daß bei 5% der Weißtannen in diesem Wuchsbezirk kein Schadensmerkmal (Schadstufe 0) registriert wurde. Während der Anteil deutlich geschädigter Tannen im Westerzgebirge nur 72% beträgt, variiert der Anteil dieser Schadstufen zwischen 96% im mittleren Erzgebirge und 100% im Elbsandsteingebiet sowie im Hügelland (Sächsisch-Thüringisches und Lausitzer Löß-Hügelland).

Bei einer Betrachtung der Verteilung der Schadstufen nach Höhenlagen ist zu erkennen, daß die größten Schäden in den unteren Lagen zu verzeichnen sind. In den höheren Lagen ist der Anteil deutlich geschädigter Bäume (Stufe 2 und 3) mit 72% am geringsten. Diese Vorkommen stoken vorwiegend auf günstigen Standorten in geschützten (Tal-) Lagen im Westerzgebirge.

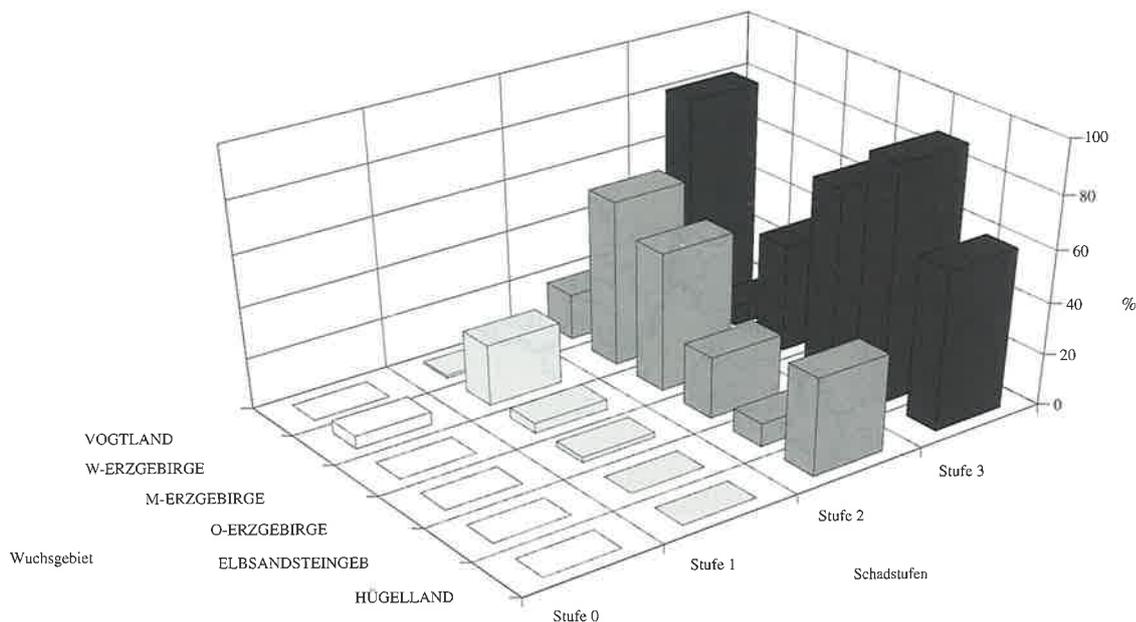


Abb. 3: Verteilung der Schadstufen der Weißtanne nach Wuchsgebieten bzw. -bezirken

Die genetische Konstitution der sächsischen Tanne

Entscheidende Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wiedereinbürgerung der Weißtanne sind sowohl die Kenntnis der genetischen Konstitution der noch vorhandenen Exemplare und Vorkommen, als auch ihre Einordnung in das genetische Verbreitungsmosaik der gesamten Art. Ersteres ist wichtig für die Beurteilung der Chancen einer Wiedereinbürgerung aus „eigener Kraft“. Es ist die Frage zu beantworten: Sind die Tannenrestvorkommen noch in der Lage, genetisch wertvolles, eine hohe Vitalität, Angepaßtheit und Anpassungsfähigkeit garantierendes Vermehrungsgut zu produzieren oder ist die genetische Einengung bereits zu weit fortgeschritten?

Die Einschätzung der genetischen Abstände zwischen der sächsischen Tanne und anderen Vorkommen, Populationen und Herkünften im Verbreitungsgebiet der Art ist bedeutsam, um hieraus wiederum Schlußfolgerungen für den Import von Saat- und Pflanzgut aus anderen Herkunftsgebieten abzuleiten.

Bei den genetischen Untersuchungen wurden 21 Tannenvorkommen berücksichtigt. Dabei handelt es sich um die größten zusammenhängenden Tannenrestvorkommen in Sachsen. Aus Abbildung 4 ist die geographische Lage der untersuchten Populationen ersichtlich. Diese Vorkommen gehören den Wuchsgebieten Erzgebirge bzw. Elbsandsteingebiet an.

Insgesamt wurden 584 Tannen in die genetischen Analysen einbezogen. Es handelt sich ausschließlich um Tannen, deren geschätztes Alter über 60 Jahren liegt. Die Anzahl der untersuchten Bäume pro Vorkommen richtete sich nach der Größe der Vorkommen selbst. Der Stichprobenumfang variiert zwischen 14 und 53 Tannen (Tabelle 2).

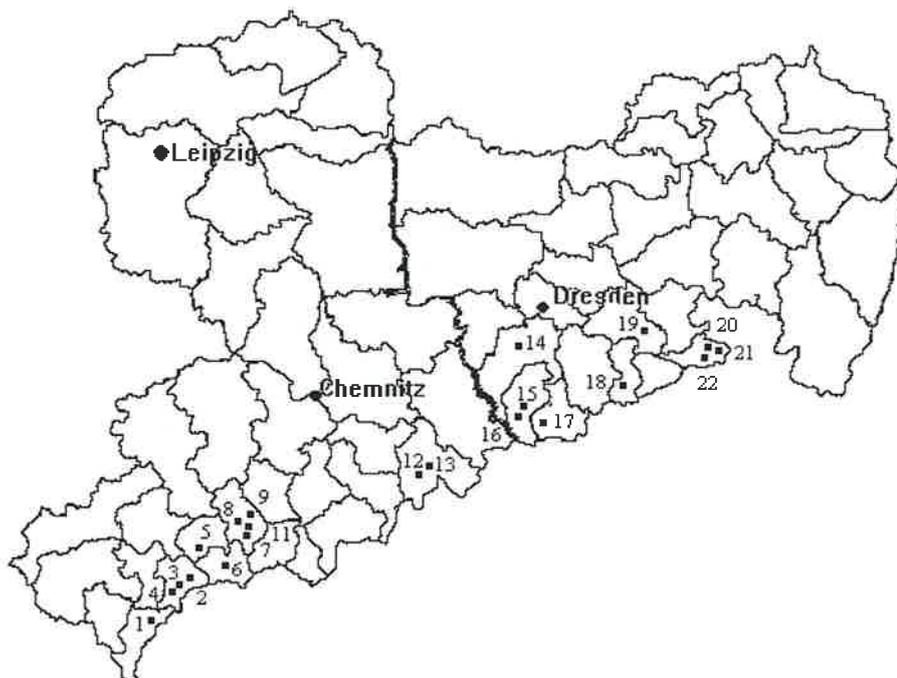


Abb. 4: Lage der untersuchten Tannenrestvorkommen

Tab. 2: Zusammenstellung der untersuchten Weißtannenvorkommen und Anzahl der Probeebäume

Vorkommen	Wuchsgebiet	Wuchs- bezirk	Forstrevier	Höhe über NN (m)	Nadel- verlust (%)	Probe- Bäume
<i>Erlbach</i> 1	Erzgebirge	451	Zwota	560	60	19
<i>Klingenthal</i> 2	Erzgebirge	451	Rautenkranz	720	36	39
<i>Klingenthal</i> 3	Erzgebirge	451	Brunndöbra	680	40	17
<i>Klingenthal</i> 4	Erzgebirge	451	Brunndöbra	720	30	14
<i>Schönheide</i> 5	Erzgebirge	451	Torfhaus	750	40	16
<i>Eibenstock</i> 6	Erzgebirge	451	Auersberg	760	45	20
<i>Lauter</i> 7	Erzgebirge	451	Antonsthal	590	45	24
<i>Lauter</i> 8	Erzgebirge	451	Conradswiese	660	67	16
<i>Lauter</i> 9	Erzgebirge	451	Conradswiese	660	56	30
<i>Lauter</i> 11	Erzgebirge	451	Bockau	700	49	14
<i>Olbernhau</i> 12	Erzgebirge	455	Olbernhau	650	53	14
<i>Olbernhau</i> 13	Erzgebirge	455	Olbernhau	650	50	33
<i>Karsdorf</i> 14	Erzgebirge	458	Karsdorf	350	69	53
<i>Bärenfels</i> 15	Erzgebirge	456	Wahlsmühle	550	66	49
<i>Bärenfels</i> 16	Erzgebirge	456	Bärenfels	600	62	33
<i>Altenberg</i> 17	Erzgebirge	456	Hirschsprung	600	70	25
<i>Bielatal</i> 18	Elbsandsteingeb.	462	Raum	400	80	14
<i>Lohmen</i> 19	Elbsandsteingeb.	461	Hohnstein	180	*	34
<i>Schandau</i> 20	Elbsandsteingeb.	461	Hinterhermsdorf	360	70	46
<i>Schandau</i> 21	Elbsandsteingeb.	461	Hinterhermsdorf	340	50	51
<i>Schandau</i> 22	Elbsandsteingeb.	461	Ostrau	260	60	23

* nicht bonitiert

Die Untersuchungen wurden an Knospenmaterial durchgeführt. Die genetischen Analysen beruhen auf der Untersuchung von Isoenzymssystemen mittels Stärkegelelektrophorese.

Für die genetischen Untersuchungen wurden nur Enzymssysteme analysiert, deren genetische Kontrolle als nachgewiesen gilt und die sich bei den Untersuchungen von KONNERT (1992) in Südwestdeutschland als polymorph erwiesen. In Tabelle 3 sind die mit Hilfe der Stärkegelelektrophorese untersuchten Enzymssysteme zusammengestellt. Ausgewertet wurden insgesamt 9 Genloci

Tab. 3: Zusammenstellung der analysierten Enzymssysteme und der untersuchten Genloci mit den gefundenen Allelen

Enzymsystem (Abkürzung)	Untersuchte Genloci	Anzahl der Allele
Isocitrat-Dehydrogenasen (IDH)	IDH-A	3
	IDH-B	2
6-Phosphogluconat-Dehydrogenasen (6-PGDH)	6-PGDH-A	2
Diaphorasen (Dia)	Dia-A	2
Glutamatoxalacetat-Transaminasen (GOT)	GOT-A	2
	GOT-B	2
	GOT-C	3
Leucin-Aminopeptidasen (LAP)	LAP-A	2
Alanin-Aminopeptidasen (AAP)	AAP-A	2

In Tabelle 4 sind die Werte der genetischen Vielfalt und der Diversität zusammengefaßt. Daraus ist zu erkennen, daß im Durchschnitt 1,94 Allele pro Locus vorhanden sind. Von den 9 untersuchten Genorten erwies sich lediglich das Vorkommen *Olbernhau 13* für alle Genloci als polymorph. Bis auf diese Population zeigte der Genloci Dia-A keine Variation. Ebenfalls waren die Genorte GOT-A, GOT-B und LAP-A bei einem Teil der untersuchten Populationen monomorph.

Die Werte für die Genpool-Diversität (v_{Pool}) variieren zwischen 1,272 im Vorkommen *Klingenthal 3* und 1,612 im Vorkommen *Olbernhau 13*. Lediglich zwei Populationen (*Olbernhau 13* und *Lauter 11*) wiesen eine Genpooldiversität größer als 1,5 auf. Erst durch den multiplikativen Effekt der Multilocus-Diversität kommen die vorhandenen Unterschiede zum Ausdruck. Der Mittelwert dieser Variationsmaße beträgt 17,87. Besonders gering ist die genische (allelische) Diversität mit $v_{gam} = 6,56$ im Bestand *Klingenthal 3*. Die Multilocusdiversität ($v_{gam} = 54,37$) ist im Bestand *Olbernhau 13* am höchsten. Tendenziell zeigen die Vorkommen des Elbsandsteingebirges eine höhere Multilocus-Diversität als die im Osterzgebirge.

Die Differenzierung (δ_T) innerhalb der Population zeigt ein ähnliches Bild wie das der Multilocusdiversität. Mit $\delta_T = 0,346$ erreicht sie den größten Wert im Vorkommen *Olbernhau 13* und sie beträgt nur 0,176 in der Population *Klingenthal 3*.

Tab. 4: Werte der genetischen Vielfalt (A/L = mittlere Anzahl Allele pro Locus, P = Anteil polymorpher Genloci, G_p = maximale genotypische Vielfalt), der genetischen Diversität (v_{Pool} = Genpool-Diversität, v_{gam} = hypothetische gametische Multilocus-Diversität) und der Populationsdifferenzierung (δ_T).

Vorkommen		Genetische Vielfalt			Genetische Diversität		Differenzierung
Bezeichnung	Nr.	A/L	P (%)	G_p	v_{Pool}	v_{gam}	δ_T
<i>Erlbach</i>	1	1,89	85	2916	1,347	11,159	0,225
<i>Klingenthal</i>	2	1,89	85	2916	1,379	13,570	0,234
<i>Klingenthal</i>	3	1,78	80	972	1,272	6,559	0,176
<i>Klingenthal</i>	4	1,78	80	972	1,406	14,866	0,246
<i>Schönheide</i>	5	2,00	90	8748	1,460	19,523	0,265
<i>Eibenstock</i>	6	2,00	90	8748	1,410	17,738	0,239
<i>Lauter</i>	7	2,00	90	8748	1,448	21,284	0,276
<i>Lauter</i>	8	2,00	90	8748	1,352	11,248	0,227
<i>Lauter</i>	9	2,00	90	8748	1,448	17,704	0,248
<i>Lauter</i>	11	1,89	85	2916	1,588	35,099	0,301
<i>Olbernhau</i>	12	1,78	80	972	1,334	9,659	0,212
<i>Olbernhau</i>	13	2,22	100	78732	1,612	54,373	0,346
<i>Karsdorf</i>	14	1,89	85	2916	1,371	12,997	0,230
<i>Bärenfels</i>	15	2,00	90	8748	1,344	11,417	0,223
<i>Bärenfels</i>	16	1,89	85	2916	1,452	18,732	0,253
<i>Altenberg</i>	17	1,89	85	2916	1,360	12,179	0,230
<i>Bielatal</i>	18	2,00	90	8748	1,454	19,441	0,270
<i>Lohmen</i>	19	1,89	85	2916	1,427	17,990	0,249
<i>Schandau</i>	20	2,00	90	8748	1,481	22,555	0,266
<i>Schandau</i>	21	2,00	90	8748	1,450	20,196	0,262
<i>Schandau</i>	22	2,00	90	8748	1,492	26,291	0,290

Die Werte der mittleren aktuellen Heterozygotie variieren zwischen 9,1% im Vorkommen *Lauter 8* und 24,6% in den Vorkommen *Schandau 22* und *Bielatal 18* im Elbsandsteingebirge (Tabelle 5).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die sächsische Tanne eine nur geringe genetische Vielfalt und Diversität besitzt. Die Tannenpopulationen aus dem Elbsandsteingebiet sind durch eine tendenziell höhere Heterozygotie als die Vorkommen des Erzgebirges gekennzeichnet. Die Tannen des Erzgebirges zeigen sich bezüglich der Heterozygotie eher homogen. Es ergibt sich eine deutliche geographische Differenzierung. Bestände aus dem Elbsandsteingebiet zeichnen sich durch die signifikant höhere Häufigkeit des Allels AAP-A1 aus. Eine klinale Veränderung bei den Populationen des Erzgebirges ist nicht zu erkennen.

Die im Vorkommen *Olbernhau 13* gefundene Variation am Genort Dia-A deutet nach bisherigen Untersuchungen (BERGMANN UND KOWNAZKI, 1988; KONNERT, 1992) darauf hin, daß dieser Bestand zumindest zu einem nicht unbeträchtlichen Umfang aus Vermehrungsgut aus Südwestdeutschland stammt und damit als nicht autochthon einzustufen ist. Ähnliches gilt für die Vorkommen *Klingenthal 3* und *Lauter 8*.

Tab. 6: Beobachtete (Ha) und unter genetischen Gleichgewicht erwartete (He) Heterozygotie sowie Fixierungsindex (F) der Weißtannenvorkommen

Vorkommen	Mittl. Heterozygotiegrad (%)		Fixierungs- Index	
	Bezeichnung Nr.	beobachtet (Ha)		erwartet (He)
<i>Erlbach</i>	1	18,7	21,3	5,3
<i>Klingenthal</i>	2	18,0	22,8	11,7
<i>Klingenthal</i>	3	13,1	16,6	13,6
<i>Klingenthal</i>	4	21,4	22,9	5,2
<i>Schönheide</i>	5	17,4	24,9	13,9
<i>Eibenstock</i>	6	21,1	22,8	3,2
<i>Lauter</i>	7	21,8	26,5	9,8
<i>Lauter</i>	8	9,1	21,3	33,0
<i>Lauter</i>	9	17,8	24,0	11,7
<i>Lauter</i>	11	22,2	27,9	8,7
<i>Olbernhau</i>	12	13,5	19,6	14,4
<i>Olbernhau</i>	13	23,6	33,6	30,0
<i>Karsdorf</i>	14	16,1	22,5	16,3
<i>Bärenfels</i>	15	17,2	21,8	13,7
<i>Bärenfels</i>	16	21,9	24,6	3,5
<i>Altenberg</i>	17	18,2	22,0	15,3
<i>Bielatal</i>	18	24,6	25,0	-2,0
<i>Lohmen</i>	19	21,2	24,8	7,2
<i>Schandau</i>	20	22,5	26,1	10,5
<i>Schandau</i>	21	23,3	25,7	5,9
<i>Schandau</i>	22	24,6	27,7	7,3

Vergleicht man die genetische Diversität, so sind z.B. die Vorkommen Südwestdeutschlands um ein Vielfaches diverser und differenzierter als die untersuchten sächsischen Populationen (Abbildung 5).

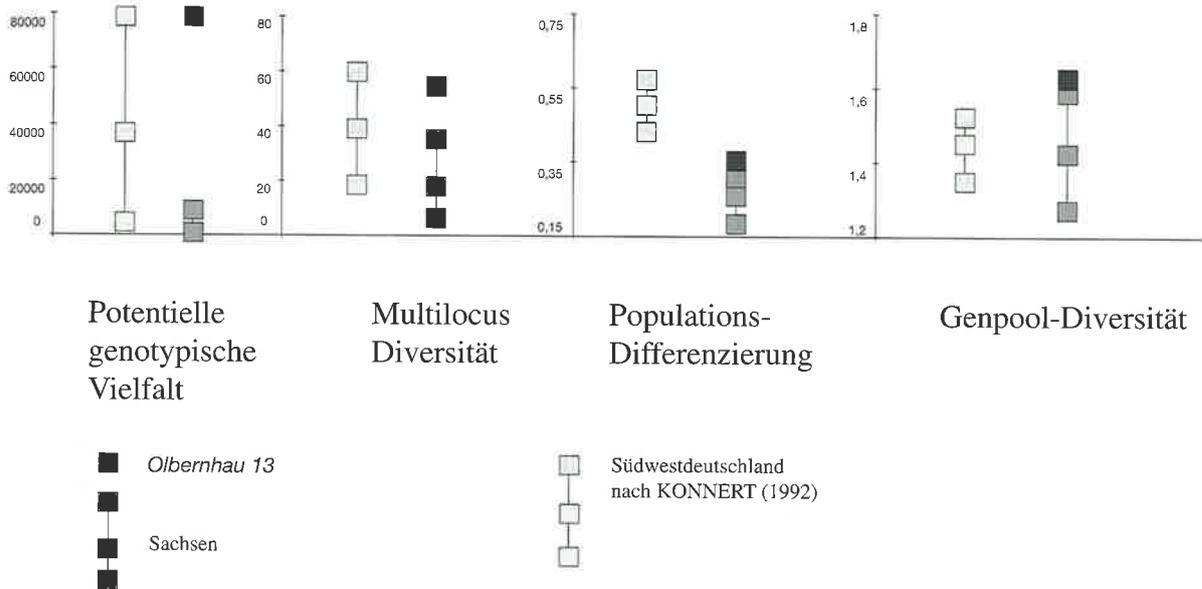


Abb. 5: Vergleich der Kennzahlen für die genetische Vielfalt, Diversität und Differenzierung zwischen Tannenpopulationen Sachsens und Südwestdeutschlands.

Berücksichtigt man den ausschlaggebenden Einfluß, den eine höhere genetische Diversität für die Anpassungsfähigkeit hat, so ist die niedrige genetische Diversität der Weißtanne in Sachsen ein Hinweis auf eine verminderte Anpassungsfähigkeit der noch vorhandenen Populationen. Die ermittelten Werte verdeutlichen aber auch den offensichtlich hohen Selektionsdruck, unter dem die Tanne am Rande des Verbreitungsgebietes steht.

Mit einer mittleren aktuellen Heterozygotie von 19,4% für die untersuchten Genorte liegt die Tanne in Sachsen weit unterhalb der von anderen Autoren im übrigen Verbreitungsgebiet ermittelten Werte. MÜLLER-STARCK (1991) gibt in seiner Zusammenstellung für verschiedene Baumarten eine mittlere aktuelle Heterozygotie von 49,1% und eine erwartete von 41,6% für die Weißtanne als Mittelwert aus 104 Tannenpopulationen an. So betrachtet, erreicht die Heterozygotie der Tanne in Sachsen mit 19,4% bzw. 24,0% jeweils aktueller bzw. erwarteter Heterozygotie knapp die Hälfte des großräumigen Mittelwertes.

Der Heterozygotiegrad allein ist allerdings nicht sehr aussagekräftig. Sind mehrere Allele am gleichen Genort mit etwa gleicher Häufigkeit vorhanden, so wird selbst bei Selbstbefruchtung bzw. Verwandtenpaarung eine hohe Heterozygotie erwartet. Kommen jedoch ein oder mehrere Allele nur in sehr geringer Häufigkeit vor, ist selbst bei völliger Fremdbefruchtung kein hoher Heterozygotenanteil zu erwarten. D. h. erst der Vergleich der aktuellen empirischen mit der

unter genetischem Gleichgewicht zu erwartenden Heterozygotie kann Hinweise auf Inzucht oder andere einschränkende Faktoren geben. Ein solcher Vergleich ist durch den Fixierungsindex (F) möglich (BERGMANN, 1990). Ein positiver F-Wert kennzeichnet ein Heterozygoten-defizit, ein negativer F-Wert hingegen einen Heterozygotenüberschuß jeweils relativ zur Erwartung.

Die Populationen des sächsischen Mittelgebirges zeigen extrem hohe F-Werte (Abbildung 6). Die Unterschiede zwischen Ost- und Westerzgebirge sind dabei minimal. Die Populationen des Elbsandsteingebirges haben im Vergleich zum Erzgebirge niedrigere F-Werte. Diese Populationen befinden sich in Forstrevieren, die seit mindestens einer Generation bedeutend größere Tannenpopulationen als die erzgebirgischen aufwiesen.

Wenn auch unter Vorbehalt könnten die hohen F-Werte der untersuchten Tannenpopulationen zumindest zum Teil auf Inzucht zurückgeführt werden. In welcher Größenordnung das sein könnte, ist allerdings schwer zu ermitteln, da nicht alle Genloci positive F-Werte zeigen.

Berücksichtigt man, daß das Ausmaß der Heterozygotie eine Determinante für die Überlebensfähigkeit einer Population und damit auch für die Stabilität des entsprechenden Wald-ökosystems darstellt, so ist die relativ niedrige Heterozygotie der Weißtanne im Untersuchungsgebiet ein weiterer Hinweis auf eine zunehmende genetische Einengung mit all den bekannten negativen Folgen.

Durch die relativ niedrige Heterozygotie und die bereits erwähnte starke Reduzierung der Populationsgrößen erhöht sich außerdem weiter die Gefahr des Allelverlustes durch Drift.

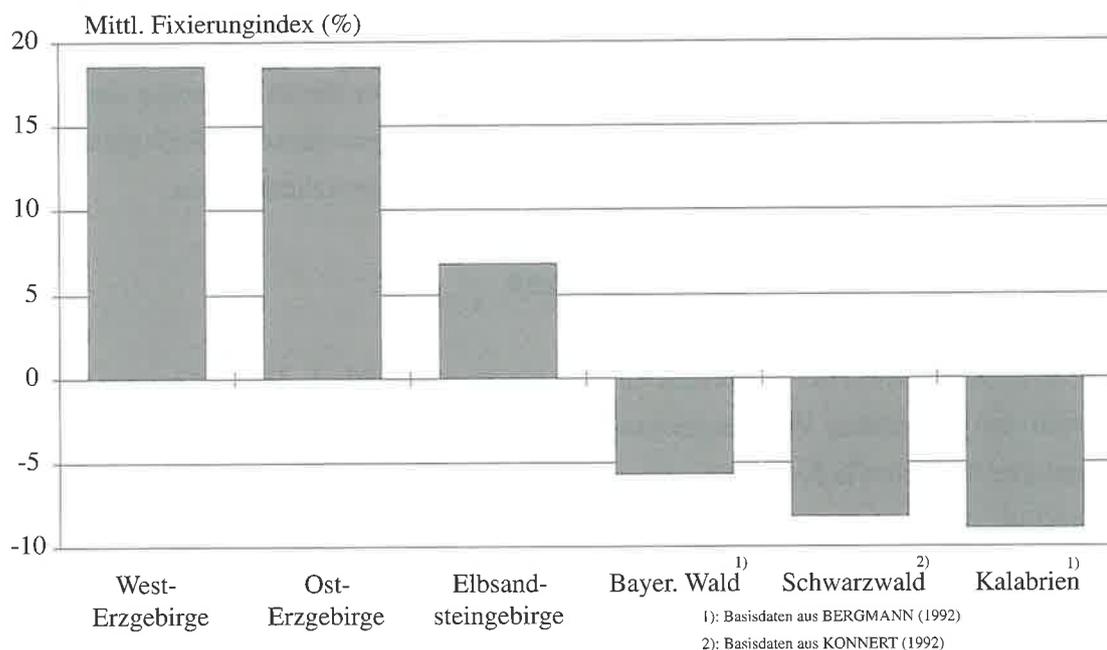


Abb. 6: der Vergleich des mittleren Fixierungsindex in Tannenpopulationen aus Sachsen, dem Bayerischen Wald, dem Schwarzwald und Kalabrien/Italien für 3 Genorte (IDH-A, IDH-B und 6-PGDH-A)

Aus Clusteranalysen geht eindeutig hervor, daß die Tanne in Sachsen in mindestens 2 große geographische Gruppen einzuteilen ist. Die genetische Struktur der Tannenpopulationen des Erzgebirges unterscheidet sich stark von der des Elbsandsteingebirges. Innerhalb des Erzgebirges lassen sich keine Unterschiede feststellen, weder in Ost-West- Richtung noch bezüglich der Höhenzonierung.

Die Tannenvorkommen des Elbsandsteingebirges bilden eine relativ eigenständige Gruppe. Hierfür ist sicherlich der Rückwanderungsweg der Tanne nach der letzten Eiszeit ausschlaggebend.

Die Rückwanderung der Weißtanne in die sächsischen Mittelgebirge

Die Ergebnisse neuer genetischen Untersuchungen auf biochemischer Grundlage lassen die Existenz von mindestens drei Refugien vermuten, in welchen die Weißtanne während der letzten Eiszeit überlebte: ein Refugium in Südfrankreich (Westeuropa), ein weiteres im Appennin (Südeuropa) und ein drittes in der Balkanhalbinsel (Südosteuropa). LONGAUER (1993) vermutet eine Kontaktzone zwischen den südeuropäischen und den südosteuropäischen Einwanderungswege im Bereich der Slowakei und Südpolen.

Führt man eine Clusteranalyse mit den Werten der eigenen Untersuchungen und solchen für Südwestdeutschland und Bayern von KONNERT (1992, 1993), so zeichnen sich sehr interessante Trends ab. Die Vorkommen des Bayerischen Waldes zeigen geringere genetische Abstände zu den Tannenpopulationen des Elbsandstein- und des Osterzgebirges. Diese Tatsache legt die Vermutung nahe, daß die Tannen der oben erwähnten Teilareale einen gemeinsamen Ursprung haben müssen. Offensichtlich ist die Tanne aus der von LONGAUER (1993) erwähnten Kontaktzone auf 2 verschiedenen Wegen nach Sachsen eingewandert. Zum einem gelangte sie über den Böhmisches-Bayerischen Wald ins Westerzgebirge (mit einem etwas höheren Einfluß aus dem südeuropäischen Refugium) und zum anderen über die Sudetenzüge ins Elbsandsteingebirge (mit einem etwas höheren Genfluß aus dem südosteuropäischen Refugium). Diese Feststellung ist von großer Bedeutung u. a. für die Wahl von Ersatzherkünften.

Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Die aktuelle Situation der Weißtanne in Sachsen ist sehr kritisch. Diese Aussage berücksichtigt sowohl den schlechten Vitalitätszustand als auch ihre genetische Konstitution. Die ermittelte genetische Variation liefert darüberhinaus noch einen indirekten Hinweis auf eine zu erwartende geringe Anpassungsfähigkeit.

Die Reproduktionsvorgänge der autochthonen Tannenvorkommen sind möglicherweise bereits irreversibel gestört. Der Hohlkornanteil im Saatgut der Restvorkommen ist extrem hoch. Für Nachkommen aus den noch vorhandenen Tannenpopulationen lassen sich Inzuchterscheinungen nicht ausschließen. Dafür spricht z. B. auch der hohe Anteil von Albino-Keimlingen bei der Tannenaussaat 1993 in der LAF Graupa. Die Ausbreitung von genetisch verarmtem Material ist weder aus genetischer noch aus ökologisch-waldbaulicher und ökonomischer Sicht vertretbar.

Ein Weg zur Erhaltung und Vermehrung der sächsischen Weißtanne wäre das Zusammenführen der jetzt isolierten Vorkommen. Neben konventionellen Methoden (z.B. Samenplantagen) müssen neuartige Wege gesucht werden. Denkbar wäre das künstlich gesteuerte Zusammenbringen von Pollen und Samenanlage. Ein nur konservierender Naturschutz kann dieses Problem nicht lösen. Schutz in Form von Isolation kann sogar zur Beschleunigung des Aussterbens der sächsischen Tanne führen.

Die Weißtanne, als eines der wichtigsten Glieder der natürlichen Vegetation, ist bei der Schaffung und Erhaltung ökologisch stabiler Wälder aus standortgerechten Baumarten von entscheidender Bedeutung. Diese Tatsache kommt unter anderem in den für die sächsischen Verhältnisse entwickelten Bestandeszieltypen als Grundlage für einen langfristig angelegten Waldumbau zum Ausdruck.

Die Weißtanne ist entsprechend einem Erlaß für den sächsischen Staatswald an den folgenden Bestandeszieltypen direkt beteiligt:

Kiefern - Mischbestände

- Höhenkiefer (HKI)
Gemeine Kiefer - 60 - 80 %
Rotbuche, Traubeneiche, Gemeine Fichte, **Weißtanne** - 20 - 40 %

Fichten - Mischbestände

- Fichten - Bergmischwald (FI-BMW)
Gemeine Fichte - 50 - 70 %
Rotbuche, Bergahorn, Gemeine Esche, **Weißtanne** - 30 - 50 %

Buchen - Mischbestände

- Buche - Nadelbäume (BU-NB)
Rotbuche - 60 - 80 %
Gemeine Fichte, Douglasie, **Weißtanne**, Gemeine Esche, Bergahorn - 20 - 40 %

Nach vorsichtigen Schätzungen sollen diese Zieltypen langfristig einen Flächenanteil von insgesamt 120.000 ha einnehmen, wobei der Tannenanteil je nach den standörtlichen Verhältnissen zwischen 10% und 20% liegen dürfte. Ausgehend von der jetzigen Situation ist damit die Dimension der Aufgabe einer gezielten Wiedereinbringung umrissen. Um diesen Anteil in einem überschaubaren Zeitraum auch nur annähernd zu erreichen, ist neben einer ökologisch verträglichen Wilddichte in erster Linie qualitativ wertvolles Vermehrungsgut in großem Umfang erforderlich.

Empfehlungen für die Forstpraxis

Die Herkunftsgebietsabgrenzung nach der Neufassung der Forstsaatgut-Herkunftsgebietsverordnung vom 07.10.1994 kann mit den vorliegenden Untersuchungen prinzipiell bestätigt werden. Bei der Verwendung von Material aus dem Herkunftsgebiet - Thüringisch-Sächsisch-Nordostbayerische Mittelgebirge, 82706 ist allerdings Zurückhaltung geboten. Vermehrungsgut aus dem Fichtelgebirge bzw. Frankenwald besitzt eine verhältnismäßig niedrige genetische Diversität. Innerhalb Sachsens sollten Ernten aus dem Elbsandsteingebiet und dem Erzgebirge getrennt gelagert und verwendet werden

- Darüber hinausgehende Anbauempfehlungen:
 - a) Für das (West-)Erzgebirge vorrangig Material aus dem Böhmisches-Bayerischen Wald (Herkunftsgebiet 82707).
 - b) Für das Elbsandsteingebiet vorwiegend Vermehrungsgut aus den Sudeten und Beskiden.
 - c) Für das gesamte sächsische Mittelgebirge ist die Verwendung von Material aus den Genezentren der Böhmisches-Mährischen Höhen, der Slowakei und Südpolen als möglichem Ursprung der einheimischen Weißtanne von Bedeutung.
- Vorrangige Einbeziehung der noch vorhandenen Tannenvorkommen in das Programm zur Bodensanierung über Kalkungen.
- Gezielte Mischung von Pflanzenmaterial, Einbringen von Pflanzen benachbarter Vorkommen in vorhandene Naturverjüngungen. Das Ziel dieser Maßnahmen ist das Erreichen einer höheren genetischen Vielfalt auf der Fläche und das Vermeiden von Geschwisterpaarungen im Fruktifikationsalter.
- Schaffung einer „tannenverträglichen“ Wilddichte in den Anbaugebieten

Empfehlungen für die Erhaltung des genetischen Potentials

- Zusammenführen der noch vorhandenen Vorkommen der Weißtanne (mit Ausnahme von als nicht autochthon ausgeschiedenen Populationen) in einer Erhaltungssamenplantage.
- Aufnahme (Vitalität, genetische Charakterisierung) und Sicherung vorhandener Naturverjüngungen.
- Zurückhaltung bei Maßnahmen der Genkonservierung in Form von Saatguteinlagerungen in einer Genbank.

Es handelt sich oft um genetisch stark eingeeignetes Material mit einem niedrigen Vollkornanteil. Ferner bestehen noch methodische Schwierigkeiten bei der Langzeitlagerung des Saatgutes, was Ausfälle erwarten läßt.)

- Keine passiven Naturschutzstrategien.

Die oft gestellte Forderung in Naturschutzgebieten (NSG) völlig auf die Einbringung von Vermehrungsgut zu verzichten, welches nicht aus dem NSG selbst stammt, wird angesichts des geringen Umfanges der Tannenvorkommen in den Schutzgebieten für sehr bedenklich gehalten. Ausnahmen bilden hier möglicherweise die Tannenvorkommen im Polenztal, des Flächennaturdenkmals „Wahlsmühle“ und der Abteilung 109 im Hinterhermsdorfer Revier.

Empfehlung für die Forschung

- Analyse (genetische Konstitution, Vitalität) von Naturverjüngungen in Abhängigkeit von der Individuenzahl des Mutterbestandes.
- Erweiterung der genetischen Analysen auf die Vorkommen im sächsischen Tiefland sowie auf Populationen aus Thüringen, den Sudeten sowie den Beskiden.
- Anlage von Labor- und Feldversuchen zum Studium von Vitalität, Reaktionsfähigkeit und Wüchsigkeit der Nachkommenschaften in Abhängigkeit von der genetischen Variation bzw. Größe der Mutterbestände.
- Analysen zur genetischen Struktur verschiedener Ontogenesestadien (Altbestand, vorhandene Naturverjüngung, Saatgut und angezogene Sämlinge).
- Untersuchungen zur Schadwirkung von Luftverunreinigung auf die Reproduktionsprozesse (z. B. auf die Pollenkeimung) speziell bei Tanne.
- Analysen zum Zusammenhang zwischen dem Ernährungszustand und den genetischen Strukturen der Weißtanne in den sächsischen Mittelgebirgen.
- Versuche zur künstlichen Bestäubung und Entwicklung von Technologien für eine breite, praxisrelevante Anwendung mit dem Ziel der Überwindung der gegebenen Isolation der Tannenrestvorkommen. Hierzu sind insbesondere Untersuchungen zum Pollenmanagement (Gewinnung, Lagerung, Vitalitätsprüfung, künstliche Ausbringung) notwendig.

Literaturverzeichnis

- BERGMANN, F. und KOWNATZKI, D. 1988. The Genetic Variation Pattern Of Silver Fir (*Abies alba*) In Europe Monitored From Enzyme Gene Loci. Proceedings 5. IUFRO-Tannen-Symposium, Zvolen, 21-26
- BERGMANN, F. 1992. Die genetische Struktur in Weißtannen-Populationen Mittel- und Südeuropas. 6. IUFRO - Tannensymposium. Zagreb, 25-34
- BLANKMEISTER, J. 1962. Analyse der Entwicklung eines Buchen-Fichten-Tannen-Mischbestandes der Oberförsterei Bärenfels. Archiv. f. Forstwesen, 11: 797-807
- HARTIG, M. 1986. Zur Bedeutung der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in den sächsisch-thüringischen Mittelgebirgen. Naturschutzarbeit in Sachsen 28: 33-42
- HAUPT, R. 1988. Zum Vorkommen und Gesundheitszustand der Tanne in Thüringen. 5. IUFRO-Tannensymposium. Zvolen, 331-342
- HEMPEL, W. 1979. Die Verbreitung der wildwachsenden Gehölze in Sachsen. Gleditschia 7: 43-72

- KIENITZ, E. 1936. Wandlungen des Holzartenbildes im Sächsischen Staatswald seit dem 16. Jahrhundert, mit Ausblicken auf die Pollenanalyse. Thar. Forstl. Jb.87: 285-326, 413-523, 641-690, 747-853
- KONNERT, M. 1992. Genetische Untersuchungen in geschädigten Weißtannenbeständen (*Abies alba* Mill.) in Südwestdeutschlands. Mitt. d. Forstl. Ver. u. Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg, Heft 167, 119 S.
- KONNERT, M. 1993. Untersuchungen über die genetische Variation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Bayern. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 164: 162-169
- LEONHARDT, U. 1992. Zur Situation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Sachsen, Vorschläge für Maßnahmen der forstlichen Generhaltung. Dipl. Schwarzburg, 101 S.
- LONGAUER, R. 1993. Genetická štruktúra a biodiverzita porastov jedle bielej v Karpatoch a ich vzťah k hynutiu druhu. Kompletné overovanie náchylnosti a odolnosti perspektívnych drevín. Záverečná správa projektu N 05-531-935-06. Lesnícky V+skum+ Ústav vo Zvolene, Banská Štiavnica. 54 S.
- MEYER, H. 1956. Ökologische und ertragskundliche Untersuchungen über die Rückgängigkeit der Weißtanne, insbesondere in ihren nördlichen Randgebieten. Diss. Tharandt
- MÖCKEL, R. und WAGNER, G. 1985. Zur Situation der Weißtanne (*Abies alba* M.) im Westerzgebirge. Naturschutzarbeit in Sachsen 27: 11-18
- MÜLLER-STARCK, G. 1991. Survey of genetic variation as inferred from enzyme gene markers. In: MÜLLER-STARCK, G. und ZIEHE, M. (Eds.) 1991: Genetic Variation In European Populations Of Forest Trees, Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M., 20-30
- POLACEKOVÁ, M. und ZELEK, A. 1991. Gegenwärtiger Zustand autochthoner Bestände der Weißtanne in ostsächsischen und slowakischen Forstbetrieben und Vorschläge zu ihrer Förderung durch Wiedereinbringung. Dipl. Tharandt. 95 S
- REINHOLD, F. 1942. Die Bestockung der kursächsischen Wälder im 16. Jahrhundert. Staatliches Forsteinrichtungsamt Dresden, 126 S.

Danksagung

Frau U. Tröber verdanken wir wertvolle Kommentare und Anregungen. Für die technische Assistenz danken wir Frau U. Franke.
Diese Untersuchungen wurden durch das Umweltbundesamt (F+E-Vorh. Nr. 108 05 046/56) gefördert.

Möglichkeiten der Molekularbiologie in ökologisch-genetischen Fragestellungen am Beispiel der Weißtanne (*Abies alba* Mill.)

Birgit Ziegenhagen und Florian Scholz

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstgenetik
Großhansdorf

Einleitung

Ökologisch-genetische Untersuchungen an Waldbäumen dienen u.a. dem Ziel, Kenntnisse über die Wirkung von Umweltfaktoren auf die genetische Struktur von Waldbaumpopulationen zu gewinnen. Hierbei kann es sich um die Wirkung von natürlichen wie auch von anthropogen bedingten Umweltfaktoren handeln. Mit Hilfe solcher Untersuchungen ist es möglich, die genetischen Grundlagen für Anpassungsvorgänge der Waldbaumpopulationen an ihre Umwelt zu erforschen. Eine Vielzahl ökologisch-genetischer Untersuchungen widmete sich der genetischen Wirkung von Luftverunreinigungen (SCHOLZ et al., 1989).

Zur Erfassung der genetischen Struktur von Populationen werden als traditionelles Instrument Isoenzym-Genmarker eingesetzt. An bis zu 20 untersuchbaren Genorten lassen sich auf diese Weise Maßzahlen für genetische Vielfalt und genetische Diversität von Populationen innerhalb der Arten erheben (MÜLLER-STARCK und ZIEHE, 1991).

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zur Wirkung von Luftverunreinigungen lassen sich wie folgt zusammenfassen. Der Vergleich der genetischen Struktur von geschädigten und ungeschädigten Teilkollektiven wies für die weniger geschädigten ein deutlich höheres Maß an genetischer Diversität aus als für die geschädigten (DEGEN und SCHOLZ, 1994). Desweiteren können Luftverunreinigungen zu Selektionsprozessen an bestimmten Genorten führen, wobei ein solcher Prozeß bis zum Verlust von Allelen gehen kann (GEBUREK et al., 1986; BERGMANN und SCHOLZ, 1989; MÜLLER-STARCK, 1989; KONNERT, 1992). Damit können Selektionsprozesse unter dem Druck von Luftverunreinigungen eine Einengung der genetischen Variation und in der Folge eine Einschränkung der Anpassungsfähigkeit der Population an neue sich ändernde Umweltbedingungen verursachen (vgl. auch HATTEMER et al., 1993).

1. Ökologisch-genetische Fragestellungen bei der Weißtanne des Erzgebirges

Im Rahmen des UBA-Verbundprojektes "Ökologisch-genetische Untersuchungen zu Anpassungsvorgängen bei der Tanne im Erzgebirge" (SCHOLZ et al., 1994) sollten diese Untersuchungen an der vom Aussterben bedrohten Tanne des Erzgebirges Aufschlüsse über deren genetische Struktur bringen (LLAMAS GOMEZ und BRAUN, 1994). Zum anderen sollten verglei-

chende Untersuchungen mit der genetischen Struktur benachbarter Populationen ein Licht auf die nacheiszeitliche Rückwanderung der Tanne werfen, die im Erzgebirge ihre nördliche natürliche Verbreitungsgrenze hat (BERGMANN, 1994; LLAMAS GOMEZ und BRAUN, 1994). Innerhalb ausgewählter Populationen sollten außerdem genetische Vergleiche von Eltern und Nachkommen angestrebt werden. Diese sollten Aufklärung über die räumliche und zeitliche Verteilung von Allelen der Elternindividuen in der Nachkommenschaft bringen und Inzuchtphänomene erklären helfen (BERGMANN, 1994; ZIEGENHAGEN und SCHOLZ, 1994).

2. Molekularbiologischer Ansatz

Für viele populationsgenetische Fragestellungen ist der Einsatz von traditionellen Isoenzym-Genmarkern die Methode der Wahl. Die Information über die genetische Struktur von Populationen und Individuen wird bei dieser Methode *indirekt*, nämlich über das Genprodukt, gewonnen. Verglichen damit erlauben neuere molekularbiologische Methoden einen *direkten* Zugang zur Erbinformation auf der Basis der DNA.

Für die oben dargestellten Fragestellungen bieten sich Informationen auf der Ebene der DNA besonders für Elternschaftsanalysen innerhalb von Populationen an. Ein Vergleich von Individuen auf DNA-Basis verspricht die Möglichkeit einer individuellen genetischen Zuordnung von Eltern und Nachkommen. Sie beruht darauf, daß im Gegensatz zu den Isoenzym-Genmarkern eine größere Anzahl von DNA-Orten für den Vergleich herangezogen werden und zum anderen auch Aussagen über nicht kodierende Bereiche der DNA gemacht werden können.

Darüberhinaus können Informationen aus dem Erbgut der uniparental vererbten Mitochondrien und Chloroplasten genutzt werden, um mütterliche und väterliche Genflüsse zwischen Populationen nachzuvollziehen und somit Aufschluß über eiszeitliche Refugien und nacheiszeitliche Rückwanderungen der Tanne zu erhalten.

2.1. Elternschaftsanalysen

Für die Tanne des Erzgebirges wird aufgrund geringer Vollkornanteile der Zapfen ein hoher Inzuchtgrad angenommen (LLAMAS GOMEZ und BRAUN, 1994). Inzucht ist das Resultat eines gestörten Paarungssystems. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. Einige Beispiele sollen genannt werden: Geringe Zahl und großer Abstand der Elternbäume zueinander bewirken eine unzulängliche Reproduktionsgemeinschaft. Auch zeitlich nicht übereinstimmendes Blühen und vom Erbgut abhängige unterschiedliche Empfindlichkeit des Pollenschlauchwachstums gegenüber Luftschadstoffen (VENNE et al., 1989) können Störfaktoren im Paarungsgeschehen darstellen.

Elternschaftsanalysen sind geeignet, um Erkenntnisse über zurückliegende Ereignisse im Paarungsgeschehen und somit auch über Störungen im Paarungssystem zu erhalten. Auf diese Weise ist es möglich festzustellen, ob die im untersuchten Bestand vorhandenen Elternbäume genetisch in den Nachkommenschaften noch repräsentiert sind, oder ob eine eingeschränkte Weitergabe genetischer Informationen von den Eltern zu den nachfolgenden Generationen vorliegt. Soll im Rahmen von Elternschaftsanalysen die Zuordnung von Nachkommen zu ihren Eltern auf der Basis von DNA-Untersuchungen erfolgen, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein. In bestimmten Bereichen der DNA müssen die Elternindividuen unterscheidbar sein, d.h. es müssen variable Bereiche der DNA, sogenannte DNA-Polymorphismen, gefunden werden. Bei diesen Polymorphismen muß sichergestellt sein, daß ihre Weitergabe von Generation zu Generation den Gesetzen der Mendelschen Vererbung gehorcht.

Elternschaftsanalysen in ausgesuchten Erzgebirgsbeständen werden dadurch erschwert, daß aufgrund eines anzunehmenden beträchtlichen Inzuchtgrades ein hohes Maß an Ähnlichkeit, wenn nicht gar Identität in vielen Bereichen der DNA zwischen einzelnen Individuen zu vermuten ist. In einem solchen Fall muß sich die Suche nach DNA-Polymorphismen nicht nur auf variable sondern vor allem auf hochvariable Bereiche konzentrieren.

2.2. Vergleichende Untersuchungen des Genoms von Chloroplasten und Mitochondrien innerhalb und zwischen Populationen

Von Chloroplasten und Mitochondrien ist bekannt, daß sie in der Regel jeweils nur durch einen Elternteil vererbt werden (uniparentaler Erbgang). Dabei gilt allgemein für Koniferen, daß die Chloroplasten väterlicherseits und die Mitochondrien mütterlicherseits vererbt werden (NEALE et al., 1988). Für die Gattung *Abies* kann ein väterlicher Vererbungsgang des Chloroplasten durch die Untersuchungen von H. KORMUTAK (mündl. Mitteilung) bestätigt werden. Die Nutzung von hochvariablen Bereichen der Tannen-Chloroplasten DNA würde demzufolge die Methode der Wahl für Vaterschaftsuntersuchungen in Beständen mit Naturverjüngung darstellen. Für die Chloroplasten-DNA (cpDNA) gilt aber im Vergleich mit der nukleären DNA, daß sie von eher konserviertem Charakter ist, d.h. hochvariable Bereiche der cpDNA wurden bislang noch nicht gefunden.

Auf der Zwischen-Population-Ebene sind Informationen über väterliche Genflüsse geeignet, um eiszeitliche Refugien wie auch nacheiszeitliche Rückwanderungswege zu identifizieren. Vergleichende Untersuchungen des Mitochondrium-Genoms verfolgen ähnliche Ziele. Bedingt durch unterschiedliche Reichweiten der Pollen- und Samenverbreitung könnten die Untersuchungen der mitochondrialen DNA komplementäre und/oder additive Erkenntnisse über die räumliche Verteilung der genetischen Variation liefern (PETIT et al., 1993).

Insgesamt sind Aufschlüsse über das nacheiszeitliche Rückwanderungsgeschehen der Tanne auch aus ökologisch-genetischer Sicht von Interesse, da sie Erklärungshilfen für die gefundenen

Maßzahlen zur Vielfalt und Diversität einer Population abgeben können. Zum Beispiel läßt sich aus der Kenntnis über den Verlauf der Rückwanderungswege ermitteln, ob eine Population sogenannte Flaschenhalse passiert hat und damit eine Einengung der genetischen Variation bereits auf ihrem Rückwanderungswege erfolgte.

3. DNA-Polymorphismen

Unterschiede auf DNA-Basis (DNA-Polymorphismen), sei es nukleäre oder extra-nucleäre (Chloroplasten- und Mitochondrien-) DNA, manifestieren sich in Unterschieden der Basenabfolge im DNA-Doppelstrang. Für das gesamte Genom ist eine unmittelbare Analyse der Basenabfolge (Sequenzierung) und damit ein unmittelbares Erkennen von DNA-Polymorphismen allerdings nicht zweckmäßig. Daher werden in der molekularen Genetik Techniken eingesetzt, die auf die Erfassung von Längenunterschieden von DNA-Fragmenten abzielen. Die Erzeugung solcher unterschiedlich langer DNA-Fragmente wiederum beruht auf Unterschieden in der Basenabfolge. Das Sichtbarmachen der unterschiedlich langen DNA-Fragmente erfolgt über deren Auftrennung in einem Elektrophorese-Gel. In einer Agarose-Gelmatrix wandern die negativ geladenen langen DNA-Fragmente langsamer als die kurzen zum positiven Pol, so daß sich über die gesamte Wanderungsstrecke im Gel eine typische Verteilung unterschiedlich langer Fragmente ergibt (Abbildung 1). Im Vergleich mit einem ebenfalls im Gel wandernden DNA-Längenstandard ist es dann möglich, die Länge jedes Fragments gemessen als Anzahl Basenpaare zu bestimmen. DNA-Fragmentmuster, welche einmalig und unverwechselbar für ein Individuum sind, stellen dessen genetischen Fingerabdruck dar. Die Verfahren, welche einen solchen Fingerabdruck liefern, heißen DNA-Fingerprinting-Verfahren.

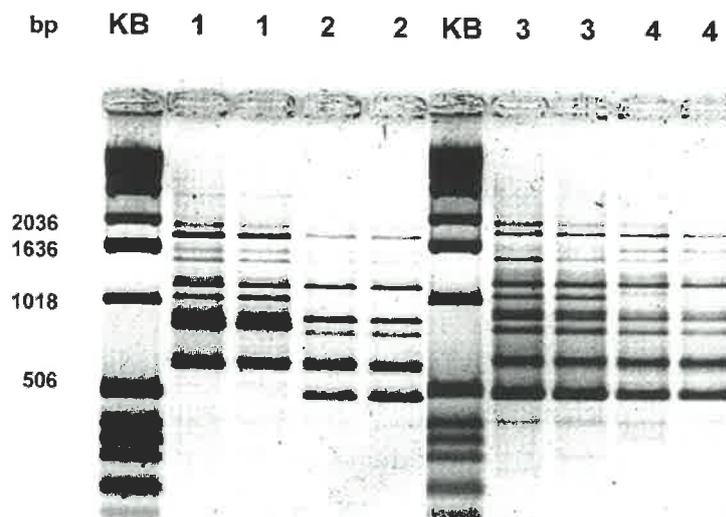


Abb.1: Komplexes Muster unterschiedlich langer DNA-Fragmente (DNA-Fingerabdrücke) von 4 verschiedenen Tannen-Alt bäumen des Naturschutzgebiets Riedert (Revier Schönheide). Die Muster der Bäume Nr. 1-4 sind jeweils in Wiederholung dargestellt. Es treten drei deutlich voneinander verschiedene Muster auf, die Bäume Nr. 2 und Nr. 4 teilen sich dasselbe Muster. Als DNA-Längenstandard wurde der KB-Ladder (Gibco BRL) verwendet; bp= basepair. Fotonegativ eines 1.5% Agarose-Gels.

4. Stand der molekularbiologischen Untersuchungen an der Tanne des Erzgebirges

Nachdem Möglichkeiten und Bedeutung von molekularbiologischen Untersuchungen für ökologisch-genetische Fragestellungen an der Erzgebirgstanne vorgestellt wurden, soll der Stand der Arbeiten vorgestellt werden. Erste Ergebnisse wurden auf dem Gebiet des genetischen Fingerabdrucks erzielt und somit die Voraussetzungen für einen Eltern-Nachkommen-Vergleich geschaffen.

4.1. Material und Methoden

Drei Reliktbestände mit Naturverjüngung wurden ausgewählt und das Probenmaterial (Nadeln) von der Sächsischen Landesanstalt für Forsten bereitgestellt:

1. **Polenztal** (FA Lohmen): Altbaum A mit einer Verjüngungsgruppe von 16 Tannen, Altbaum B mit einer Verjüngungsgruppe von 9 Tannen.
2. **Naturschutzgebiet Riedert** (FA Schönheide): Über die Fläche verteilt 15 Altbäume mit ebenfalls über die Fläche verteilten 20 Tannen aus Naturverjüngung.
3. **Conradswiese** (FA Lauter): 1 Altbaum und 23 Tannen aus Naturverjüngung.

Die **Extraktion von DNA** aus der Nadel erwies sich gerade bei der Tanne mit ihren hohen Gehalten an Zuckern und sekundären Inhaltsstoffen als äußerst schwierig. Es gelang, ein Verfahren biochemisch und technisch zu optimieren. Auf der Basis von nur geringen Probeinwaagen (2-10 Nadeln pro Individuum) ist es danach möglich, mit nur 1/10 des Einsatzes an Zeit und Chemikalien im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren DNA in ausreichender Menge und Qualität zu extrahieren (ZIEGENHAGEN et al., 1993; ZIEGENHAGEN und SCHOLZ, 1994).

Der nächste methodische Schritt bestand darin, die für die Erzeugung und das Sichtbarmachen von unterschiedlich langen DNA-Fragmenten prinzipiell möglichen zwei Verfahren an das Versuchsobjekt Tanne anzupassen und zu optimieren. Diese beiden Verfahren sind die Fragmenthybridisierung von zuvor geschnittener DNA zum einen und PCR-gestützte Verfahren (PCR=Polymerase-Chain-Reaction) zum anderen. PCR-gestützte Verfahren sind im Vergleich mit dem Verfahren der Fragmenthybridisierung weniger aufwendig und daher geeigneter für Untersuchungen mit großem Stichprobenumfang, wie sie in der Populationsgenetik üblich sind. In einer Kettenreaktion (chain-reaction) werden im PCR-Verfahren bestimmte Bereiche in einem Maße vervielfältigt, daß sie als DNA-Fragmente im Gel sichtbar gemacht werden können.

Ein PCR-gestütztes Verfahren konnte in jüngsten Experimenten erfolgreich eingesetzt werden, um die in Abbildung 1 exemplarisch dokumentierten DNA-Fingerabdrücke bei der Tanne zu

erzeugen. Hierzu wurde ein Motiv (spezielle Abfolge von Basen) ausgewählt, welches in der DNA eines Mikroorganismus vorkommt. Es wurde bei einer Reihe von Pflanzen erfolgreich als "Minisatellit"-Sonde in Fragmenthybridisierungen eingesetzt, um DNA-Fingerabdrücke hervorzu bringen (NYBOM und SCHAAL, 1990; NYBOM und HALL, 1991).

In unseren Experimenten wurden Nukleotidsequenzen in den beiden Randbereichen eines solchen universellen Motivs ausgewählt, die als Primerpaar in der PCR Verwendung fanden. Die Bedingungen, unter denen die PCR durchgeführt wurde, finden sich in dem Protokoll von DEMESURE et al. (1995). Im Anschluß an die PCR erfolgte eine gelelektrophoretische Auftrennung der DNA-Fragmente.

5. Erste Ergebnisse

Die Verwendung des Minisatelliten-Primerpaares als Starter in der PCR hatte die folgenden erste Ergebnisse:

- a) Das gewählte Primerpaar ist in der Lage, an die Tannen-DNA zu binden und im Laufe der thermozyklischen Prozedur der PCR eine Vervielfältigung von bis zu 17 Fragmenten der Tannen-DNA hervorzu bringen. Im Gel werden die Produkte dieses PCR-Fingerprinting anhand komplexer Muster von unterschiedlich langen DNA-Fragmenten sichtbar. In wiederholten Reaktionen wurden für dieselben Tannen-Individuen jeweils dieselben Muster unterschiedlich langer DNA-Fragmente erzeugt. Damit ist der universelle Charakter der Primersequenzen auch für die Tanne bestätigt sowie die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse belegt.
- b) Der gewählte molekularbiologische Ansatz erlaubt eine Unterscheidbarkeit von Individuen innerhalb einer Population. Abbildung 1 zeigt den DNA-Fingerabdruck von vier verschiedenen Alttannen von der Fläche "Naturschutzgebiet Riedert". Danach sind drei Individuen deutlich voneinander unterscheidbar.
- c) Bei ersten Experimenten am Probenmaterial "Polenztal" traten beim Einsatz des o.g. Primerpaares für die beiden Altbäume A und B jeweils unterschiedliche Fragmentmuster auf. Somit ist die für Elternschaftsanalysen notwendige Unterscheidbarkeit der Elternindividuen auch an diesem Material gegeben. Bei einer ersten Untersuchung der Nachkommenschaft von Altbaum B zeigte sich am Beispiel von vier Nachkommenindividuen, daß deren Fragmentmuster Banden von Altbaum B und A enthalten, wobei sich drei Individuen deutlich mehr Banden mit Altbaum B als mit Altbaum A teilten.

Die unter a) bis c) aufgeführten ersten Ergebnisse zum Einsatz molekularbiologischer Methoden können erste Hinweise zum Potential solcher Methoden liefern. Bereits unter Zuhilfenahme eines einzigen Systems (1 Primerpaar für 1 PCR) scheint es möglich, Tannenindividuen innerhalb einer Population voneinander zu unterscheiden.

Bevor das vorgestellte System zum routinemäßigen Einsatz kommen kann, wird in laufenden Experimenten derzeit geprüft, wie sich die polymorphen Banden des Fingerabdruckes im Vererbungsgang verhalten. Ihr Einsatz als genetische Marker setzt voraus, daß sie in Segregationsanalysen nach Mendel spalten. Die Experimente zu dieser Hypothese werden an kontrollierten Kreuzungen von *A. alba* mit F1-Nachkommen (Samen und Pflanzen) durchgeführt.

6. Ausblick

Neben den oben erläuterten noch notwendigen Arbeiten zur Etablierung des DNA-Fingerprintings an der Tanne laufen intensive Untersuchungen an der Chloroplasten-DNA in ausgewählten Tannenpopulationen über das gesamte Verbreitungsgebiet der Weißtanne. Diese Arbeiten an der Tannen-DNA werden im Rahmen eines EU-Projektes im Forschungsprogramm "Biotechnology" weitergeführt. 12 Forschergruppen aus 6 europäischen Ländern arbeiten hierin zu dem Thema: "Development and adaptation of rapid molecular screening technics for assessing genetic diversity in forest trees."

Literaturverzeichnis

- DEGEN, B., SCHOLZ, F. 1994. Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Waldökosysteme - ein systemanalytischer Ansatz aus der Sicht der Ökologischen Genetik. In: KUTTLER, W., JOCHIMSEN, M. (Hrsg.): Immissions-ökologische Forschung im Wandel der Zeit. Festschrift für Robert Guderian. Essener Ökologische Schriften, Bd. 4, Westarp Wissenschaften, Magdeburg, S. 79-99.
- DEMASURE, B., PETIT, R.J., SODZI, N. 1995. A set of universal primers for amplification of polymorphic non-coding regions of mitochondrial and chloroplast DNA in plants. *Molecular Ecology*, 4: 129-131.
- BERGMANN, F. 1994. Teilvorhaben B. In: SCHOLZ, F., BRAUN, H., BERGMANN, F., LLAMAS-GOMEZ, L., ZIEGENHAGEN, B.: Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne (*Abies alba* Mill.) in unterschiedlich immissionsbelasteten Regionen mit besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges. Abschlußbericht zum Vorhaben Waldschäden/Luftverunreinigungen. UBA - F+E-Vorhaben Nr. 10805046/56, 145 S.
- BERGMANN, F., SCHOLZ, F. 1989. Selection effects of air pollution in Norway spruce (*Picea abies*) populations. In: SCHOLZ, F., GREGORIUS, H.-R. and RUDIN, D. (eds.): Genetic effects of air pollutants in forest tree populations. Springer Verlag, Berlin, S. 143-160.
- GEBUREK, T., SCHOLZ, F., BERGMANN, F. 1986. Variation in aluminium-sensitivity among *Picea abies* (L.) Karst. seedlings and genetic differences between their mother trees and studied by isozyme-gene-markers. *Angew. Bot.*, 60: 451-460.
- HATTEMER, H., BERGMANN, F., ZIEHE, M. 1993. Einführung in die Forstgenetik für Studierende der Forstwissenschaft. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.

- KONNERT, M. 1992. Genetische Untersuchung in geschädigten Weißtannenbeständen (*Abies alba* Mill.) Südwestdeutschlands. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Baden-Württemberg, Heft 167, 120 S.
- LLAMAS GOMEZ, L., BRAUN, H. 1994. Teilvorhaben A. In: SCHOLZ, F., BRAUN, H., BERGMANN, F., LLAMAS-GOMEZ, L., ZIEGENHAGEN, B.: Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne (*Abies alba* Mill.) in unterschiedlich immissionsbelasteten Regionen mit besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges. Abschlußbericht zum Vorhaben Waldschäden/Luftverunreinigungen. UBA - F+E-Vorhaben Nr. 10805046/56, 145 S.
- MÜLLER-STARCK, G. 1989. Untersuchungen über Wirkungen von Immissionsbelastungen auf die genetischen Strukturen von Buchenpopulationen. Abschlußbericht zum Vorhaben Waldschäden/Luftverunreinigungen. UBA - F+E Vorhaben Nr. 10607046/23.
- MÜLLER-STARCK, G., ZIEHE, M. (eds.) 1991: Genetic variation in European populations of forest trees. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 286 S.
- NEALE, D.B., MARSHALL, K.A., SEDEROFF, R.R. 1988. Inheritance of chloroplast and mitochondrial genes in conifers. In: Hällgren J.E. (ed.), Molecular genetics in forest trees. Proc. Frans. Kempe symp., Umea, Sweden, June 14-16, 1988: 89-101.
- NYBOM, H., SCHAAL, B.A. 1990. DNA "fingerprints" reveal genotypic distributions in natural populations of blackberries and raspberries (*Rubus* L., Rosaceae). Am. J. Bot., 77: 883-888.
- NYBOM, H., HALL, H.K. 1991. Minisatellite DNA "fingerprint" can distinguish *Rubus* cultivars and estimate their degree of relatedness. Euphytica, 53: 107-114.
- PETIT, R.J., KREMER, A., WAGNER, D.B. 1993. Geographic structure of chloroplast DNA polymorphisms in European oaks. Theor. Appl. Genet., 87:122-128.
- SCHOLZ, F., GREGORIUS, H.-R., RUDIN, D. (eds.) 1989. Genetic Effects of Air Pollutants in Forest Tree Populations. Springer Verlag, Berlin.
- SCHOLZ, F., BRAUN, H., BERGMANN, F., LLAMAS-GOMEZ, L., ZIEGENHAGEN, B. 1994. Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne (*Abies alba* Mill.) in unterschiedlich immissionsbelasteten Regionen mit besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges. Abschlußbericht zum Vorhaben Waldschäden/Luftverunreinigungen. UBA - F+E-Vorhaben Nr. 10805046/56, 145 S.
- ZIEGENHAGEN, B., SCHOLZ, F. 1994. Teilvorhaben C. In: SCHOLZ, F., BRAUN, H., BERGMANN, F., LLAMAS-GOMEZ, L., ZIEGENHAGEN, B., Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne (*Abies alba* Mill.) in unterschiedlich immissionsbelasteten Regionen mit besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges. Abschlußbericht zum Vorhaben Waldschäden/Luftverunreinigungen. UBA - F+E-Vorhaben Nr. 10805046/56, 145 S.
- ZIEGENHAGEN, B., GUILLEMAUT, P., SCHOLZ, F. 1993. A procedure for mini-preparations of genomic DNA from needles of silver fir (*Abies alba* Mill.). Plant Molecular Biology Reporter, 11(2): 117-121.

Danksagung

Die Voraussetzungen der dargestellten molekularbiologischen Arbeiten an der Weißtanne wurden im Verbundprojekt "Ökologisch-genetische Untersuchungen über Anpassungsvorgänge bei der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in immissionsbelasteten Regionen unter besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges" geschaffen, welches vom Umweltbundesamt in Berlin gefördert wurde.

Genetische Untersuchungen an mittel- und osteuropäischen Weißtannen im Hinblick auf ihre historische Verbreitung

Fritz Bergmann

Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Georg-August-Universität, Göttingen

Einleitung

Das geographisch verteilte genetische Variationsmuster der meisten europäischen Waldbaumarten basiert auf folgenden drei Faktoren (BERGMANN, 1991):

1. Anzahl, Lage und Größe der Refugien während der letzten Eiszeit, durch welche infolge von Isolation, Mutation, Selektion und genetischer Drift eine gewisse genetische Differenzierung hervorgerufen wurde.
2. Rückwanderungswege während nacheiszeitlicher Perioden in die nördlichen und östlichen Areale des heutigen Verbreitungsgebiets, wobei veränderter Selektionsdruck zu einer Erhöhung der Differenzierung, Zusammentreffen von Refugialpopulationen aber zu Gen-Austausch und damit zu einer Abnahme der Differenzierung geführt haben wird.
3. Menschliche (forstwirtschaftliche) Aktivitäten in den letzten Jahrhunderten, die zu starker Exploitation, Vermischung und künstlicher Ausbreitung einiger Baumarten geführt haben.

Je nach Ausmaß und Wirkungsgrad des dritten Faktors entspricht das heutige Variationsmuster mehr oder weniger dem ursprünglichen Zustand. Im Gegensatz zur Fichte ist bei der Tanne die menschliche Einflußnahme als gering einzuschätzen, da die Regeneration der Bestände in den meisten Fällen durch natürliche Verjüngung erfolgte. Somit sollte das heutige genetische Variationsmuster dieser Baumart weitgehend dem ursprünglichen Muster entsprechen, wenn auch - infolge von episodischem „Tannensterben“ - eine gewisse genetische Verarmung, d. h. Verlust von seltenen Allelen, in einigen Gebieten angenommen werden muß.

Kenntnisse von dem jeweiligen artspezifischen genetischen Variationsmuster der Waldbäume sind die Voraussetzung für effektive Maßnahmen zur Erhaltung gefährdeter Genressourcen. Darüber hinaus können sie Hinweise für die inherente Resistenz gegen biotische und abiotische Streßfaktoren liefern und damit gewisse Voraussagen über die langfristige Stabilität von Waldgesellschaften machen, was auch für waldbauliche Entscheidungen von Nutzen sein sollte. Da die Weißtanne in zahlreichen Arealen Mittel- und Osteuropas stark gefährdet ist und in einigen

Wuchsgebieten, wie z. B. im Erzgebirge, bereits zu den bedrohten Pflanzenarten gezählt wird (Anonymus 1993; LEONHARDT 1993), ist es besonders dringlich, das genetische Variationsmuster dieser ökologisch so wertvollen Baumart zu untersuchen, um rasch einige Grundlagen für waldbauliche und/oder naturschützerische Entscheidungen zu erhalten.

Es war daher unser Ziel, die genetischen Strukturen der ostdeutschen Weißtannenbestände in Beziehung zu denen angrenzender Populationen in Südwestpolen und nördlicher Tschechien zu setzen, um sie in das gesamteuropäische Variationsmuster, das auf den o. g. historischen Verbreitungsprozessen basiert, einzuordnen. Die Motivation zu diesen Untersuchungen resultierte aus der Forderung, die Weißtanne im Erzgebirge und anderen mitteldeutschen Gebirgen wieder auszubreiten (HARTIG 1986), wobei die zu etablierenden Bestände an das vorgegebene Umweltmuster angepaßt sein sollten.

Methodik

Es ist seit langem üblich, molekulare Marker, welche die allelische Variation an einzelnen Genloci beobachtbar machen, für zahlreiche populationsgenetische, evolutionsbiologische und phylogenetisch/taxonomische Fragestellungen zu verwenden, wobei sowohl Isoenzym-Genmarker als auch DNA-Marker eingesetzt werden (STRAUSS et al. 1992, GILLET 1993). Sollen nun systematische, historische oder abstammungsrelevante Probleme gelöst werden, so müssen die hierzu verwendeten Genmarker selektionsneutral oder „quasi-neutral“ sein, damit nicht bereits durch plötzliche Umweltveränderungen die ursprünglichen Häufigkeiten dieser Marker drastisch verändert werden. Eine systematische Veränderung der Häufigkeiten, z. B. eine kontinuierliche Abnahme vom Zentrum eines Verbreitungsgebiets zu den Marginalzonen hin, wie sie für nicht-häufige Varianten beobachtbar wird, sollte die einzige Verschiebung bleiben (CRAWFORD 1990).

Für unsere ausbreitungshistorischen Untersuchungen bei der Weißtanne wurden daher nicht-häufige, teilweise auch seltene Allele einiger Isoenzym-Genloci verwendet, die bereits bei Voruntersuchungen eine Zuordnung zu gewissen Arealen dieser Baumart erkennen ließen. Daher werden diese Alleltypen im folgenden nur noch als arealspezifische Allele bezeichnet (KONNERT und BERGMANN 1995).

Ihre Nützlichkeit für Abstammungsstudien bei Waldbaumpopulationen oder Rassen basiert auf folgender plausibler Überlegung. Eiszeitliche Refugien, welche lange Zeit isoliert waren, unterscheiden sich infolge von Mutationen, genetischer Drift und schwacher Selektion vor allem in der Existenz seltener Allele, während die häufigen, funktionstragenden Allele zumeist überall vorkommen. Demzufolge stammen Populationen, die dieselben seltenen Allele besitzen, mit größter Wahrscheinlichkeit von derselben Refugialpopulation ab, während Populationen ohne

gemeinsame seltene Allele nicht mehr in denselben Refugien existiert haben (WHEELER und GURIES 1982).

Für unsere Zwecke wurden daher vier Isoenzym-Genloci mit sechs arealspezifischen (z. T. seltenen) Allelen verwendet (Tabelle 1).

Tab. 1: Zusammenstellung der verwendeten Isoenzym-Genloci mit ihren arealspezifischen Allelen

Enzymsystem	Genlocus	arealspezifische Allele
Aminopeptidasen	AP-A	A 1, A 3
Glutamatoxalacetat- Transaminasen	GOT-B	B 1, B 3
Menadion-Reduktasen	MNR-B	B 1
6-Phosphogluconat- Dehydrogenasen	6PGDH-B	B 3

Untersuchungsmaterial

Zur Bestimmung des geographischen Variationsmusters der Weißtanne in ihrem natürlichen europäischen Verbreitungsgebiet wurden insgesamt 98 Populationen im Rahmen eines anderen Projekts untersucht (KONNERT und BERGMANN 1995). Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse über eiszeitliche Refugien und Rückwanderwege nach der letzten Eiszeit stellen jedoch die Grundlage für die Einordnung der im Rahmen des UBA-Projekts analysierten neun Bestände dar.

Von diesen Beständen standen Einzelbaumproben (Saatgut, Knospen) und Mischproben (Saatgut) zur Verfügung. Eine Zusammenstellung der untersuchten Bestände findet sich in der Tabelle 2.

Tab. 2: Zusammenstellung der Weißtannen-Herkünfte und der hiervon untersuchten Stichproben

Herkunftsname	Gebirge/Wuchsgebiet	Stichprobe/Material
Bärenfels	Erzgebirge/Sachsen	28 Bäume, Knospen
Lauter	Erzgebirge/Sachsen	27 Bäume, Knospen
Bad Schandau	Elbsandsteingeb./Sachsen	19 Bäume, Knospen
Vessertal	Thüringer Wald/Thüringen	Samenmischprobe
Liptovsky Hrádok	Niedere Tatra/Slowakei	Samenmischprobe
Klášterec	Erzgebirge/Tschechei	22 Bäume, Knospen
Frydlant	Isergebirge/Tschechei	15 Bäume, Knospen
Międzygorze	Sudeten/Polen	19 Bäume, Saatgut
Ladek	Sudeten/Polen	17 Bäume, Saatgut

Ergebnisse

1. Geographisches Variationsmuster der Weißtanne in Europa

Zur Einordnung der hier untersuchten mitteleuropäischen Weißtannenpopulationen muß primär das großräumige Variationsmuster dieser Baumart in Mittel-, Südost- und Osteuropa bzgl. der analysierten arealspezifischen Allele beschrieben werden. Zu diesem Zweck wurden 17 Tannen-Wuchsgebiete ausgewählt, die in Südwest- und Süddeutschland, in Frankreich, der Tschechei, der Slowakei, Rumänien, Bulgarien und Mazedonien liegen und für die dortigen Waldgesellschaften charakteristisch sind. Die betreffenden Allelhäufigkeiten beziehen sich jeweils auf mehrere Populationen pro Wuchsgebiet, so daß die für seltenere Typen kritische Populationsgröße stets überschritten wurde (KONNERT und BERGMANN 1995).

Ein Vergleich der arealspezifischen Alleltypen an vier Isoenzym-Genloci zeigt deutlich, daß das westliche und südwestliche Tannenareal von Mitteleuropa sich von dem ost- und südosteuropäischen Verbreitungsgebiet unterscheidet (Tabelle 3). Dabei fällt auf, daß das Allel MNR-B1 in Südbayern schon nicht mehr nachweisbar ist. Ab dem Wuchsgebiet Nordmähren (Tschechei) wird der Einfluß der osteuropäischen Weißtanne erkennbar, denn die für das östliche Verbreitungsgebiet charakteristischen Allele GOT-B1 (anstelle von B3) und 6PGDH-B3 konnten dort bereits festgestellt werden (Tabelle 3). Als Ursache für dieses genetische Differenzierungsmuster wird angenommen, daß westliche und östliche Verbreitungsgebiete von verschiedenen eiszeitlichen Refugien abstammen bzw. von verschiedenen Refugien beeinflusst wurden (siehe KONNERT und BERGMANN 1995). Aus einem in Mittelitalien vermuteten Refugium soll die Tanne entlang zweier Hauptwanderwege nach Mitteleuropa vorgedrungen sein; über Jura und Westalpen in die Vogesen, den Schwarzwald und den Allgäu und über den Ostalpenweg in die bayer., thüringisch/sächsischen und tschechischen Mittelgebirge (KRAL 1980 und dort zit. Literatur). Aufgrund unserer Untersuchungen mit Isoenzym-Genmarkern müssen aber noch mindestens zwei weitere Refugien existiert haben, welche die europäischen Tannenareale beeinflussten. Zum einen ist ein Refugium in Mittel- oder Westfrankreich (Central Massif ?) anzunehmen, dessen genetischer Einfluß nach Osten bis in die schwäbische Alb und das Bodenseegebiet reicht (KONNERT 1992), zum anderen muß es Refugien in Südromänien und Bulgarien gegeben haben, deren Genpool bei der Ausbreitung nach Norden und Nordwesten die slowakischen und südpolnischen Wuchsgebiete (Beskiden, Westkarpaten, Slow. Erzgebirge) erreicht hat. Eine Übersicht über die verschiedenen Tannenrefugien und postulierten nacheiszeitlichen Rückwanderwege zeigt Abbildung 1.

Tab. 3: Vorkommen und Häufigkeit von sechs arealspezifischen Allelen an vier Isoenzym-Genloci in 17 Weißtannen-Wuchsgebieten und neun Beständen des UBA-Projekts (die betr. Wuchsgebiete sind in Tabelle 2 aufgeführt)

Population/Areal Land	AP-A 1	AP-A 3	GOT-B 1	GOT-B 3	MNR-B 1	6PGDH-B 3
Vogesen/Frankreich		0.15		0.13	0.17	
Nord-Schwarzwald		0.23		0.15	0.12	
Süd-Schwarzwald		0.18		0.16	0.08	
Südw. Alpenvorland		0.36		0.06	0.03	
Südbayern		0.26		0.05		
Bayer. Wald		0.15		0.02		
Böhmerwald/Tschechei		0.18		0.03		
Nordostbayern		0.06		0.03		
Bärenfels		0.02		0.02	0.02	
Lauter		0.07		0.02		
Bad Schandau		0.05		0.03		
Vessertal		0.06		0.08		0.03
Miedzygorze		0.08		0.05		0.03
Ladek		0.06		0.03		
Klášterec		0.07				0.02
Frydlant		0.03		0.20		
Liptovsky		0.08				0.04
Nordmähren/Tschechei		0.03	0.03			0.04
Hohe Tatra/Slowakei			0.06			0.06
Slow. Erzgebirge	0.01		0.01			0.03
Transkarpaten/Ukr.	0.07					0.02
Ostkarpaten/Rum.	0.06					0.06
Westkarpaten/Rum.	0.03		0.02			0.02
Rila-Geb./Bulg.	0.06		0.22			0.20
Rhodopen/Bulg.	0.07		0.10			0.07
Pelister/Mazed.	0.05					0.07

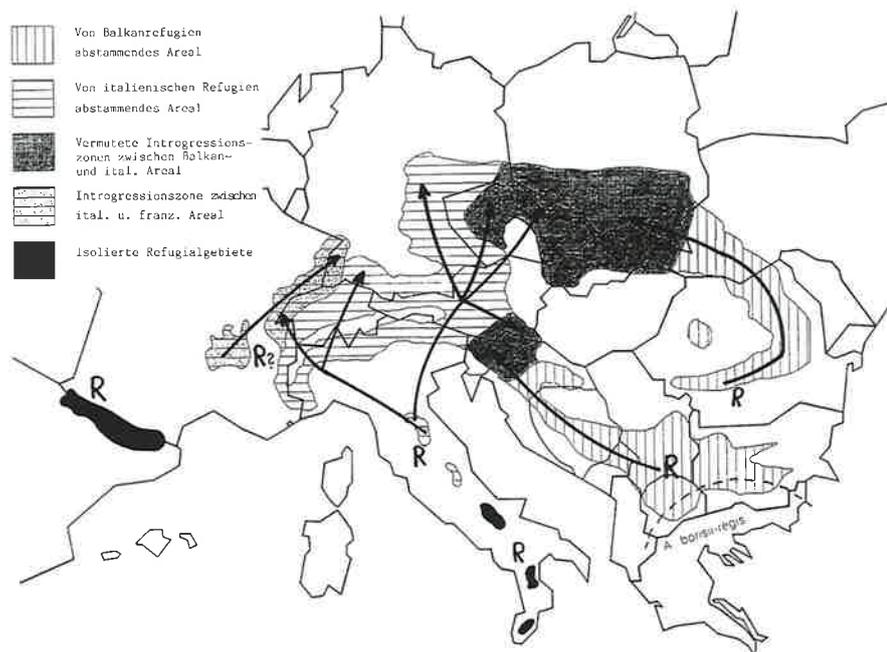


Abb. 1: Geographische Lage der von verschiedenen Refugien ausgehenden Areale der Weißtanne sowie der postulierten Introgressionszonen zwischen den Arealen (modifiziert aus KONNERT u. BERGMANN, 1995). R: Eiszeitliches Refugium bzw. Refugialgebiet der Weißtanne
 → : Vermutete Rückwanderwege der Weißtanne

2. Zuordnung der untersuchten Bestände zu den Weißtannenarealen

Die im Rahmen des UBA-Projektes untersuchten neun Weißtannenbestände (Stichproben) können zwanglos dem mitteleuropäischen Areal zugeordnet werden, denn sie besitzen alle das Allel AP-A3 und die meisten auch das Allel GOT-B3 (Tabelle 3). Ein Einfluß des von uns postulierten französischen Refugiums, erkennbar an dem Vorkommen von MNR-B1, ist nicht mehr gegeben; ein Nachweis dieses Allels ist somit auf künstliche Einbringung von südwestdeutschem Vermehrungsgut zurückzuführen, wie es im Fall von Bärenfels/Erzgebirge erfolgt sein könnte (Tabelle 3). Die Häufigkeiten der beiden arealspezifischen Allele AP-A3 und GOT-B3 bewegen sich in einem Bereich, welcher auch für die nordbayer. Wuchsgebiete festgestellt wurde, so daß hier eine gemeinsame Abstammung postuliert werden kann.

Andererseits konnte bei einigen Beständen bereits das Allel 6PGDH-B3 nachgewiesen werden, welches für die Weißtanne in Ost- und Südosteuropa charakteristisch ist (Tabelle 3). Hier ist also ein gewisser Genfluß aus dem osteuropäischen Areal anzunehmen, so daß diese Wuchsgebiete (Osterzgebirge, Sudeten, Niedere Tatra) auch als Kontaktzone zwischen der Tannenausbreitung via Ostalpenweg und dem Tannenvorstoß aus den Ostkarpaten/Südkarpaten betrachtet werden können (Abbildung 1).

Zusammenfassend läßt sich konstatieren, daß die hier untersuchten neun Bestände aus Ostdeutschland, Südwestpolen und der nördlichen Tschechei dem östlichen Weißtannenareal des italienischen Refugiums zugerechnet werden müssen, wobei Genfluß aus der Introgressionszone zwischen italienischem und Karpaten/Balkanrefugien die weiter östlich gelegenen Wuchsgebiete beeinflusst hat (Abbildung 1).

Abgesehen von der gemeinsamen Eingliederung in das Weißtannen-Verbreitungsgebiet anhand arealspezifischer Allele läßt sich eine Gruppenbildung der meisten Bestände aus dem Erzgebirge und den Sudeten auch mit Hilfe eines Dendrogrammes zeigen (Abbildung 2). Dieses Dendrogramm basiert auf den genetischen Abständen zwischen allen hierfür ausgewählten Populationen, wobei nicht nur die arealspezifischen Allele, sondern die Häufigkeiten aller Allele an insgesamt 10 polymorphen Isoenzym-Genloci verwendet wurden. Zum Vergleich wurden neben den neun hier untersuchten Beständen ein Weißtannenbestand aus dem Fichtelgebirge (Weißenstadt) und zwei Bestände aus dem Schwarzwald (Ottenhöfen, Nagold) mit einbezogen. Man erkennt an diesem sog. Ähnlichkeitsschema sofort, daß die Bestände Bärenfels, Bad Schandau, Lauter, Ladek, Miedzygorze, Liptovsky und Klasterec eine gemeinsame Gruppe bilden (Abbildung 2). Hiervon etwas abgesetzt erscheinen Weißenstadt, Vessertal und Frydlant, während die beiden Schwarzwaldbestände schon eine deutliche genetische Divergenz zu dem Rest der Weißtannenpopulationen aufweisen.

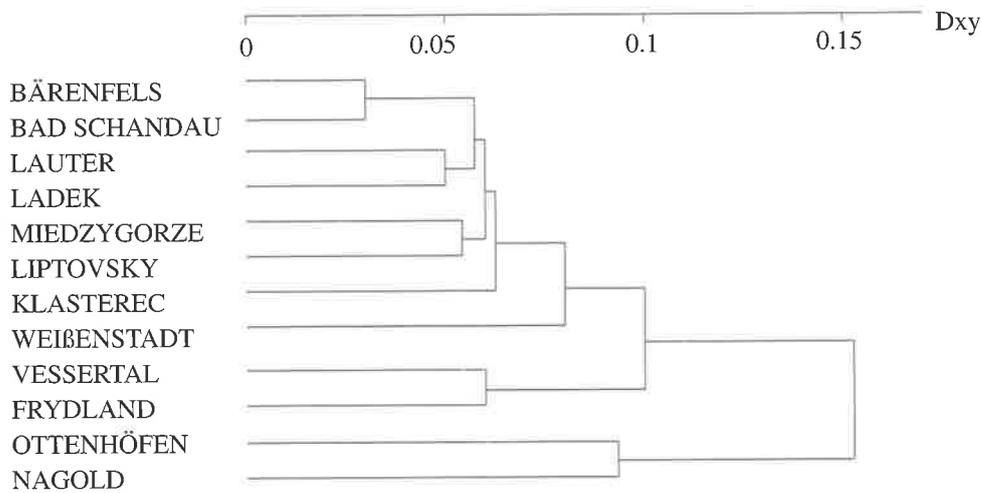


Abb. 2: Dendrogramm von 12 Weißtannenbeständen.

Die Clusteranalyse nach der UPGMA-Methode basiert auf den Werten des genetischen Abstands zwischen allen Populationen (Genpool-Abstände).

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die verschiedenen Daten der genetischen Charakterisierung von Weißtannenpopulationen lassen erkennen, daß die ostdeutschen, südwestpolnischen und nordtschechischen Bestände nur geringe Unterschiede aufweisen und sich als Areal von anderen Weißtannen-Arealen mehr oder weniger deutlich absetzen. Anhand der arealspezifischen Allele an vier Isoenzym-Genloci läßt sich ihre Einordnung in das gesamteuropäische Differenzierungsmuster, das auf der nacheiszeitlichen Rückwanderung basiert, problemlos vornehmen. Die Weißtanne ist nach der letzten Eiszeit vorwiegend aus einem italienischen Refugium entlang dem Ostalpenbogen über die bayer. und tschechischen Gebirgszüge in diese Region eingewandert. Ein zweiter Wanderweg über die Ostkarpaten aus Balkanrefugien kann nach Norden und Nordwesten bis in den Bereich der Beskiden, Westkarpaten und Niederen Tatra vorgestoßen sein und wird dann auch via Genfluß den östlichen Teil der o. g. Region beeinflusst haben (Abbildung 1).

Aus den Ergebnissen dieser vergleichenden Untersuchungen läßt sich der Schluß ziehen, daß zur Wiederaufforstung des Erzgebirges (und anderer ost-/mitteldeutscher Gebirge) möglichst Vermehrungsgut aus den angrenzenden südpolnischen, nordtschechischen, aber auch nordbayer. Tannen-Wuchsgebieten verwendet werden sollte. Obwohl die hier festgestellten genetischen Ähnlichkeiten und Divergenzen sich nur auf die genetischen Strukturen an Isoenzym-Genloci beziehen, spricht nichts gegen die Annahme, daß entsprechende Übereinstimmungen auch andere Bereiche des Tannen-Genoms aufweisen. Wenn zudem noch Umweltfaktoren, vor allem Klimafaktoren, sich in den infrage kommenden Wuchsgebieten ähneln, dürfte auch die Übereinstimmung an sog. adaptiven Genloci, welche physiologische und morphologische Merkmale kontrollieren, gegeben sein. Erste Hinweise hierfür lieferten Kunstanbauten mit Vermehrungsgut aus der Tatra (HARTIG 1986). Populationen, die aus anderen eiszeitlichen Refugien stam-

men, könnten die zur Anpassung an den mittel- und osteuropäischen Gebirgsraum notwendigen genetischen Varianten bereits verloren haben.

Literaturverzeichnis

- Anonymus, 1993. Waldschadensbericht 1993 für den Freistaat Sachsen.
Herausgeb. Sächs. Staatsministerium f. Landwirtschaft, Ernährung und Forsten, Dresden.
- Bergmann, F. 1991. Causes and consequences of species-specific genetic variation patterns in European forest tree species. Examples with Norway spruce and silver fir. In: G. Müller-Starck and M. Ziehe (eds.) Genetic Variation in European Populations of Forest Trees, J.D. Sauerländer's, Frankfurt a.M. 192-205.
- Crawford, D.J. 1990. Plant Molecular Systematics. John Wiley & Sons, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Gillet, E. 1993. Genmarker als Entscheidungshilfen für die Genkonservierung. I. Zweckdienliche Auswahl von Markertypen. Allg. Forst- u. Jagdztg 164, 30-35.
- Hartig, M. 1986. Zur Bedeutung der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in den sächsisch-thüringischen Mittelgebirgen. Naturschutzarbeit in Sachsen, 28. Jg., 33-42.
- Konnert, M. 1992. Genetische Untersuchungen in geschädigten Weißtannenbeständen (*Abies alba* Mill.) Südwestdeutschlands. Mitt. Forstl. Versuchsanst. Baden-Württ. Nr. 167, 119 S.
- Konnert, M. and F. Bergmann 1995. The geographical distribution of genetic variation of silver fir in relation to its migration history. Plant Syst. & Evol., 196, 19-30.
- Kral, F. 1980. Waldgeschichtliche Grundlagen für die Ausscheidung von Ökotypen bei *Abies alba*. 3. Tannensymp. Wien, 241-251.
- Leonhardt, U. 1993. Zur Situation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Sachsen und Maßnahmen der forstlichen Generhaltung. Forstarchiv 64, 83-87.
- Strauss, S.H., J. Bousquet, V.D. Hipkins and Y.P. Hong. 1992. Biochemical and molecular genetic markers in biosystematic studies of forest trees. New Forests 6, 125-158.
- Wheeler, N.C. and R.P. Guries. 1982. Biogeography of lodgepole pine. Can. J. Botany 60, 1805-1814.

Genetische Variation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Bayern und Baden-Württemberg

Monika Konnert

Bayerische Landesanstalt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, Teisendorf

1. Einleitung

Der Süden Deutschlands (Länder Bayern und Baden-Württemberg) gehört zum Großteil zum natürlichen Verbreitungsgebiet der Weißtanne (*Abies alba* Mill.).

In Baden-Württemberg sind dies die Gebiete des Schwarzwaldes und der Baar; in den restlichen Landesteilen trifft dies nur für die meist kühleren und niederschlagsreicheren, submontanen und montanen Teilgebiete zu, wie z.B. der Schwäbisch-Fränkische Wald, das Gebiet zwischen Schwarzwald und Schwäbischer Alb, der Südosten Oberschwabens und das Allgäu, die Traufzone der Zollern- und Heubergalb. Etwa 2/3 dieses Verbreitungsgebietes gehören zur montanen Stufe und damit zum Tannenoptimum (KÄLBLE, 1979).

Bedingt durch eine wenig tannengemäße Bewirtschaftung, durch sehr hohe Wildbestände und in jüngster Zeit auch durch neuartige Waldschäden ist der Tannenanteil in diesem Gebiet seit etwa 100 Jahren stetig zurückgegangen. Von ursprünglich 17 % betrug er 1980 noch etwa 8 %. In den letzten Jahren wird wieder eine leichte Zunahme verzeichnet (WEIDENBACH, 1991).

In Bayern kommt die Tanne außer in Unterfranken und dem nordwestlichen Mittelfranken, überall natürlich vor. Lediglich dort, wo ungünstige klimatische Verhältnisse herrschen (Niederschlag, Temperatur) kann sie kleinörtlich fehlen (SEITSCHKEK 1978). Von den bayerischen Alpen ausgehend, schließen sich nördlich die bedeutenden Tannengebiete des Bayerischen Waldes, des Fichtelgebirges und Frankenwaldes an. Ihre obere Höhengrenze liegt in den nordbayerischen Mittelgebirgen bei etwa 800 m NN, im Bayerischen Wald bei etwa 1200 m NN und in den bayerischen Alpen bei etwa 1600 m NN. In den Tälern steigt sie bis etwa 300 m NN herab (MEISTER, 1982).

In den letzten hundert Jahren hat ihr Anteil in allen Landesteilen drastisch abgenommen (heute etwa 1 %). Vor allem im Bergmischwald der Alpen und des Bayerischen Waldes, für dessen ökologische und Schutzfunktion die Tanne unersetzbar ist, ist ihr Rückgang alarmierend. In den letzten Jahren ist es hier gelungen, die Trendwende herbeizuführen (SEITSCHKEK, 1990). Dramatisch ist weiterhin ihr Rückgang im Fichtelgebirge - Frankenwald.

Ziel vorliegender Untersuchungen war es, Daten über die genetische Variation der Weißtanne in Süddeutschland zu erhalten. Solche Kenntnisse sind wichtige Grundlagen für die Abgrenzung von Herkunftsgebieten, Herkunftsempfehlungen, Wahl der richtigen Herkunft bei künstlicher Verjüngung, Identifizierung von Vermehrungsgut, Maßnahmen der Generhaltung etc.

2. Untersuchungsmaterial

Aus Baden-Württemberg wurden **27** Tannenpopulationen aus Landesteilen, in denen die Tanne natürlich verbreitet ist, untersucht und zwar:

Schwarzwald	15 Pop. (6 Pop. Südschwarzwald, 9 Pop. Nordschwarzwald)
Baar-Wutach	2 Pop.
Südwestdeut. Alpenvorland	2 Pop.
Neckarland	7 Pop. (davon 4 im Schwäbisch-Fränkischen Wald)
Schwäbische Alb	1 Pop.

In Bayern wurden zum einen **19** Tannenpopulationen aus den Hauptverbreitungsgebieten dieser Baumart untersucht, u.zw.:

Alpen und Alpenvorland	9 Pop.
Bayerischer Wald	2 Pop.
Nordostbayer. Mittelgebirge	6 Pop.
Bayer. Jura	2 Pop.

Zum anderen wurden **9** Tannenrestvorkommen in Mittelfranken, einem Randgebiet der natürlichen Tannenvorkommen in die Untersuchungen einbezogen.

Die ungefähre Lage der untersuchten Populationen ist in Abbildung 1 eingetragen. Genauere Angaben dazu finden sich bei KONNERT (1992, 1993). Untersucht wurden Knospen und/oder Samen von Einzelbäumen (27 - 66, im überwiegenden Fall 50 Probestämme pro Bestand) und bei drei Populationen aus Bayern Bestandesabsaaten (Endosperme von 140 - 160 Samen pro Bestand).

3. Methodische Details

Die Bestimmung der genetischen Strukturen erfolgte durch Isoenzymanalysen. Bei dieser Analyse-methode ist es möglich aus der Beobachtung eines phänotypischen Merkmals (Bandenmuster im Zymogramm) den Genotyp des untersuchten Baumes an einem bestimmten Genort anzugeben, also die Ausprägung eines genetischen Merkmals zu beobachten (HATTEMER et al., 1993).

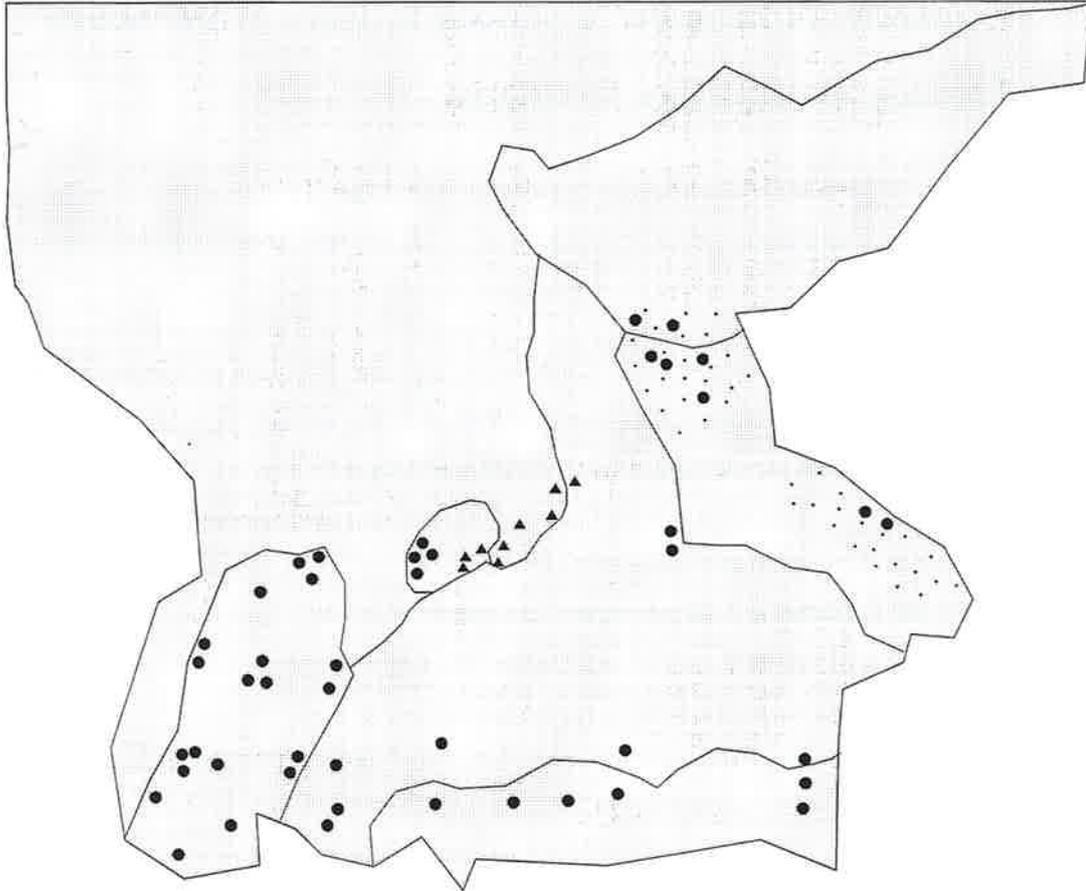


Abb. 1: Lage der untersuchten Tannenpopulationen.

- Bestände mit hohem Tannenanteil im Hauptverbreitungsgebiet der Tanne;
- ▲ Tannenrestvorkommen; • ausgewählte Einzelbäume (für Erhaltungsplantagen)

Durch Analyse der Enzymsysteme Aminopeptidase (AP, EC 3.4.11.1), Glutamatoxalacetat-Transaminase (GOT, EC 2.6.1.1), Isocitratdehydrogenase (IDH, EC 1.1.1.42), Malatdehydrogenase (MDH, EC 1.1.1.37), Menadionreduktase (MNR, EC 1.6.99.2), 6-Phosphogluconatdehydrogenase (6-PGDH, EC 1.1.1.44), Phosphoglucoisomerase (PGI, EC 5.3.1.9), und Phosphoglucomutase (PGM, EC 2.7.5.1) wurden die Mehrlocus-Genotypen der Tannen an 13 Genorten bestimmt: AP-A, GOT-A, GOT-B, GOT-C, IDH-A, IDH-B, MDH-A, MNR-B (auch als DIA-A bezeichnet), 6-PGDH-A, 6-PGDH-B, PGI-B, PGM-A, PGM-B. Details zur Analysenmethodik finden sich bei KONNERT (1992, 1995).

Im Ergebnisteil sind verschiedene Maße angegeben, die, ausgehend von den Häufigkeiten der Genvarianten in den Populationen, die genetischen Unterschiede zwischen den Populationen und die genetische Variation (Vielfalt, Diversität) innerhalb jeder Population quantifizieren. Wie diese Größen berechnet werden, soll hier nicht näher erläutert werden. Sie sind in zahlreichen Publikationen beschrieben und u.a. bei HATTEMER et al. 1993, KONNERT 1992, MÜLLER-STARCK 1993 zusammenfassend dargestellt. In Kapitel 4.2 wird auf ihre Bedeutung kurz eingegangen.

4. Genetische Variation der Weißtanne in Baden-Württemberg

4.1 Variation der genischen Strukturen

Ein Vergleich der genischen Strukturen (**genische Struktur** = Häufigkeitsverteilung der Genvarianten in einer Population (HATTEMER et al., 1993)) der Tannenpopulationen aus Baden-Württemberg zeigt daß:

- a) die Unterschiede in der Art der Genvarianten gering sind. An zehn der dreizehn untersuchten Genorte treten in allen Populationen diesselben Alleltypen auf. An den Genorten GOT-A, GOT-C und MNR-B wurden in einigen Populationen die Genvarianten GOT-A1, GOT-C1 und MNR-B1 nicht gefunden. Diese Genvarianten treten auch in den meisten anderen Populationen nur in geringen Häufigkeiten (etwa 2 - 5 %) auf. Ihr Fehlen in einigen Populationen kann auch ein Problem des zu geringen Stichprobenumfangs sein und wird deshalb im Moment nicht weiter bewertet.
- b) die Unterschiede in den Häufigkeiten zwischen den Populationen groß sind. Die Häufigkeiten der einzelnen Genvarianten zeigen z.T. eine außerordentlich große Variationsbreite wie z.B.:

IDH-A1	-	0,09 bis 0,51
IDH-A2	-	0,32 bis 0,75
IDH-B2	-	0,21 bis 0,55
6-PGDH-A1	-	0,11 bis 0,56
AP-A3	-	0,09 bis 0,47
MNR-B1	-	0,00 bis 0,19

An den Genorten IDH-B, AP-A und MNR-B wurde eine „regionale“ Variation beobachtet (siehe Abbildung 2/a-c). So ist z.B. die Genvariante IDH-B2 in allen Beständen aus dem Südschwarzwald häufiger als in solchen aus dem Nordschwarzwald (siehe auch SCHROEDER, 1989). Die Genvariante AP-A2 findet sich in den drei am südöstlichsten gelegenen Beständen (südwestdeutsches Alpenvorland, schwäbische Alb) in Häufigkeiten von über 40 %, während sie in den restlichen Gebieten Baden-Württembergs im Mittel bei etwa 20 % liegt. Die Genvariante MNR-B1 ist mit Häufigkeiten von über 10 % nur in Beständen am Westabfall des Schwarzwaldes anzutreffen und zeigt eine abnehmende Tendenz gegen Südosten.

Prüft man die Unterschiede in den Allelhäufigkeiten mit Hilfe statistischer Tests auf ihre Signifikanz, so wird die große Heterogenität der genischen Strukturen der Tannenpopulationen dieses Gebietes sichtbar. 333 der 351 paarweisen Kombinationen, die mit den 27 untersuchten Populationen gebildet werden können, unterscheiden sich an mindestens einem Genort signifikant (Mindestsignifikanzniveau 5 %) (KONNERT, 1992).

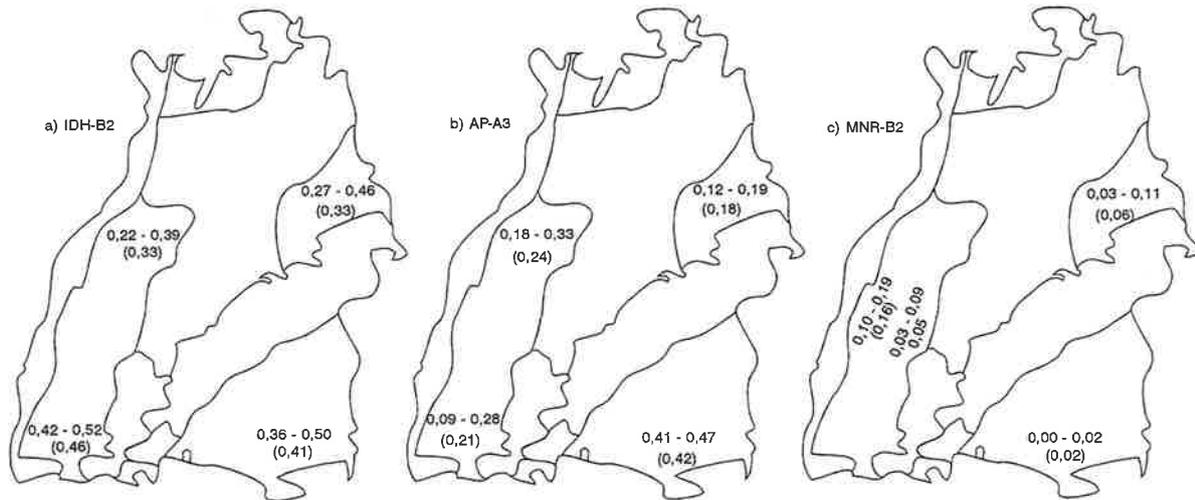


Abb. 2: Häufigkeiten der Allele IDH-B2, AP-A3 und MNR-B2 in Tannenpopulationen aus verschiedenen Regionen Baden-Württembergs. Extremwerte und mittlere Werte (in Klammern)

4.2 Genetische Variation in den Tannenpopulationen

Die Vielfalt einer Population bezieht sich auf die Anzahl in ihr auftretender unterschiedlicher genetischer Typen. Eine Population ist z.B. je vielfältiger je mehr Genvarianten sie enthält (sog. **genetische Vielfalt**). Parameter, die diese Vielfalt quantifizieren sind u.a. der **Anteil polymorpher Genorte** (P) und die **mittlere Anzahl von Genvarianten je Genort** (A/L) (HATTEMER et al., 1993).

Die Diversität berücksichtigt neben der Anzahl unterschiedlicher Genvarianten auch deren Häufigkeiten. Als Diversitätsmaß wurde die **hypothetische gametische Multilocus-Diversität** (v_p) berechnet, die gleich ist der Anzahl genetisch unterschiedlicher Gameten, die von der Population, unter Berücksichtigung der untersuchten Genorte gebildet werden können (MÜLLER-STARCK u. GREGORIUS, 1986).

Die **Gesamtdifferenzierung** (d_T) ihrerseits zeigt inwieweit sich jeder einzelne Baum einer Population von seinem Komplement (alle anderen Bäume der Population zusammengenommen) unterscheidet (HATTEMER et al., 1993) und ist somit auch ein Indikator für die genetische Heterogenität der Population.

In Tabelle 1 sind Werte der Vielfalt, Diversität und Gesamtdifferenzierung für Tannenpopulationen aus verschiedenen Regionen Baden-Württembergs (und Bayerns) eingetragen. Angegeben sind jeweils der kleinste und größte Wert, der in Populationen aus der betreffenden Region gefunden wurde. Während bei der Berechnung der Vielfaltswerte (P und A/L) alle dreizehn Genorte berücksichtigt wurden, sind in die Diversitätswerte nur Genorte eingegangen, die in mindestens einer Population Variation zeigten (neun Genorte, ohne 6-PGDH-B, PGI-B, PGM-A und PGM-B).

allerdings der Prozentanteil polymorpher Genorte etwas höher durch den Polymorphismus am Genort MNR-B in 23 von 27 Populationen. Dieser Genort ist in den meisten bayerischen Tannenpopulationen auf eine Genvariante fixiert.

b) Zum Unterschied von Baden-Württemberg sind in Bayern bei der Diversität und Differenzierung regionale Unterschiede zu beobachten. Bestände aus dem südlichen Teil (Alpen und Alpenvorland, Bayerischer Wald) sind diverser und differenzierter ($v_p = 20,0$ bis $50,0$) als Bestände aus Nordostbayern ($v_p = 7,0$ bis $14,0$). Im Süden wird eine Abnahme der Diversität von Westen nach Osten festgestellt. Hingewiesen sei auf die z.T. recht hohe, aber auch stark unterschiedliche Diversität der Tannenpopulationen aus Mittelfranken ($v_p = 14,0$ bis $34,0$). Die Tannenrestvorkommen dieses Gebietes sind in ihrer Populationsgröße stark reduziert. Als Folge dieser Reduktion hatte man eine genetische Verarmung oder Einengung erwartet und somit eine geringe Variation. Dies trifft aber nur zum Teil zu, vor allem für die östlicheren Vorkommen (FoA Nürnberg) auf überwiegend sandigen Standorten in Randgebieten der natürlichen Tannenverbreitung.

Wie aus Abbildung 4 ersichtlich weisen die Tannenpopulationen aus Baden-Württemberg im Mittel eine höhere Diversität und Differenzierung auf als der überwiegende Teil der bayerischen Vorkommen. Lediglich die Tannenpopulationen aus dem Allgäu haben vergleichbare Werte.

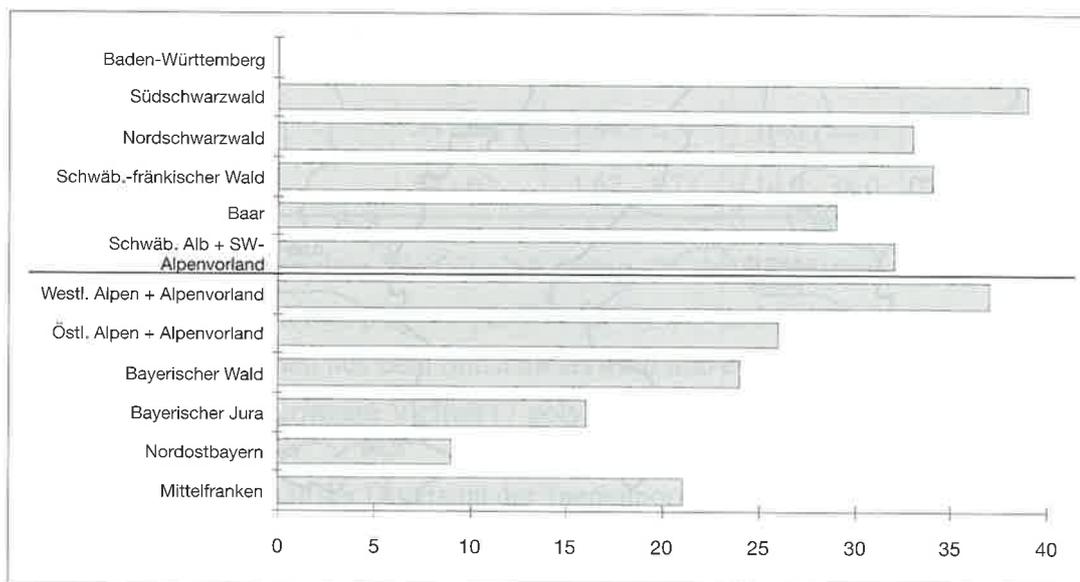


Abb. 4: Genetische Diversität (v_p) in Tannenpopulationen aus verschiedenen Regionen Süddeutschlands (jeweils mittlere Werte von mehreren Populationen)

Die hier untersuchten Tannenpopulationen sind zum größten Teil autochthon. Wir gehen davon aus, daß neben den spezifischen genetischen Strukturen, wie sie unter 4.1 und 5.1 beschrieben wurden, auch die Werte für die Diversität und Differenzierung mit der Rückwanderung der Tanne nach der Eiszeit in Verbindung sind. Nach Süddeutschland ist die Tanne aus Mittelitalien zum einen über den relativ kurzen „**Allgäu-Weg**“ in das Bodenseegebiet, die Deckenschotterlandschaft zwischen Iller und Lech bis ins westliche bayerische Alpenvorland, über den „**Schweizer-Jura-Weg**“ in den Schwarzwald und über den „**Ostalpen-Weg**“ in das östliche Bayern

rückgewandert (LANGER, 1963). Die über das Allgäu eingewanderte Tanne zeichnet sich durch eine höhere genetische Diversität aus, als die über den Ostalpenweg ins östliche Bayern vorgestoßene. Während der bedeutend längeren Wanderwege nach Ost- und Nordostbayern war auch der Selektionsdruck, vor allem durch die dabei auftretende starke Konkurrenz der Buche (MAYER 1979) viel größer. Ein Verlust an genetischer Information war wahrscheinlich die Folge. Die viel geringeren Diversitätswerte in Nordostbayern ergeben sich aus den extremeren Häufigkeitsverteilungen der Genvarianten, (die Maße der Diversität basieren auf diesen Verteilungen), als Folge des selektiven Vorteils bestimmter Varianten.

Für den Schwarzwald und die angrenzenden Gebiete wird laut neuesten Erkenntnissen (KONNERT und BERGMANN, 1995) angenommen, daß neben der über das Schweizer Jura rückgewanderten genetischen Information auch ein Genfluß aus einem westlicheren, im französischen Zentralmassiv vermuteten Refugium stattgefunden hat, durch den u.a. auch die spezifische Variation am Genort MNR-B und die sich daraus ergebende höhere Diversität erklärt werden können.

Die Allelstrukturen der Tannenpopulationen aus dem Schwäbisch-Fränkischen Wald und - innerhalb Bayerns - in dem an diesen angrenzenden Mittelfranken deuten darauf hin, daß sich in diesem Raum westliche („Schweizer-Jura-Weg“) und östliche („Ostalpenweg“) Rückwanderungswege getroffen haben; die große genetische Heterogenität der Tannenpopulationen aus diesem Gebiet (KONNERT, 1994) und die auch heute noch feststellbare relativ hohe genetische Diversität der in ihrer Größe z.T. drastisch reduzierten Tannenvorkommen sprechen dafür.

Somit sind auch heute noch die genetischen Strukturen der Tannenpopulationen in Süddeutschland stark durch die aus den Rückzugsgebieten mitgebrachte genetische Information bzw. deren Veränderung während der Rückwanderung bestimmt, eine für den Waldbau wichtige Feststellung.

6. Schlußwort

Die Ergebnisse der genetischen Inventuren der Tannenpopulationen aus Süddeutschland wurden, unter anderem, z.T. bei der Neugliederung der Herkunftsgebiete (RAU et al. 1995) sowie bei der Ausarbeitung von Herkunftsempfehlungen berücksichtigt. So wird in Bayern empfohlen, für die Kunstverjüngung der Tanne in Schwaben vorrangig Saatgut aus Erntebeständen westlich der Isar zu verwenden, u.a. weil diese Bestände genetisch viel diverser sind als die aus Südostbayern.

Die vorgestellten Erkenntnisse können auch für die Wiedereinbringung bzw. genetische Anreicherung der Tanne in Sachsen, die in ihren Restvorkommen genetisch verarmt ist (LLAMAS, 1994, BRAUN und LLAMAS GOMEZ, 1994), Entscheidungshilfen bieten. So würde sich z.B. für das Erzgebirge die Einbringung von Vermehrungsgut aus Südostbayern (Alpen oder Bayerischer Wald) anbieten; die Tannen aus dieser Region sind nämlich, wie die Tannen aus dem Erzgebirge, auf dem „Ostalpenweg“ aus dem mittelitalienischen Refugium rückgewandert und

dürften deshalb eine ähnliche, aber eben noch viel weniger eingengte genetische Information enthalten. Vergleichende Untersuchungen von LLAMAS (1994) bestätigen die genetische Ähnlichkeit der Tannenpopulationen aus Ostbayern und dem Erzgebirge. Die Verwendung von Vermehrungsgut aus Nordostbayern erscheint wenig sinnvoll, da auch dort bereits von genetischer Einengung auszugehen ist.

7. Literaturverzeichnis

- BRAUN, H. u. LLAMAS GOMEZ, L. 1994. Die Tanne (*Abies alba* MILL.) in Sachsen. Proceed. 7. IUFRO Weißtannensymposium, Altensteig, (in Druck).
- HATTEMER, H.H., BERGMANN, F. u. ZIEHE, M.. Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.
- KÄLBLE, F. 1979. Die Tannenwirtschaft auf standörtlicher Grundlage in Baden-Württemberg. Forst- und Holzwirt 16, 343-354.
- KONNERT, M. 1992. Genetische Untersuchungen in geschädigten Weißtannenbeständen (*Abies alba* MILL.) Südwestdeutschlands. Mitteilungen der FVA Baden-Württemberg, 167, 120 S.
- KONNERT, M. 1993. Untersuchungen über die genetische Variation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Bayern. Allg.Forst- u.J.-Ztg., 164, 162-169.
- KONNERT, M. 1995. Isoenzymuntersuchungen bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Weißtanne (*Abies alba* MILL.). Anleitung zur Trennmethodik und Auswertung der Zymogramme. Hrsg.: Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Erhaltung forstlicher Genressourcen“, Selbstverlag Bayer. Landesanstalt f. forstl. Saat- u. Pflanzenzucht, Teisendorf.
- LANGER, H. 1963. Einwanderung und Ausbreitung der Weißtanne in Süddeutschland. Forstwiss. Cbl. 83, 33-52.
- LLAMAS, L. 1994. Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne in unterschiedlich emissionsbelasteten Regionen, unter besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben „Genökologie Tanne“ des Umweltbundesamtes, 82 S.
- MAYER, H. 1979. Zur waldbaulichen Behandlung der Tanne im mitteleuropäischen Bergwald. Forst- u. Holzwirt 16, 333-343.
- MEISTER, G. 1982. Die Tanne. In: Der Wald in Bayern. Hrsg. Bayerischer Forstverein. W.Ludwig Verlag Pfaffenhofen, S. 117 - 123.
- MÜLLER-STARCK, G. 1993. Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schriften aus der Forstl.Fakultät der Univ. Göttingen u.d. Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt. J.D.Sauerländer's Verlag, 163 S.
- MÜLLER-STARCK, G. u. GREGORIUS, H.R. 1986. Monitoring genetic variation in forest tree populations. Proceed. 18th IUFRO World Congress, Ljubljana. Vol.II, 589-599.
- RAU, H.M. u. BROCKHAUS, R. 1995. Neue Verordnung über Herkunftsgebiete für forstliches Vermehrungsgut. AFZ, 6.
- SCHROEDER, S. 1989. Die Weißtanne in Süddeutschland. Genetische Variation, Kline, Korrelationen. Allg.Forst-u.Jagdztg. 100, 100-104.
- SEITSCHKEK, O. 1978. Verbreitung und Bedeutung der Weißtanne in Bayern. AFZ 35, 975 - 978.
- SEITSCHKEK, O. 1990. Ergebnisse und Aufgaben eines naturnahen Waldbaues in Bayern. Schriftenreihe des Bayerischen Forstvereins, Heft 12, S. 11-31.
- WEIDENBACH, P. 1991. Waldbau und Forstpflanzenzüchtung in Baden-Württemberg. In: A. FRANKE (Hrsg.), Waldbau- Forstpflanzenzüchtung-Forstgenetik-Forderungen und Angebote. Bericht über die 20. Internationale Tagung der ArGe für Forstgenetik u. Forstpflanzenzüchtung, 25-27. Juni 1990, 3-25.

Anbau standortsfremder Weißtannen- Herkünfte in Sachsen am Beispiel eines Provenienzversuches

Martin Hartig

Institut für Waldbau und Forstschutz der Technischen Universität Dresden

1. Einleitung

Über die derzeitige Situation der Weißtanne in Sachsen wurde in den vorangegangenen Referaten bereits ausführlich berichtet. Es ergibt sich daraus der Schluß, daß in den Naturschutzgebieten, in denen noch Tanne vorkommt, die heimische Spezies nach Möglichkeit zu erhalten und unter Umständen genetisch aufzubessern ist. Wenn Tannen jedoch auch in den Wirtschaftswäldern wieder einen spürbaren Anteil einnehmen sollen, so ist dies nicht ohne Einbringung standortsfremden Materials denkbar. Damit entstehen die Fragen:

- Aus welchen Gebieten sind Herkünfte für den sächsischen Raum anbaueeignet?
- Wie verhalten sich standortsfremde Weißtannen im Vergleich zu heimischen Provenienzen?
- Wie hoch sind die Anbaurisiken und wie reagieren die Tannen auf die erhöhten SO₂ Belastungen?

Zur sicheren Abgrenzung der potentiellen Einzugsgebiete wären sehr aufwendige, langfristige Provenienzuntersuchungen notwendig. Die forstliche Praxis will und muß aber bereits jetzt handeln. Aus diesem Grund kann die aus Analogieschluß entstandene Festlegung der Landesforstverwaltung, nur Herkünfte aus dem östlichen Bayern einzuführen, zunächst akzeptiert werden. Deren Richtigkeit wird sich in den folgenden Jahren unter Beweis stellen.

2. Hinweise auf geeignete Herkunftsgebiete

Der starke Rückgang der Tanne in Sachsen führte bereits seit Beginn dieses Jahrhunderts zu gelegentlichen Saatgutimporten, die in der Regel aus dem Schwarzwald, dem Bayerischen Wald oder Oberfranken stammten (vgl. LLAMAS, 1994). Wie sich in jüngeren Anbauten gezeigt hat, scheinen auch Tannen aus weiter östlich gelegenen Regionen für Sachsen von Bedeutung zu sein. Ähnlichkeiten der genetischen Strukturen und der ökologischen Varianz dieser Herkünfte lassen sich aus dem postglazialen Rückwanderungsweg erklären. Das gute Gedeihen östlicher Tannen belegen einige bereits in der Vorratspflegeära begonnene und zum Teil noch bis in die 60iger Jahre weitergeführte Anbauten. In dieser Zeit wurde viel Mühe darauf verwandt, einen gewissen Anteil von Tanne über Kunstverjüngungen zu erhalten. Das Ergebnis ist heute zumindest noch an der höheren Zahl an Tannen in der II. Altersklasse erkennbar. Die damals getätigten Saatgutimporte beschränkten sich nicht nur auf traditionelle Gebiete Süddeutschlands, sondern umfaßten,- wahrscheinlich auch bedingt durch Devisenmangel-, Herkünfte aus Rumänien und

der Slowakei. Wenn nicht durch Wild beeinträchtigt, machen viele dieser Jungbestände heute einen hoffnungsvollen Eindruck. Es wäre von Interesse, solche Objekte genauer zu analysieren, um Zusammenhänge zwischen Herkunft, Wachstum und Vitalität abzuleiten. Damit sind Provenienzversuche natürlich nicht ersetzbar. Man könnte aber Zeit sparen und auf diese Weise Erkenntnisse aus Versuchen untermauern.

Mit der Wiedereinführung der Kahlschlagwirtschaft und der Hinwendung zu „industriemäßigen Produktionsmethoden“ ging das Interesse an der Weißtanne sichtlich zurück. Von 1975 - 1981 wurden nach Unterlagen der Staatsdarre Flöha (VOIGT, 1994) noch 70 kg Tannensaatgut in Sachsen eingeführt. Davon stammte über die Hälfte aus dem Schwarzwald und ein Teil war sogar ohne jedes Herkunftszertifikat. Der heutige Flächenanteil aus dieser Periode ist sehr gering. Von 1981 - 89 wurde dann kein Tannensaatgut mehr importiert. In ganz geringem Umfang kam es durch engagierte Praktiker noch zur vereinzelt Nachzucht heimischer Tanne.

Angesichts des schon seit Jahrzehnten andauernden „Tannensterbens“ und der verheerenden Immissionsschäden im Erzgebirge, wurden der Weißtanne immer weniger Überlebenschancen eingeräumt. Zum anderen führte diese Baumart auf Grund ihrer Seltenheit und ihrer schwierigen Einpassung in die Fichtenreinbestandswirtschaft ohnedies ein Schattendasein. Es war zu verspüren, daß einigen Praktikern bereits das Gefühl für den Umgang mit dieser, in unserem Klima sehr sensiblen Baumart, verloren gegangen war. Diese Entwicklung konnte auch nicht mit dem Schutz der wenigen Restvorkommen aufgehalten werden. Ebenso brachten Versuche zur Substitution von *Abies alba* durch andere Spezies der Gattung *Abies* kein positives Ergebnis. Die waldbaulichen Vorzüge der Weißtanne sind durch andere Arten einfach nicht kompensierbar.

3. Vorgeschichte des Provenienz- Versuches von 1982

Die Erhaltung der Tanne in Sachsen ist heute nur über Einbringung fremden Materials praxisrelevant. Im Vergleich zu anderen Baumarten gibt es aber bei der Tanne bisher wenige Provenienzversuche. Diesem Umstand Rechnung tragend, nahm sich bereits Mitte der 60iger Jahre der Gründer der IUFRO- Weißtannengruppe, Prof. Hannes MAYER (Wien), der Provenienzforschung an. Er initiierte mit mehreren Versuchsanstellern einen Versuch, durch den die genetische Variabilität der Tanne in ihrem Areal näher aufgeklärt werden sollte. In die Saatgutbeschaffung war auch das damalige Tharandter Waldbauinstitut einbezogen. Im Austausch für sächsisches und thüringisches Tannensaatgut erhielt das Institut fünf Proben von mittel- und südosteuropäischen Herkünften. Aus diesen Absaaten haben sich allerdings nur zwei polnische Provenienzen bewährt. Durch hohe Vitalität überzeugen die Tannen aus der Lysa Gora, heute 20jährig, im Forstamt Moritzburg. Aufbauend auf Erkenntnisse aus dem insgesamt nicht befriedigenden Versuch von 1967, erfolgte 1982 ein erneuter Anlauf zu einem internationalen Tannenversuch. Zu diesem Zeitpunkt konnte aus der damaligen DDR schon kein Saatgut mehr bereitgestellt werden. Persönliche Kontakte zwischen FD W. KRAMER (damaliger Leiter der IUFRO- Weißtannen-

gruppe) und Prof. THOMASIUS (Ordinarius für Waldbau) brachten es aber zu Wege, daß das Tharandter Waldbauinstitut mit 11 kleinen Saatgutproben aus dem verfügbaren Potential des Forstamtes Syke bedacht wurde. Verbindungen zu slowakischen und polnischen Kollegen ermöglichten 1983 die Ergänzung um 5 weitere Herkunftsgebiete. Es gelang auch noch zu Beginn der Versuchsanlage eine begrenzte Menge heimischen Pflanzenmaterials (Herkunft Eibenstock) als Vergleich einzufügen. Die Umstände und Probleme der damaligen Zeit, die bei dieser Aktion entstanden, sollen hier nicht näher erwähnt werden. Das vorhandene Herkunftsspektrum wird am Beispiel der Arealkarte (Abbildung 1) ersichtlich.

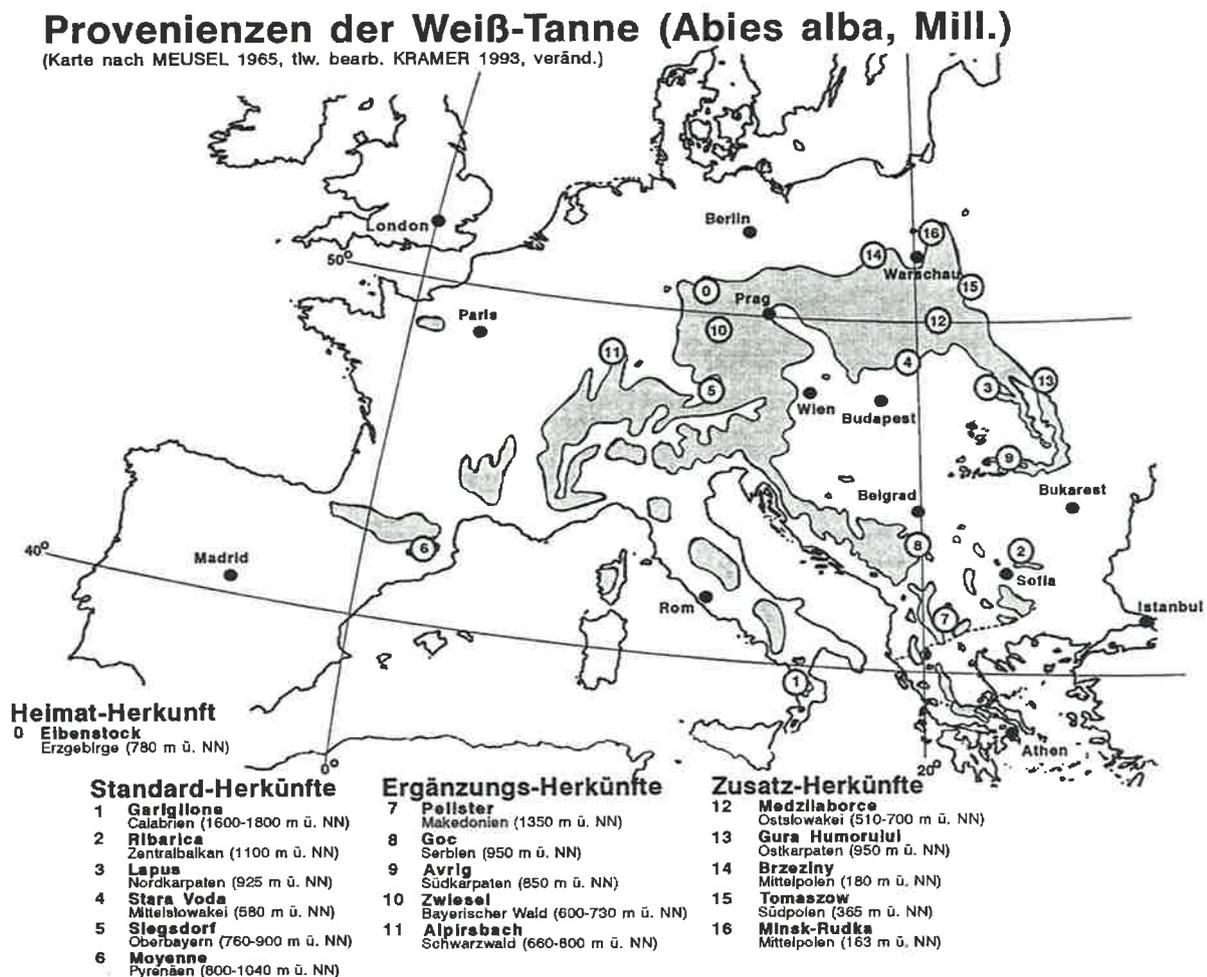


Abb. 1: Herkunft der Weißtannenprovenienzen des Versuches

4. Versuchsbeginn

Nun galt es, aus diesem wertvollen Saatgut das Beste zu machen. Eigene Erfahrungen im Umgang mit empfindlichen Sämereien gaben zur Wahl einer möglichst sicheren Methode der Sämlingsanzucht Anlaß. Dies bot sich mit dem vom Institut auf dem Versuchsgelände in Tharandt betriebenen Nadelstreubeet (DUNNEMANN- VERFAHREN) an (vgl. HARTIG, 1989). Die Aussaatergebnisse belegen die Zweckmäßigkeit des Verfahrens zur Anzucht von Weißtannen.

So konnte bei den Standardherkünften, bezogen auf den Vollkornanteil, im ersten Jahr (1982) ein Sämlingsprozent von 27 und bei den Ergänzungsherkünften sogar von 32 erzielt werden. Für die Zusatzherkünfte 1983 waren auf Grund der kurzfristigen Anlieferung (Ende April) keine Saatgutuntersuchungen erfolgt (vgl. Tabelle 1).

Tab. 1: Saatgutmengen und Sämlingsprozent zu Versuchsbeginn

	Herkunft	Saatgutmenge [g]	Sämlinge 1/0 in % vom Vollkornanteil
Aussaat 1982	1 GARIGLIONE	380	31
	2 RIBARICA	340	28
	3 LAPUS	480	19
	4 STARA VODA	540	27
	5 SIEGSDORF	800	38
	6 MOYENNE	320	18
	Σ/x	2860	27
	7 PELISTER	440	25
	8 GOC	560	39
	9 AVRIG	680	39
	10 ZWIESEL	300	31
	11 ALPIRSBACH	320	28
Σ/x	2300	32	
Aussaat 1983	12 MEDZILABORCE	1000	ohne Saatgut Unter- suchung
	13 GURA HUMORULUI	500	
	14 BREZINY	920	
	15 TOMASZOW	950	
	16 MINSK/ RUDKA	1200	
	Σ/x	4570	
Gesamtsumme		9730	

Bei den Provenienzen 1 - 11 reduzierte sich die anfängliche Keimlingsquote (Auflaufprozent) von durchschnittlich 35 % auf Sämlingsprozent um 30 % im 1. Jahr, sowie 27 im 2. Jahr bzw. 15 im 3. Jahr. Die hohen Verluste im 3. Sämlingsjahr resultieren aus Barfrostschäden (-20°C) im strengen Winter 1984. Sehr empfindlich reagierten mit Ausfällen von über 60 % die Herkünfte Moyenne (6), Goc (8), sowie Tomaszow (15) und Zwiesel (10). Dagegen hatten die Provenienzen aus Stara Voda (4), Medzilaborce (12) und Minsk/Rudka (16) nur zwischen 20-30 % letale Schädigungen.

Im Höhenwachstum waren die Differenzierungen weit geringer (Abbildung 2). Es fällt ein Vorsprung der südlichen Herkünfte auf. Markanter ist aber, daß die 2/0 Sämlinge der Zusatzherkünfte aus Polen, der Slowakei und Rumänien den gleichalten Nachkommenschaften der Standard- und Ergänzungsherkünfte überlegen sind.

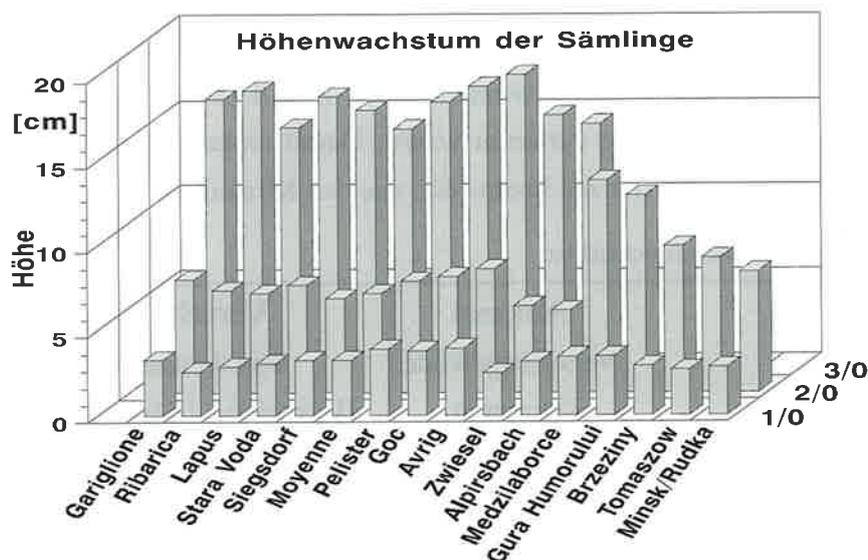


Abb. 2: Höhenwachstum der Sämlinge in den ersten drei Jahren

Am Beispiel des Austriebverhaltens im Frühjahr 1984 sind Zusammenhänge zwischen der geographischen Breite und der jeweiligen Höhenlage zu erkennen (Abbildung 3). Eine der heimischen Herkunft Eibenstock ähnliche Phänologie zeigen die Provenienzen aus etwa gleicher geographischer Breite (48- 52° n. Breite). Weiter südlich setzt der Austrieb früher ein, wobei die südlichsten aus den Hochlagen (1700 m ü. NN) stammenden Tannen (Gariglione) unter unseren Verhältnissen erst sehr spät mit dem Wachstum beginnen.

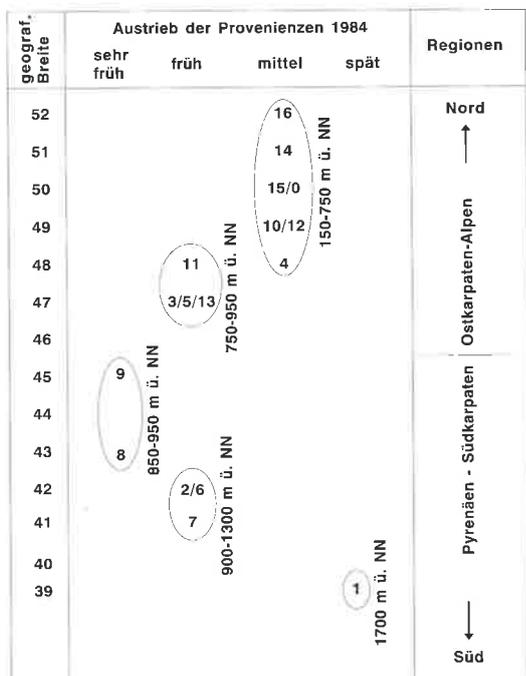


Abb. 3: Abhängigkeit des Austriebsverhaltens von der geographischen Breite und Höhe über dem Meeresspiegel

Ursprünglich sollte der Provenienzversuch im mittleren Erzgebirge in einer Höhenlage von 650-800 m ü. NN angelegt werden. Zur Minderung der Risiken und der besseren Adaption an den späteren Anbauorten erschien es angebracht, die Verschulung der Sämlinge unter etwa ähnlichen Klimabedingungen vorzunehmen. Dazu wurden die Sämlinge auf die Forstbaumschulen Beerheide und Hammerunterwiesenthal aufgeteilt. Die Trennung erfolgte so, daß die Standard-

und Zusatz- Herkünfte in Hammerunterwiesenthal und die Ergänzungsherkünfte in Beerheide zur Verschulung gelangten, wobei die Provenienzen (1, 4, 12, 13 und 16) mit größeren Sämlingsmengen in beiden Anzuchtstätten vertreten waren. Damit einhergehende Veränderungen der Umweltbedingungen für die Pflanzen lassen sich aus den Klimadaten in Tabelle 2 erkennen.

Tab. 2: Klimadaten der Pflanzenanzuchtstätten

	Aussaat	Verschulung	
	Versuchsgelände Tharandt	Forstbaumschule Beerheide Hammerunterwiesenthal	
Höhenlage	260 m ü. NN	690 m ü. NN	840 m ü. NN
Jahresdurchschnittstemperatur	7,8°C	5,9°C	5,0°C
Jahresniederschlagssumme	746 mm	940 mm	1000 mm

Hierzu ist noch zu bemerken, daß gerade in den Verschulungszeitraum die strengen Winter 1986/87 und 1987/88 mit Minimalwerten unter -25°C fielen. Damit lassen sich auch die hohen Pflanzenausfälle (Tabelle 3) in Beerheide (34 %) und Hammerunterwiesenthal (48 %) erklären.

Die Höhendifferenzierung wurde in diesem Stadium stark durch den Pflanzschock nach dem Verschulen sowie Frostschäden nivelliert. Die ein Jahr jüngeren Zusatzherkünfte (12- 16) haben fast aufgeschlossen. Aus diesen Gründen erscheint es zulässig, spätere Vergleiche zwischen den Provenienzen auf der Basis des Kulturalters vorzunehmen.

Tab. 3: Wachstum und Pflanzenverluste während der Verschulung

Provenienz	Forstbaumschule Beerheide Herbst 1984 - Frühjahr 1987				Forstbaumschule Hammerunterwiesenthal Frühjahr 1985 - Frühjahr 1988			
	Verschulung	Ausfall	Höhe 1986	Alter	Verschulung	Ausfall	Höhe 1987	Alter
	[Stck.]	[%]	[cm]		[Stck.]	[%]	[cm]	
1 Gariglione	400	59	17,06	3/ 2	440	90		3/ 3
2 Ribarica					640	38	20,3	3/ 3
3 Lapus					400	40	21,7	3/ 3
4 Stara Voda	390	68	18,44	3/ 2	450	43	20,0	3/ 3
5 Siegsdorf					780	44	23,5	3/ 3
6 Moyenne					260	48	21,2	3/ 3
7 Pelister	190	55	21,08	3/ 2				
8 Goc	180	65	22,36	3/ 2				
9 Avrig	400	42	25,52	3/ 2				
10 Zwiesel	170	55	19,22	3/ 2				
11 Alpirsbach	470	28	21,44	3/ 2				
12 Medzilaborce	1760	14	18,04	2/ 2	1600	48	18,7	2/ 3
13 Gura Humorului	340	33	19,28	2/ 2	1100	46	19,2	2/ 3
14 Breziny					660	41	20,8	2/ 3
15 Tomaszow					750	39	19,6	2/ 3
16 Minsk/ Rudka	860	23		2/ 2	1240	54	19,9	2/ 3
Σ	6640				8320			
x		34	20,3			48	20,4	2/ 3

5. Anlage der Versuchsflächen

Die Ausweitung der SO₂ Schäden und das Auftreten neuartiger Waldschäden im Erzgebirge zwangen 1987 nochmals zum Überdenken der Standortwahl für den Versuch. Um das Anbaurisiko zu mindern, wurden folgende Prämissen gesetzt:

- Verteilung des Materials auf zwei Flächen, analog zur Verschulung
- Anlage außerhalb starker Immissionsschadgebiete (RSZ I und II)
- Meidung von Rotwildeinstandsgebieten
- Standorte mittlerer Trophie in den unteren bis mittleren Lagen des Erzgebirges
- Anlage unter Fichtenschirm (praxisrelevant)
- Bevorzugte Ausnutzung von durchbrochenen Beständen (Naßschnee 1980 und 1986)
- Zaunschutz
- Zuverlässige Praxispartner

Unter diesen Vorgaben erfolgte 1987 und 1988 in den Revieren Eich und Greifensteine die Versuchsanlage. Eine Charakteristik der Versuchsflächen wird in Tabelle 4 gegeben. Der Standort Greifensteine repräsentiert in etwa die Verhältnisse des mittleren Erzgebirges. Die Situation in Eich entspricht fast der unteren Verbreitungsgrenze der Tanne im submontan- collinen Bereich.

Auf Grund der sehr unterschiedlichen Pflanzenmengen und zu erwartender hoher Pflanzenausfälle wurde bei der Versuchsanlage auf größere Parzellen orientiert. Dabei spielte natürlich auch die Ungewissheit eine Rolle, wann überhaupt wieder ein solches Unternehmen möglich sein könnte. Dem Rechnung tragend, mußte auf vollständige Wiederholungen, wie auch auf vollständige Diagonalvergleiche zwischen beiden Flächen verzichtet werden. Dies beeinträchtigt zwar die statistische Auswertbarkeit, gibt aber die Gewähr, daß bei allen Unwägbarkeiten zumindest von den geeigneten Provenienzen später noch verwertbare Flächen zur Verfügung stehen werden.

Tabb. 4: Charakteristik der Versuchsflächen

Merkmale	Versuchsfläche Eich	Versuchsfläche Greifensteine
1. Standortsangaben		
Höhe ü. NN [m]	480	660
Jahresmitteltemperatur [°C]	7,6	6,7
Jahresniederschlag [mm]	665	880
Grundgestein	Phyllit	Phyllit
Bodentyp	Pods. Braunerde	Braunerde
Standortsformengruppe	Uf - M2	Mf - M2
2. natürl. Waldgesellschaft	Luzulo- Fagetum/ Melampyro- Fag.	Luzulo- Fagetum
3. Schirmbestand bei Anlage des Versuches		
Baumart	Kiefer/Fichte	Fichte
Alter [a]	36	42
Mittelhöhe [m]	11,6	14
Mitteldurchmesser [cm]	16	15
Bonität	II	II
Vorrat [m+/ha]	86	100
Bestockungsgrad (nach Beräumung vom Schneebruch 1980 und 1986)	~ 0,4	~0,5
4. Bestockungsgrad 1993	0,46	0,54

6. Erste Ergebnisse aus dem Kulturstadium

Allgemein können die Kulturen nach 5- 6 Jahren als gesichert gelten. Die verbliebenen Versuchspflanzen sind nach 6 Kulturjahren vital und normalwüchsig. Es hat keine der Provenienzen total versagt. Die Differenzierung zwischen den Herkünften vollzieht sich nun zunehmend im Höhenwachstum (Abbildung 4). Im Mittel aller Provenienzen, wie auch bei Vergleichen innerhalb der Provenienzen, zeigt sich, daß das Wachstum auf der Versuchsfläche Greifensteine etwas besser ist als in Eich. Die heimischen Tannen aus dem Erzgebirge (Eibenstock) liegen in beiden Versuchen unter dem Flächenmittelwert aus allen Provenienzen. Auffallend ist das Zurückbleiben der Tannen vom Südrand des Areals (Calabrien, Makedonien). Nach dem bisherigen Höhenwachstum befinden sich die Tannen aus dem Schwarzwald (Alpirsbach), Oberbayern (Siegtsdorf), Mittelpolen (Minsk und Brzeziny) und den Karpaten (Avrig, Lapus, Ribarica) an der Spitze. Die slowakischen Herkünfte (Stara Voda und Medzilaborce) ähneln stärker der sächsischen Tanne. Unerwartet war das Zurückbleiben der weitläufig bekannten Herkunft Zwiesel (Bayrischer Wald).

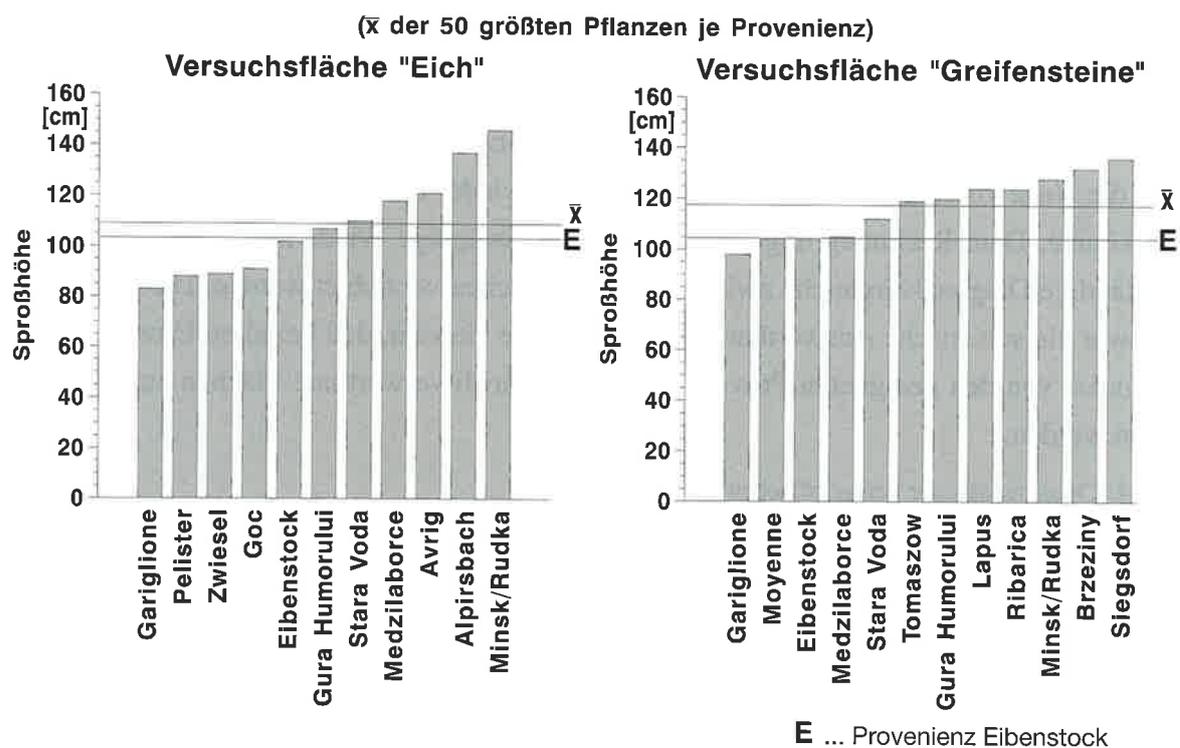


Abb.4 : Mittlere Sproßhöhen der Weißtannen im 6. Kulturjahr

Die Pflanzenverluste blieben bisher auf beiden Flächen weit unter der erwarteten Quote (Eich 1,7 %; Greifensteine 3,0 %). Auch unter Schirm erwiesen sich als stärker frostempfindlich die Herkünfte aus Calabrien (1), den Pyrenäen (6) und Makedonien (7). Insgesamt muß zum Kulturstadium bemerkt werden, daß es in den letzten Jahren keine strengen Winter mehr gab und dadurch der Selektionsfaktor Frost kaum wirksam werden konnte. Am Beispiel der Herkunft 4 (Stara Voda), die auf beiden Flächen in etwa den Durchschnitt repräsentiert, sei noch auf ein Problem hingewiesen (Abbildung 5).

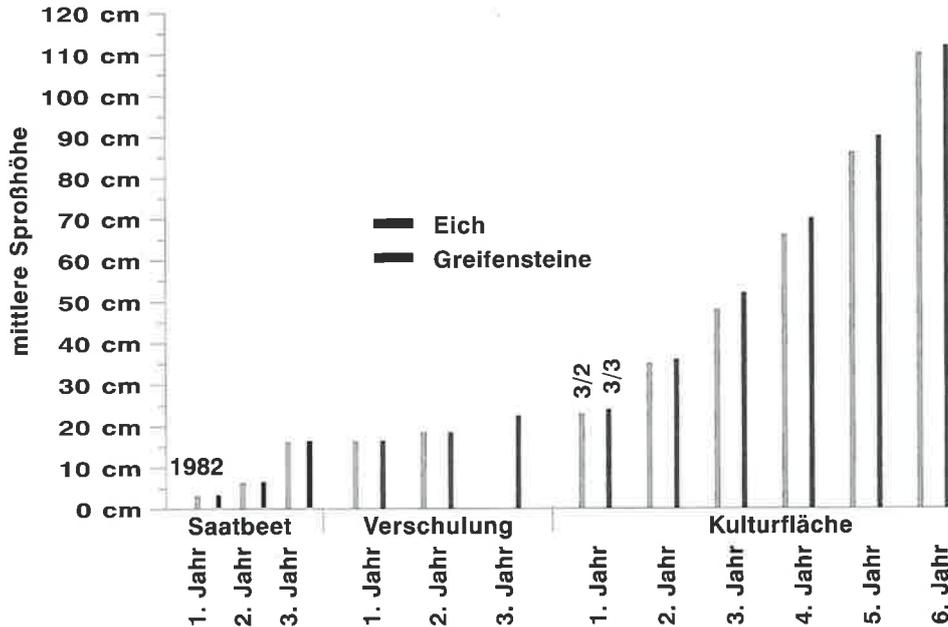


Abb. 5: Höhenentwicklung der Provenienz 4 (Stara Voda)

Bei annähernd gleicher Ausgangssituation verlief das Höhenwachstum auf der Versuchsfläche Greifensteine etwas besser als in Eich. Auffallend ist in beiden Fällen das nur sehr geringe Wachstum während der Verschulphase (Adaption) und der bis zum 2. Kulturjahr andauernde Pflanzschock. Es scheint darum angeraten, bei Verschulung und Auspflanzung von Tannen besonders sorgsam umzugehen, um Wachstumsdepressionen so gering wie möglich zu halten. In solcher Situation können Wildverbiß oder Frostschäden das Wachstum von Tannenkulturen nachhaltig beeinträchtigen. Für den Verlust des Terminaltriebes bedarf es bei Tannen 2-4 Jahre der Kompensation.

7. Erste Schlußfolgerungen

Auf Grund der geringen Beobachtungsdauer können nur sehr vorsichtige Schlüsse gezogen werden. Es deuten sich Tendenzen an, Verallgemeinerungen wären aber verfrüht! Es ist zu erwarten, daß in nächster Zeit, bei Zusammenfassung der Daten aus allen Versuchen, ökologische Zusammenhänge besser sichtbar werden. Diese Ergebnisse sollten dann auch als Grundlage für neue und noch speziellere Provenienzversuche dienen. Aus dem vorgestellten Versuch lassen sich bis jetzt für den Anbau unter Schirm ableiten:

* Erkenntnisse aus dem Kulturstadium

- Wachstum und Vitalität der Jungtannen zeigen unabhängig von der Provenienz, daß der Tannenbau im Erzgebirge nicht hoffnungslos ist.
- Bei der Anzucht sollte besondere Sorgfalt walten, da die Keimprozentage oft niedrig und die Sämlinge sehr empfindlich sind.

- Gleiches gilt auch für die Verschulphase, wo die Tannen oft am stärksten den Frösten ausgesetzt sind.
- Tannen reagieren empfindlich auf Verpflanzung, die dadurch hervorgerufenen Wachstumsdepressionen können mehrere Jahre andauern.
- Eine Akklimatisation während der Anzucht kann die Ausfälle in den Kulturen senken.
- Der Anbau unter Schirm sichert durch Abschwächung von Witterungsextremen gutes Wachstum.
- Neben Spät- und Barfrösten drohen der Tanne vor allem Gefahren durch Wildverbiß, Zaunschutz ist z.Z. noch unabdingbar.
- Reaktionen auf Immisionseinflüsse waren bisher nicht feststellbar.

* Vorläufige Einschätzung zur Eignung der Herkünfte

- Alle geprüften Herkünfte fanden in unserem Klima ausreichende Existenzmöglichkeiten, Witterungsextreme reduzieren selektiv die empfindlichsten Individuen.
- Die heimische Herkunft Eibenstock ist vital, im Höhenwachstum erreicht sie aber nur das Mittelfeld aller Provenienzen. Etwa ebenso verhielten sich die slowakischen Tannen.
- Hinsichtlich Wachstum und Stabilität scheinen die aus kontinentalerem Klima stammenden polnischen Herkünfte gut für das Erzgebirge geeignet zu sein.
- Die dem Anbauort am nächsten gelegene Herkunft Zwiesel (Bayerischer Wald) zeigte nicht die erwartete Überlegenheit (ähnliche Ergebnisse auch in anderen Versuchen!).
- Die Provenienzen Siegsdorf (Oberbayern) und Alpirsbach (Schwarzwald) gehören entsprechend ihres Jugendwachstums z.Z. zur Spitzengruppe.
- Insgesamt zeigen die Provenienzen aus Gebieten nördlich der Alpen und aus den von den Karpaten bis nach Sachsen reichenden Mittelgebirgszügen bessere Ergebnisse, als südliche oder westliche Provenienzen.
- Schlüssige Aussagen zur Anbaueignung der Provenienzen dürften frühestens in 15- 20 Jahren möglich sein.

8. Literaturverzeichnis

- HARTIG, M., 1989. Fünfzig Jahre DUNNEMANN- Verfahren - eine sichere Methode zur Anzucht von Sämlingen, Beitr. z. Gehölkunde , S. 44- 50
- LLAMAS, L., 1994. Schädigungsgrad und genetische Struktur der Weißtanne (*Abies alba* MILL.) in Sachsen ; Vortrag VII. Weißtannensymposium Altensteig (im Druck)
- VOIGT, F. , 1994. pers. Mitteilung

Verjüngungs- und Pflegeverfahren für die Tanne in Bayern am Beispiel des Bayerischen Waldes

Maximilian Waldherr
Bayerische Oberforstdirektion Regensburg

Entwicklung der Tannenanteile

Die Entwicklung der Tannenanteile in Bayern zeigt einen dramatischen Verlauf. Durch eine Untersuchung von Felix SCHNEIDER unter der Regie von Karl GAYER aus dem Jahr 1906 können wir für den Bayerischen Staatswald die Entwicklung der Baumartenanteile über nahezu zwei Jahrhunderte relativ gut verfolgen. Anfang des Jahrhunderts hatte die Tanne über alle Wuchsgebiete hinweg eine Baumartenfläche von rund 28.000 ha und einen Anteil von 4 %. Die über 100j. Bestände hingegen wiesen Tannenanteile von 6 % auf. Rechnet man deren Anteil auf die Gesamtfläche um, so kann man um 1800, also zu Beginn der „geregelten“ Forstwirtschaft, auf eine Baumartenfläche von etwa 40.000 ha schließen.

Im Jahre 1970 fand im bayerischen Gesamtwald eine Großrauminventur statt. Sie erbrachte eine Baumartenfläche der Tanne im Staatswald von rund 17.000 ha. Nach der Bundeswaldinventur von 1986/1990 ist dieser Anteil innerhalb von 20 Jahren um mehr als 20 % auf 13.500 ha zurückgegangen. Insgesamt kann man davon ausgehen, daß sich die Baumartenfläche in den letzten zwei Jahrhunderten in Bayern im Staatswald um 2/3 vermindert hat und nunmehr 2 % beträgt.

Einen kleinen Hoffnungsschimmer in der Entwicklung bieten die Tannenanteile der ersten Altersklasse und der Vorausverjüngungen. Im Vergleich zur 2. und 3. Altersklasse sind sie besser ausgestattet und deuten einen leichten Anstieg der Tannenanteile an. Wir versuchen, aus dieser Trendwende Hoffnung zu schöpfen.

Der dramatische Rückgang der Tannenanteile in den vergangenen zwei Jahrhunderten zeigt, daß die Tannenbeteiligung über die waldbauliche Bedeutung der Baumart hinaus eine Frage des Artenschutzes geworden ist. Die Tanne ist ein tragendes Glied der Bergmischwälder, der collinen Buchen-Tannen- und der Eichen-Tannen-Wälder. Nicht nur die Art ist rückgängig und bedroht, auch die bedeutendsten Waldgesellschaften der Alpen, der ostbayerischen Mittelgebirgs- und Hügellandschaften haben in weitem Umfang ein wichtiges, die Dynamik wesentlich beeinflussendes Glied verloren und verändern sich ungünstig.

Vorkommen der Tanne in Bayern

Die Kartierung von SCHÖNFELDER und BRESINSKY zeigt das aktuelle Areal in Bayern (siehe Abbildung). In Südbayern ist das Vorkommen breit ausgedehnt, nur die weiten Ebenen der Flußtäler werden gemieden. Im ostbayerischen Raum vermag die Tanne die kontinental

getönten Bereiche des Oberpfälzer Beckens, des Bayerischen Vogtlandes und des Waldsassener Schiefergebietes nicht zu besiedeln. Im trocken-warmen Nordwestbayern fehlt sie; die wenigen Inseln des Vorkommens sind hier künstlich begründet.

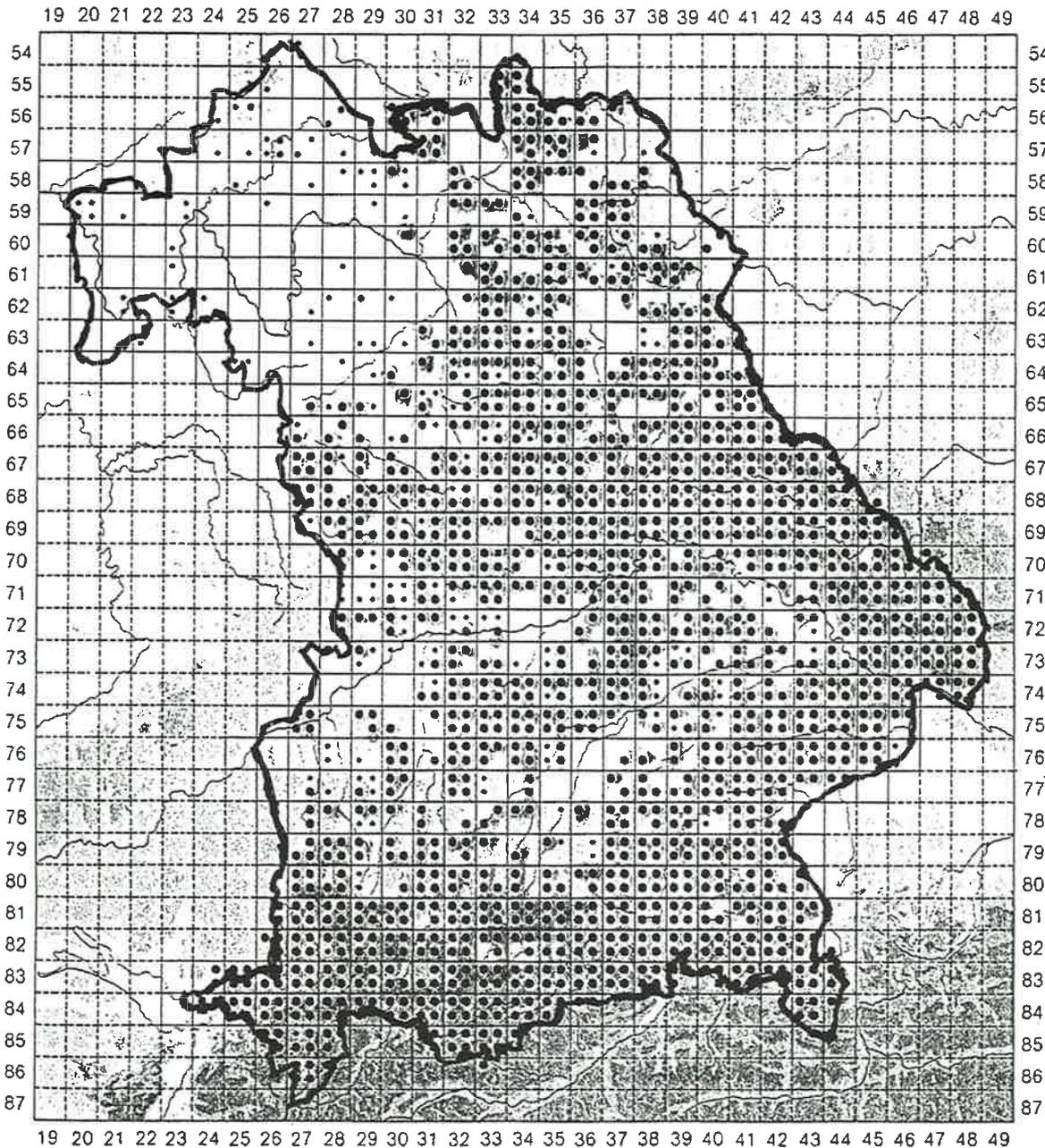


Abb. 1: Vorkommen der Tanne in Bayern (nach SCHÖNFELDER und BRESINSKY)

Den größten Anteil hat die Tanne in den montanen und submontanen Waldgesellschaften der Bayerischen Alpen und der Ostbayerischen Mittelgebirge (Bayerischer Wald, Oberpfälzer Wald, Fichtelgebirge und Frankenwald). Namhafte Anteile weisen die submontanen und collinen Buchenwälder des Alpenvorlandes und des Jura auf; in den collinen Buchen- und Eichenwaldgesellschaften des Schwäbisch-Bayerischen Hügellandes und des Keuperberglandes finden wir örtlich bedeutsame Tannenbeimischungen. In die planaren Hainbuchen-Stieleichenwälder der Flußebenen dringt sie nicht vor.

Soziologische Besonderheiten

Ihr soziologisches Optimum findet die Tanne in der montanen Stufe. Sie ist eine Charakterart des Bergmischwaldes. In der submontanen Stufe gewinnt die Buche an Dominanz. Gleichwohl bleibt die Tanne auch hier ein zentrales Glied der natürlichen Waldgesellschaften. In der collinen Stufe tritt zur führenden Buche neben der Tanne die Eiche. Hier überschneiden sich die Areale dieser Baumarten. Auf Standorten mit ungünstigen edaphischen Verhältnissen für die Buche wird die Eiche zur führenden Art in der Waldgesellschaft. Die Tanne ist in diesen Stieleichen-Hainbuchen-Wäldern beteiligt; ausgeprägte Tannen-Eichen-Wälder sind aber in unserem Raum eine Rarität.

Bezeichnend ist, daß die Tanne in unseren Naturwaldresten nirgends reinbestandsartig vorkommt. Sie ist ausgesprochen gesellschaftsliebend und braucht immer mindestens eine Mischbaumart. Ihr Anteil geht selten über 30 - 40 % der Schirmfläche hinaus. Inwieweit hier bereits wieder menschliche Einflüsse vermutet werden müssen, steht nicht genau fest. Selten weisen die Pflanzensoziologen der Tanne eine gesellschaftsführende Dominanz zu. In unserem Raum trifft man die Tanne vorwiegend in Wäldern, deren Dynamik von der Buche bestimmt ist. Nur in den tiefmontanen Fichten-Tannen-Wäldern, in denen die Buche fehlt, führt sie.

Im übrigen habe ich den Eindruck, daß es hinsichtlich der Gesellschaftsbedürftigkeit Unterschiede zwischen der Osttanne unseres Raumes und Westtanne gibt. Unsere Osttanne ist nach meinen Beobachtungen stärker auf Mischung angewiesen als die Westtanne, bei der man beobachten kann, daß sie bei entsprechend stufigem Bestandsgefüge auch gelegentlich mit sich selbst gut zurecht kommt.

Optimale Wuchsbedingungen findet die Tanne in laubholzreichen Waldgesellschaften, in denen sie gegenüber ihren Konkurrenten den Vorteil einer längeren Vegetationszeit genießt, vermag sie doch vor Laubausbruch und auch an warmen Tagen nach der Laubverfärbung noch zu assimilieren und Reservestoffe zu produzieren. Gegenüber der Fichte hat sie hingegen wegen ihrer Nadel- und Zweigstellung Nachteile in der Ausnutzung des vollen Lichtes, dafür kommt sie mit dem diffusen Licht des Bestandsschattens häufig besser zurecht.

Waldbauliche Beteiligung der Tanne

In Bayern gibt es aus dem Jahr 1984 einen Beschluß des Bayer. Landtags, der die Staatsforstverwaltung beauftragt, die vorhandenen Bergmischwälder in ihrer Dynamik zu erhalten und ggf. wiederherzustellen. Ein Landtagsbeschluß aus dem Jahre 1985 verpflichtet uns, die höchstmögliche ökologische Stabilität als das oberste Ziel forstwirtschaftlichen Handelns im Staatswald zu sehen und Methoden des möglichst naturnahen Waldbaus anzuwenden. Von den Bestimmungen des Waldgesetzes ist uns vorgegeben, standortgerechten Waldbau zu betreiben.

Alle diese Vorgaben sind nur erreichbar, wenn wir die waldbaulichen Ziele eng an die natürlichen Waldgesellschaften anpassen und bei Eingriffen die Dynamik des Geschehens berücksichtigen, wie sie im Wald von Natur aus ablaufen würde. Daraus ergibt sich die Erhaltung, vorrangig aber die Wiederherstellung der tannenbestimmten Waldgesellschaften.

Für unsere Bestockungs- und Verjüngungsziele leiten wir hieraus folgendes ab:

- Grundsätzlich ist die Tanne auf allen Standorten zu beteiligen wo sie ursprünglich vertreten war.
- Die Tannenanteile in den Altbeständen sollen in der Verjüngung mindestens erreicht werden und zwar möglichst durch Naturverjüngung.
- Bringen wir die Tanne in entmischten Beständen wieder ein, planen wir Anteile zwischen 10 und 30 %. Neben der standörtlichen Ausgangslage ist zu berücksichtigen, ob gezäunt werden muß oder nicht. Erfolgt die Investition eines Zaunes, schrauben wir unsere Tannenanteile an die obere Grenze.
- In der Art der Einbringung bevorzugen wir die truppweise Pflanzung. Sie hat sich besser bewährt, als die weitständige einzelne Einbringung, die bezüglich der späteren Verteilung an sich recht wünschenswert wäre. Meist bleibt nämlich bei der Einzelpflanzung weniger übrig als bei der truppweisen Beteiligung. Die gruppenweise Beimischung wurde früher sehr häufig gewählt. Sie schafft auf kleiner Fläche begrenzten Reinbestandscharakter und behagt der Tanne nicht. In den Spitzenjahren des Tannensterbens haben gerade die Tannengruppen die größten Ausfälle erlitten; einzeln beigemischte Tannen haben die Krise eher überstanden.
- In Abständen von 15 - 20 m werden Tannentrupps mit 10 - 15 (nicht mehr als 25) Pflanzen im lockeren Verband von etwa 2,5 m eingebracht. Die Auswahl der Pflanzorte erfolgt nicht schematisch, sondern möglichst in Lichtschächten, in denen sanfte Begrünung die Bodenumsetzung andeutet. Pflanzung in Stockachseln hat sich gut bewährt.
- Bei der Auswahl der Pflanzorte achten wir darauf, daß sich die Tannen möglichst lange im Stufenschluß entwickeln können. Sind einige brauchbare nebenständige Bestandsglieder im Altbestand vorhanden, ist der Pflanzort ideal, weil wir diese bei der Nachlichtung über den Tannen belassen können.
- Wo immer möglich sind Tannenverjüngungen mit Laubholz zu vergesellschaften. Dies geschieht zum einen durch ein trupp- und gruppenweises Mosaik später hauptständiger Buchenelemente, daneben aber auch durch Einbringung eines weitständigen Nebenbestandes in die Tannentrupps (etwa die halbe Pflanzenzahl der Tannen).

Dank ihrer hohen Wurzelenergie vermag die Tanne Beständen auf dichtgelagerten Böden ein stabiles Gerüst zu geben. Hangleye und dichtgelagerte Fließerden wurden im Bayer. Wald als „Tannen-Zwangsstandorte“ bezeichnet. Auf diesen wollte man den Tannenanteil „erzwingen“, bei gleichzeitiger Neigung, auf stabilen Braunerden ggf. auf die Tanne zu verzichten. Heute sind

wir der Ansicht, daß wir den Schwerpunkt der Tanneneinbringung dort setzen müssen, wo sie optimale Wuchsbedingungen findet - das sind gerade die Lockerbraunerden der warmen Hänge. Auf den „Zwangsstandorten“ bringen wir sie ebenfalls ein. Die Stabilisierungsbestrebungen haben sich aber zugunsten der Arterhaltung verlagert.

Wenn wir die Tanne in nennenswertem Maße beteiligen wollen - sei das über Naturverjüngung oder künstlich - sollte das „tannengerechte“ Milieu, d.h. ein stufiges Dauergefüge, grundsätzlich gewährleistet sein. In gleichaltrigen Fichtenreinbeständen ist das nicht immer möglich. Die Fichte verabschiedet sich hier örtlich zu rasch. Wir beginnen hier mit der Tanneneinbringung bereits in der Altdurchforstung ab dem Alter 70 bis 80, um den Verjüngungszeitraum so lange wie möglich auszudehnen.

Häufig müssen wir die Tatsache hinnehmen, daß trotz der Präsenz der Tanne im Altbestand die Naturverjüngung keine Tannenanteile aufweist. Meistens ist der Wildverbiß der Grund für das Ausbleiben der Tanne in der schon vorgewachsenen Verjüngung. Ist keine weitere Ansammlungs mehr zu erhoffen, bemühen wir uns, Alttannen in die nächste Generation zu überführen, um die Baumart nicht zu verlieren. Es werden möglichst vollbekronte Tannen ausgewählt; sie wachsen mit ihrer unmittelbaren Umgebung - möglichst mit einer Deckung auf der Süd- und Ostseite - in die Verjüngung ein.

Waldbauliche Einzelfragen der Verjüngung

Bei künstlicher Einbringung ist die Frage der Saat oder Pflanzung zu diskutieren. Saaten haben den Vorteil der völlig ungestörten Wurzelentwicklung, nach der Pflanzung wird immer wieder beobachtet, daß es zu Degenerationserscheinungen des Pfahlwurzelsystems kommen kann.

Obwohl wir die Saat (Plätzesaat) vielfach erprobt haben und auch meinen, die erfolgversprechenden Techniken zu kennen, machen wir nur in Ausnahmefällen Freisaaten in den Beständen. Der Grund ist die zu geringe Ausbeute im Vergleich zur konzentrierten Saat im fliegenden Saatbeet oder in der Baumschule. Tannensaatgut ist knapp und kostbar; optimale Ausbeute muß deshalb gewährleistet sein.

In der Regel bringen wir die Tanne als 5 - 7j. Wildling oder als 5j. Pflanze in die Bestände ein. Wegen der Verwendung von Großpflanzen hat es in der Vergangenheit eine z.T. emotional geführte Diskussion gegeben. In der Tat wurde bei einem Teil der Tannenheister beobachtet, daß die Pfahlwurzel verloren geht. Dieser Nachteil sollte die Verwendung einschränken, aber wohl nicht ausschließen. Auch wenn die Zentralwurzel gestört ist, entwickelt sich ein Senkerwurzelsystem mit immer noch besserer Tiefenerschließung als bei anderen Baumarten. Wenn die Tanne in bestimmten Verjüngungssituationen nur noch als Großpflanze eingebracht werden kann, wird ihre Präsenz als Baumart und die Möglichkeit der späteren Naturverjüngung Nachteile im Wurzelsystem aufwiegen.

Ein Schlüssel für höhere Tannenbeteiligung in der Naturverjüngung ist die Frage der Lichtgebung, vor allem der Nachlichtung über Mischverjüngungen. Hier gilt es, anhand der Triebblängen die Wuchstendenzen abzuschätzen, meistens hinsichtlich der Hauptkonkurrentin Fichte. Die Tanne sollte gegenüber der Fichte einige Meter im Wachstum voraus sein, bevor die Belichtung verstärkt wird. Ist das nicht möglich, müssen wir durch wiederholte Pflegemaßnahmen die Konkurrenz regeln.

Die Umformung der Bestände des schlagweisen Hochwaldes in ein stufiges Dauergefüge geht zunächst über zweischichtige Formen. Wenn der Jungwuchs übermannshoch geworden ist, erfolgen relativ kräftige Entnahmen im Altholzschirm. Nun soll alles fallen, was in den nächsten 20 - 30 Jahren vermutlich abgängig wird und was hinsichtlich des Wertzuwachses keine großen Leistungen mehr verspricht. Als Untergrenze des Vorrats im Altholzschirm werden etwa 150 bis 200 fm/ha angesehen. Nach diesen Hieben erfolgt eine längere Ruhephase; in dieser Zeit sind die jungen Tannen gegen mechanische Beschädigungen, die auch bei vorsichtigen Hieben unvermeidlich sind, besonders empfindlich. Sobald die Bäume der Unterschicht in die Kronen der Oberschicht einzuwachsen beginnen, geht die unterbrochene Nutzung der Oberschicht vom stärkeren Ende weiter. Ziel ist die Erhaltung eines Vorratsgleichgewichts zwischen 300 und 400 fm/ha und der Aufbau eines stufigen, plenterartigen Gefüges. Überall, wo die Tanne maßgeblich beteiligt ist, wollen wir, daß örtliche Plenterstrukturen entstehen und auf Dauer gehalten werden. Wo Buchen und Fichten die Bestandsverjüngungen bestimmen - und das ist der größere Flächenanteil in unseren Beständen - wollen wir femelartig vorgehen. Wir streben ein Mosaik aus Plenter- und Femelpartien an.

Schutzfragen

Die Tannennaturverjüngung nimmt bei uns derzeit zu. Wir bemerken die ersten Reaktionen auf die Anstrengungen, die es bei der Wildreduktion in den letzten Jahren gegeben hat. Trotzdem ist das größte Hindernis für das Erreichen unserer Ziele die Belastung der Tanne durch den Verbiß. Steigt der Leittriebverbiß über 30 bis 35 %, hat die Tanne auch bei guten Verjüngungsvoraussetzungen i.d.R. kaum eine Chance, in nennenswerten Zahlen über die Äserhöhe zu kommen. Wir müssen uns daher auch mit den Schutzstrategien für diese bedrohte Baumart befassen.

Es kommt entscheidend darauf an, für ein großes Verjüngungsangebot zu sorgen. Die Einleitung der Verjüngung aus einem vorsichtigen, flächigen Schirmhieb heraus ist hierfür aussichtsreicher, als der Beginn mit dem örtlich begrenzten Hieb des klassischen Femelschlages, der die Verjüngung zunächst in Gruppen konzentriert. Aus den Schirmstellungen kann man später das Mosaik aus Femelstrukturen und mehrstufigen Plenterstrukturen entwickeln.

Der klassische Schutz der Tanne war seit 40 Jahren der Zaun mit guten, aber örtlich begrenzten und teuren Ergebnissen. Wir können uns Zäune nicht mehr leisten und wollen zudem den Erfolg nicht nur auf Zaunfeldern, sondern auf der ganzen Fläche. Ziel ist es, in den Revieren, in denen

die Tanne Hauptbaumart ist, die Verjüngung ohne Schutz zu erreichen. Weitere Reduktion des Wildes ist hierzu notwendig.

Ist die Tanne nur gering oder gar nicht vertreten und soll wieder eingebracht werden, ist Einzel-schutz vorgesehen. Wir versuchen hier ebenfalls das truppweise Vorgehen. Die Trupps mit je einer bestimmten Zahl von zu schützenden Tannen werden durch einen Pflock markiert und immer wieder gezielt aufgesucht. Dies ist rationeller als das breite Absuchen der Bestände nach einzelnen Tannen.

Pflegekonzepte

In unseren wenigen Plenterwäldern bedarf die Tanne kaum der Pflege; gelegentlich ist es notwendig, in vorratsarmen Beständen (ehemalige Plünderwälder) das Mittelholz aufzulockern. Alle anderen Ausscheidungen laufen über die biologische Automation. Dies sollte uns ein Vorbild sein.

Im schlagweisen Hochwald sind wir weit von diesem Ideal entfernt. Hier ist der erste Pflegeeingriff bereits unter Schirm angesagt, wenn die häufig zurückgebissene Tanne von der vorwachsenden Fichte freigestellt werden muß. In hüfthohen Jungwüchsen beseitigen wir die Fichten in einem Radius von mindestens 1,5 m und schützen das freigestellte Tännchen gegen Wildverbiß.

Weiter sind zu früh abgedeckte, dicht und undifferenziert aufwachsende Tannenpartien bei Oberhöhen von 2 bis 5 m zu stufen. Meistens sind diese Partien zweischichtig. Unter einer dichtgedrängten Oberschicht kümmern wenige unterständige Exemplare. Kräftige Eingriffe ausschließlich in der Oberschicht (Abstandsvorstellung etwa 3 m) können den Kronenerhalt fördern und der Unterschicht Entwicklungschancen bieten. In gleicher Weise ist die einzeln beigemischte Tanne in der Fichte freizuschneiden. Bei Schneebruchgefahr müssen die Pflegeziele in einem zweimaligen Eingriff erreicht werden; zunächst ist das Konkurrenzstämmchen zu belassen, an das sich das Auswahlstämmchen anlehnen kann. Gegenüber der Buche sind nur Maßnahmen erforderlich, wenn die Tanne in der Wuchstendenz klar zurückfällt. Gegenüber Edel- und Weichlaubholz ist meistens keine Begünstigung nötig.

Im Stangenholzalter ist Hochdurchforstung angebracht. Das Ziel ist der Erhalt langer grüner Kronen und die Förderung der unterständigen Tännchen durch Entnahme der mitherrschenden Stämme. Gleiches gilt für die Baumholzbestände.

Bei allen Durchforstungseingriffen dürfen die Tannenkronen nie einer krassen Veränderung des Lichtmilieus ausgesetzt werden. Vorsichtige und wiederholte Eingriffe sind geboten, auch wenn das nicht mehr so recht in die Zeit der mechanisierten Durchforstungen paßt. Vor allem im fortgeschrittenen Alter dürfen Tannen nicht mehr rundum freigestellt werden, sondern müssen partiell vorsichtig sternförmig umlichtet werden. Eingriffe, welche die Ost- und Südseite eines

Baumes öffnen, sind besonders kritisch zu sehen. Wir sehen immer wieder, daß Tannen starke Eingriffe verübeln und bei rigoroser Freistellung mit lange anhaltenden Wuchsstockungen und dem Abflachen ihrer Krone reagieren. Grund für diese Empfindlichkeit sind die Umstellungsschwierigkeiten, die zwangsläufig auftreten, wenn ein Baum eine so hohe Anzahl von stark differenzierten Nadeljahrgängen trägt, wie die Tanne. Sie zeigt an ihren Nadeln ausgeprägte Unterschiede zwischen Schatten- und Lichtnadeln. Wird die Krone aus dem Schatten heraus freigestellt, sind die Nadeln mit ihrer dünnen Epidermis einem Lichtschock ausgesetzt, den sie nicht verkraften. Ich konnte nach Durchforstungsmaßnahmen Teilentnadelungen beobachten. Es kann 10 und 15 Jahre dauern, bis das Nadelkleid sich erneuert hat und die Krone auf die neue Lichtsituation umgestellt ist. Bis dorthin hat sie zu tun, sich von dem Lichtschock zu erholen. Unter Umständen ist die Tanne dann von den Konkurrenten, von denen man sie entlasten wollte, bereits wieder überholt und muß wiederum freigestellt werden - mit der Folge des erneuten Belichtungsschocks. Diese Empfindlichkeit, die aus der langen Lebensdauer der Nadeln und der ausgeprägten Anpassung der Schattennadeln an die Ausnutzung des diffusen Lichtes im Bestandsinneren beruht, wird der Tanne häufig als mangelnde Vitalität ausgelegt. Hier ist der Grund zu finden, warum sie so wenig in die Bestandsformen des schlagweisen Hochwaldes paßt. Steht sie in stufigem Dauergefüge, sind die Veränderungen im Lichtmilieu nie so kraß, wie im Altersklassenwald mit seinen oft rohen, von Fichtenkonzepten geprägten Durchforstungspraktiken. Meines Erachtens liegt in dieser Erkenntnis der Schlüssel für einen tannengerechten Waldbau, vielleicht auch eine Erklärung für den rapiden Rückgang, den sie seit der Einführung des schlagweisen Hochwaldes vor ca. 150 Jahren erfahren hat. Wenn es nicht gelingt, der Tanne den dauernden Stufenschluß zu geben, wird sie von einer Krise in die andere gebeutelt. Nur in plenterartigen Strukturen fühlt sie sich auf Dauer wohl und erreicht die Vitalität und die Massenleistung, für die sie früher berühmt war und von denen unsere Urwaldreste noch heute Zeugnis geben.

Literaturverzeichnis

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1992. Bundeswaldinventur 1986 -1990, Grundtabellen für das Bundesland Bayern, Bonn;
- FRANZ, F. und KENNEL, E. 1973. Bayerische Waldinventur 1970/71, Inventurabschnitt I: Großrauminventur Basistabellen; Forschungsberichte Forstliche Forschungsanstalt München Nr 12, München;
- HORNDASCH, M. 1993. Die Weißtanne und ihr tragisches Schicksal im Wandel der Zeiten, Augsburg;
- SCHÖNFELDER, P., BRESINSKY, A. 1990. Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Bayerns, Stuttgart;
- SCHNEIDER, F. 1906. Die Bestockungs-Verhältnisse der bayerischen Staatswaldungen, München;
- SEITSCHKE, O. 1978. Verbreitung und Bedeutung der Weißtanne in Bayern, Allgemeine Forst Zeitschrift Nr. 35/1978, S. 975.

Die Bewirtschaftung der Weißtanne im Elbsandsteingebiet

Johannes Grunwald
Sächsisches Forstamt Bad Schandau

Nachfolgende Ausführungen beschränken sich auf das Forstamt Bad Schandau mit einer Landeswaldfläche von 5700 ha - sie sind in vielerlei Hinsicht auf das gesamte Gebiet der Sächsischen Schweiz übertragbar.

1. Ein Abriß zu den standörtlichen Voraussetzungen

Bemerkenswert für das Elbsandsteingebiet ist die starke Zergliederung der Landschaft in Schluchten und Steilhänge.

Die in Übersicht 1 vorgestellten Klimadaten werden stark differenziert und lokal abgewandelt. Es kommt zur Temperaturumkehr.

Übersicht 1 - Klimadaten

Wuchsgebiet:	Ostelbisches Elbsandsteingebiet (Station Hinterhermsdorf 385 m NN , 1901 - 1950)	
Lufttemperatur:	Jahresmittel	6,9° C
	Januar	- 2,3° C
	Juli	16,5° C
	Jahresschwankung	18,8° C
Niederschlag:	Jahresmittel	880 mm
	Vegetationsperiode	
	Mai - September	411 mm = 45 %
	Frühjahrsregen	
Ariditätsindex:	April - Juni	220 mm
	$\frac{N}{T + 10}$	52

Überwiegend mäßige oder geringe Nährstoffversorgung, verbunden mit bodensaurer Reaktion, charakterisieren die Bodenformen. Typisch ist ein kleinflächiger Wechsel.

Als Ausgangsmaterial für die Bodenbildung diente der Sandstein, ergänzt von pleistozänen kalkarmen Staublehmdecken.

Eine langjährige Immissionsbeeinflussung durch Schwefeldioxid hatte starke Auswirkungen auf Vegetation und Bodenzustand.

2. Natürliche Waldgesellschaften und historische Bestockung

Bedingt durch den kleinflächigen Standortwechsel, kann dem Gebiet keine Leitgesellschaft der natürlichen Vegetation zugeordnet werden. Es ist pflanzensoziologisch schwer zu bearbeiten.

Auf dem Diagramm wird ein Auszug aus dem Projekt „Pflege- und Entwicklungsplan der Wälder für den Nationalpark Sächsische Schweiz“ von 1993 dargestellt. Wegen der besseren Übersichtlichkeit wurden Gruppen gebildet. Den Waldgesellschaften mit WTa werden über 3500 ha Waldfläche zugeordnet.

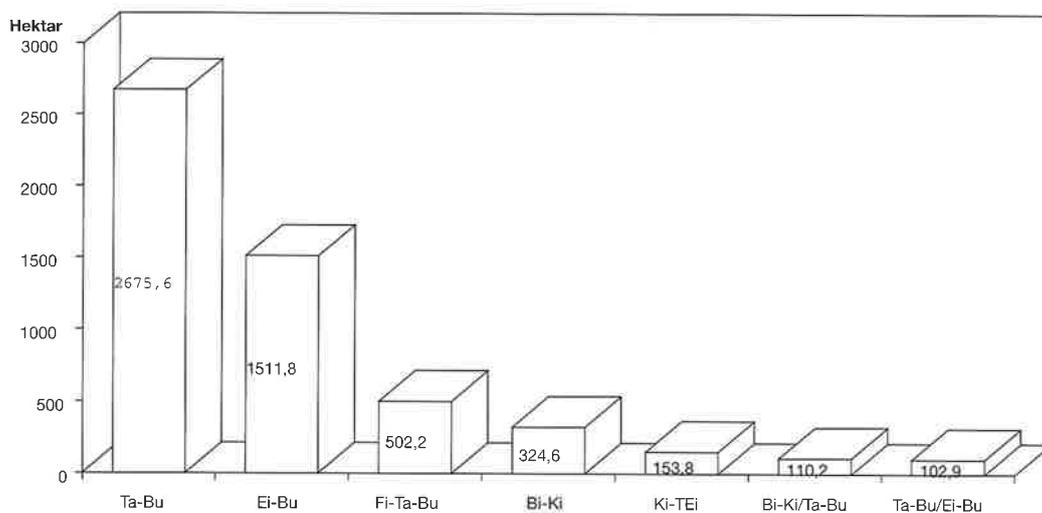


Abb. 1: Bedeutendste natürliche Waldgesellschaften (HSS)

Als ursprüngliche Waldgesellschaft bezeichnet HEMPEL 1983 den Höhenkiefernreichen Tanne-Buchen-Wald. Die geschätzten Baumartenanteile aus den Bestandesbeschreibungen von REINHOLD und den Forsteinrichtungsunterlagen von 1986 werden in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

Tab. 1: Entwicklung der Baumartenanteile im Elbsandsteingebiet (Angaben in %)

Baumart	1591	1812	1934	1986
Ta	40	12	2	0
Ki	10	12	20	14
Fi	10	71	70	65
Bu	30	2	4	7
Ei	10	3	4	2
Lä	0	0	0	6
Bi	0	0	0	6

Vom 17. bis 19. Jahrhundert erlebte die Bestockung die größte Wandlung. Dazu hat maßgeblich die Holztrift auf der Kirnitzsch beigetragen. Die Wälder waren ausgangs des 18. Jahrhunderts

restlos verhauen. Die ursprünglich ausgeprägte Mischbestockung verschwand mit dem verstärkten Fichtenanbau im 19. Jahrhundert fast vollständig. Bemerkenswert ist der schnelle Ausfall der Weißtanne, der im westelbischen Gebiet wesentlich langsamer verlief. Dort waren um 1830 noch ca. 30 % Weißtannenbestand vorhanden. Die typischen Altersklassenwälder waren sehr standortsfremd. Das veranlaßte bereits im 19. Jahrhundert weitsichtige Forstleute zur Förderung der Rotbuche. 1851 tagte der Sächsische Forstverein in Bad Schandau und behandelte die Förderung der Rotbuche.

Von 1855 bis 1882 betrieb Oberförster SCHLEGEL eine Naturverjüngungswirtschaft mit Buche und Weißtanne. Oberförster AUGST forderte 1911 energisch den Anbau von Mischbestockungen. „Man war mit der Fichte zu weit gegangen.“

1927 tagte der Sächsische Forstverein wiederum in Bad Schandau und beriet zur „waldbaulichen Umstellung im Elbsandsteingebirge“.

Die Nonnenkatastrophe von 1921 bis 1927 bekräftigte erneut die Notwendigkeit einer standortsgerechten Bestockung. Forstamtsleiter WOBST, tätig in Hinterhermsdorf, aktiviert um 1932 den naturnahen Waldbau. Damit ist zu erklären, daß der Rotbuchenanteil langsam angehoben werden konnte. Dazu trugen auch Pflanzungen über Voranbau in jüngster Zeit bei. Hingegen ist die Eiche fast vollständig ausgefallen.

Das gegenwärtige Vorkommen der Weißtanne wird in einem extra Punkt behandelt.

3. Die aktuelle Waldstruktur

(Nach Datenspeicher Waldfonds (DSWF) Stand vom 1. 1. 1992)

Die Wälder weisen fast keine vertikale Struktur auf. Von 5700 ha haben lediglich 500 ha Unterstand, 2500 ha sind Reinbestände. Die horizontale Gliederung im Bestandesinneren ist kaum vorhanden, auffallend sind die Schlagfronten mit dem typischen Übergang vom Altbestand zum Jungwuchs.

Die in Abbildung 2 sichtbare Alterklassenverteilung läßt in den nächsten Jahren einen hohen Anteil über 100jähriger Fichtenbestände erwarten. Die Informationen aus dem DSWF sind vorsichtig zu werten. Im Wald zeigt sich häufig ein anderes Bild. Die Bemühungen zur Förderung der Buche werden im Unterstand auf großen Flächen sichtbar, widerspiegeln sich aber nicht im Datenspeichermaterial. Grundsätzlich bleibt aber die Aussage bestehen, daß relativ ungünstige vertikal-horizontal Strukturen für den Weißtannenbau vorhanden sind.

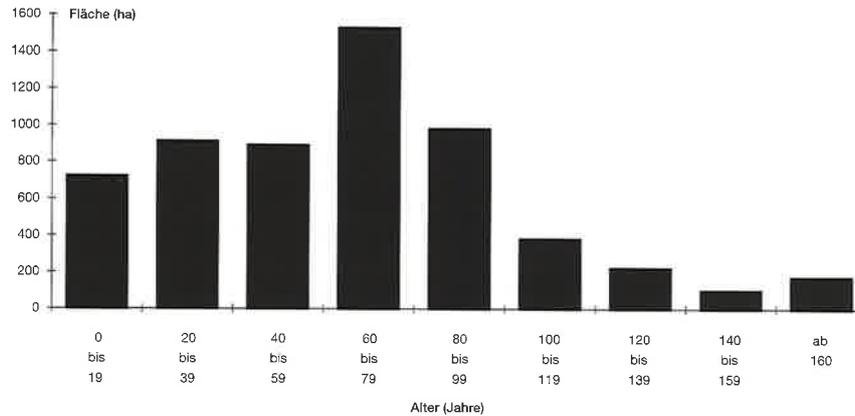


Abb. 2: Altersklassenstruktur des Gesamtwaldes im FoA Bad Schandau (HSS)

4. Das gegenwärtige Vorkommen der Weißtanne

Die Restvorkommen der Weißtanne sind der Unzugänglichkeit des Gebietes und der natürlichen Vertikalstruktur der Felslandschaft zu verdanken. Die Weißtanne wurde einzeln registriert und dokumentiert (siehe Diplomarbeit SCHMIEDER 1993).

Tab. 2: Weißtannenvorkommen

Alter	Stück	darunter Pflanzung
bis 10	3805	2585
ab 39	977	638
40 bis 79	56	0
ab 80	439	0
Gesamt	5277	

Altannen stehen überwiegend isoliert, selten werden kleine Gruppen gebildet.

Vereinzelte Weißtannenverjüngung ist auf fast allen Forstorten vorhanden. Bei den über 40jährigen Weißtannen konnte nicht mehr unterschieden werden zwischen Pflanzung und Naturverjüngung. Die Vitalität ist insgesamt als gering einzustufen. Als Grundlage diente der Untersuchungsbericht der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Graupa von 1992/93.

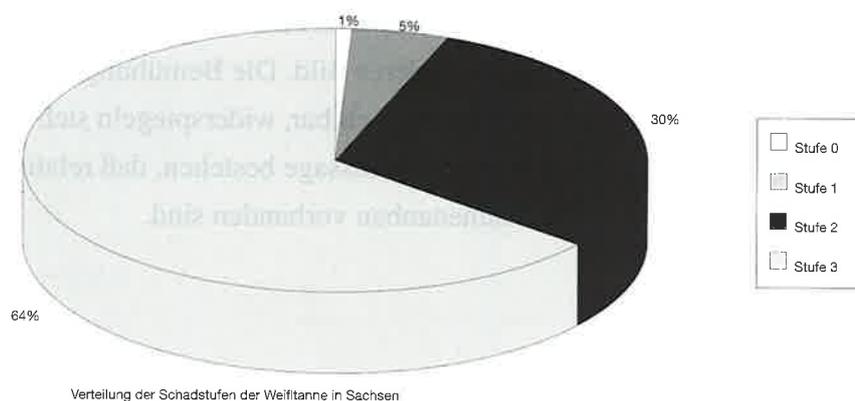


Abb. 3: Vitalität der über 60 Jahre alten Weißtannen (Stand 1992/1993)

5. Waldbauliche Maßnahmen

Die bemerkenswerten Leistungen von Forstleuten seit Jahrzehnten ermöglichten der Rotbuche, vorwiegend im Unterstand, aber auch im Oberstand, ein fast flächendeckendes Vorkommen. In Verbindung mit den standörtlichen Voraussetzungen sind günstige Bedingungen für die Wiedereinbringung der Weißtanne im Gebiet der Hinteren Sächsischen Schweiz gegeben. Die Bemühungen zum Anbau der Weißtanne zeigten in den letzten Jahrzehnten leider nur geringe Erfolge. Daran wird maßgeblich der hohe Wildbestand beteiligt gewesen sein. Die Anlage eines Anzuchtkamps und einer Verjüngungsfläche für Weißtanne in Abteilung 419 am Heulenberg im Jahr 1987 stimmen dagegen sehr optimistisch.

Gezielte Saatguternten legten die Grundlage für die Pflanzung der letzten Jahre. Im Forstamt Bad Schandau wurden 1991 die Aktivitäten zielgerichtet auf die Förderung der Weißtanne gelenkt:

a) Förderung von horizontal und vertikal gut gegliederten dauerhaften Bestockungen

- Hochdurchforstung im 5jährigem Rhythmus auf der Gesamtfläche in allen Wuchsklassen. Wichtigste Kontrollgröße ist die Durchforstungsfläche.
- keine Kahlschläge, keine Räumung über Naturverjüngung bzw. Voranbauflächen
- großflächige Störungen durch biotische und abiotische Schäden sind zu vermeiden. Schlagfronten müssen stabilisiert werden.
- sämtliche Mischbaumarten werden bei der Durchforstung begünstigt.
- die Naturverjüngung genießt absoluten Vorrang vor der Pflanzung. Gepflanzt werden nur fehlende Baumarten der natürlichen Waldgesellschaften.

b) Begünstigung der vorhandenen Weißtanne

- Erfassung und Dokumentation
- Altannen sind häufig der unmittelbaren Wuchsraumkonkurrenz durch die Fichte ausgesetzt. Hier ist eine behutsame Freistellung - möglichst nach Norden oder Osten - angezeigt.
- Der Schirmdruck des Oberstandes ist standortsangepaßt - zu Gunsten der Weißtanne einzupegeln. Die unmittelbaren Konkurrenten Rotbuche und Fichte sind am beschleunigten Wachstum zu hindern.
- konsequenter Schutz vor Fäll- und Rückeschäden durch Einhalten einer weitsichtigen Schlagordnung und Einsatz von qualifizierten Waldarbeitern.

c) Dichte des Schalenwildes ist dauerhaft zu senken

- Nur in der Startphase kann die Weißtannenverjüngung durch Einzelschutz gesichert werden. Gefährdungen entstehen durch Verbiß und Schlagschäden
- Die Verjüngung aller Baumarten der natürlichen Vegetation muß ohne Zaun möglich sein, ansonsten besteht die Gefahr der Entmischung und der Verbuchung. Die dringend notwendigen Vertikalstrukturen können nur auf der Gesamtfläche stetig gefördert werden.
- Notwendig sind - möglichst über Dauerbeobachtungsflächen - Informationen zur aktuellen Wildbelastung.

d) Pflanzung und Naturverjüngung von Weißtannen

- Bei ausreichendem Behang (30 Zapfen/Baum) wird das Saatgut mit baumschonender Technik geerntet. Es verbleiben ca. 5-10 Zapfen/Baum für die Naturverjüngung.
- Die Pflanzen werden in bewährten Baumschulen und in Revierkamps angezogen. Die Pflanzenversorgung scheint für die nächsten Jahre gesichert zu sein.

Saatguternte (in kg)

1988	30 (Totalverlust in Baumschule)
1990	20
1992	37,8 Vollkorn 8% - 18%
1994	19,7 Vollkorn 28 %

- Alle ursprünglichen Tannenstandorte sind in die Pflanzung einzubeziehen. Die Mindestanforderungen an Bestandesstruktur und Seitenschutz müssen gegeben sein. Ein schematisches Vorgehen ist zu vermeiden.
- Gepflanzt wird trupp- und gruppenweise mit einem Pflanzabstand von 2-5 m und 30 bis 50 Stück/Gruppe
- Zur Rotbuchenverjüngung ist ein Abstand von ca. 10 bis 15 m einzuhalten.
- Bereits angekommene Naturverjüngung der Weißtanne ist durch Pflanzung zu ergänzen.
- Die Verfügbarkeit fruktifizierender Altannen nimmt stetig ab. Mit einer Samenplantage muß die Saatgutversorgung kontinuierlich gesichert werden. Gleichzeitig kann damit Selbstung gemindert werden.
- Zur Vermehrung gelangt nur heimische Weißtanne.

Verfügbare Pflanzen in (TStück)

1995	5)	
1996	5)	Ernte 1990
1997	20)	
1998	25)	Ernte 1992
1999	40)	
2000	25)	Ernte 1994
gesamt	120 TStück Weißtanne	2/2 , 2/3 z.T. mit Ballen

Schlußbetrachtung

Ökologisch orientierte Waldwirtschaft in ihrer Komplexität bietet der Weißtanne die Chance zur Rückkehr, gleichzeitig ist die Weißtanne Indikator für erfolgreichen, anspruchsvollen Waldbau in der Sächsischen Schweiz und unverzichtbarer Bestandteil der hiesigen natürlichen Waldgesellschaft.

Alle Maßnahmen müssen stetig und über lange Zeiträume geplant und realisiert werden.

Die erfolgreiche Wiedereinbringung der Weißtanne bedeutet Waldbau auf der Gesamtfläche ohne Zaun (Voraussetzung für vertikale Strukturen), dementsprechend niedrig muß der Wildstand sein.

Waldbauliche Strategien zur Wiedereinbringung der Weißtanne in Sachsen

Andreas Wickel

Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten,

Dresden

Kurzfassung

Die Weißtanne hat in Sachsen eine Chance!

- Die Landesforstverwaltung fördert die Wiedereinbringung der Weißtanne im Zuge des Waldumbaus zu naturnahen Mischbeständen.
- Die Wiedereinbringung sollte auf das natürliche Verbreitungsgebiet beschränkt bleiben: Wuchsgebiete Erzgebirge (45), Vogtland (44), Elbsandsteingebirge (46), Oberlausitzer Bergland (47), Zittauer Gebirge (48) - weniger im Lausitzer-Löß-Hügelland (28), Westlausitzer Platte (27) und Erzgebirgsvorland (26).

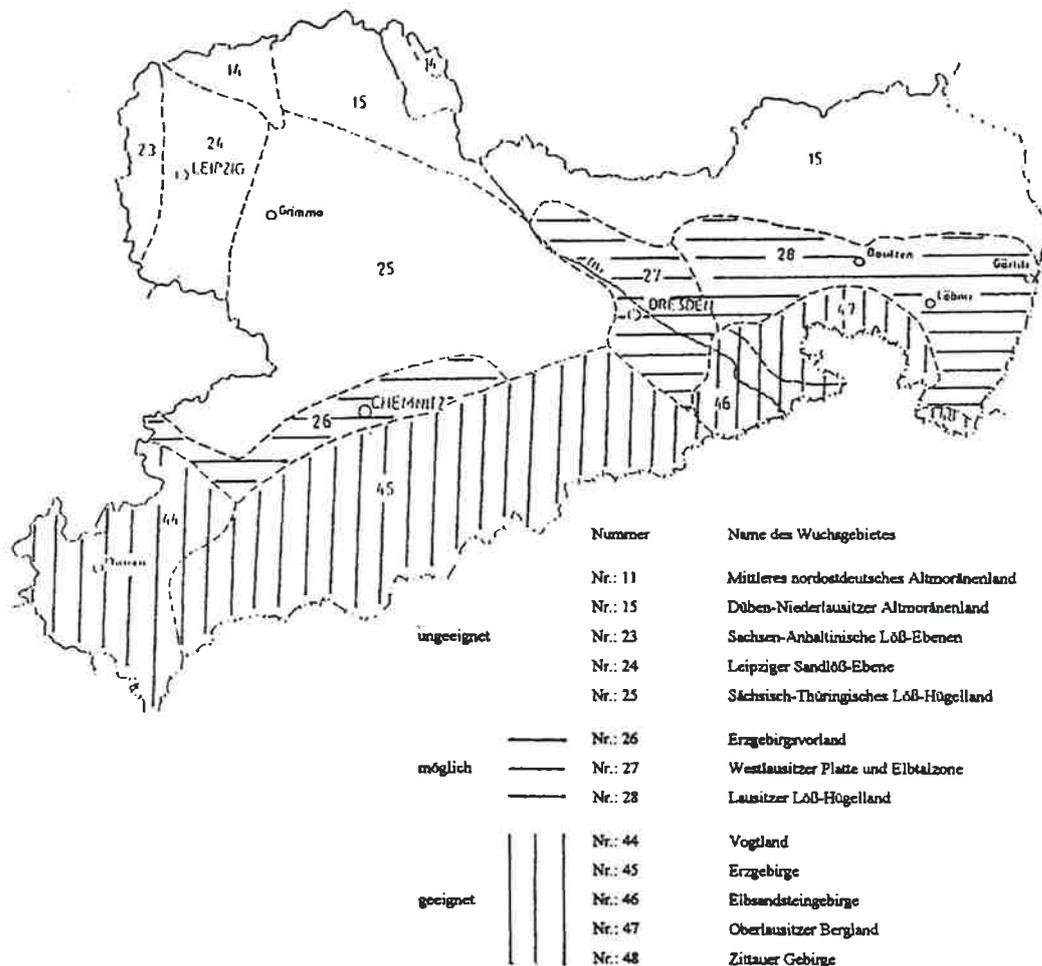


Abb. 1: Eignung der Wuchsgebiete in Sachsen für die Wiedereinbringung der Weißtanne

- Die Lösung der Wildfrage ist die entscheidende Voraussetzung für das Gelingen (u.a. Abgrenzung der sogenannten Bewirtschaftungsgebiete für Hochwild und Herstellung einer “naturgemäßen Wilddichte”).

Rolle der Weißtanne in der langfristigen Zielbestockungsplanung

In folgenden Klimastufen und Standortgruppen ist die Weißtanne geeignet:

- Klimastufen:
 1. Mittlere Berglagen mit feuchtem und mäßig feuchtem Klima (Mf, Mm)
 2. Höhere Berglagen mit feuchtem Klima (Hf)
 3. Untere Lagen des Mittelgebirges mit feuchtem und mäßig feuchtem kühlem Klima (Uf, Uk)
- Standortgruppen: TK 1 - 2, TM 1 - 2, TZ 1 - 2, WK 1- 2, WM 1 -2, WZ 1 -2

Tab. 1: Gliederung der Standortgruppen nach Nährkraft- und Feuchtestufen

Stamm-Feuchtestufe	Stamm-Nährkraftstufe				Arm	
	...R... Reich	...K... Kräftig	...M... Mäßig nährstoffhaltig	...Z... Ziemlich arm		
(T)... Unvernünftige Standorte	(T)...3 trockener	R3	K3	M3	Z3	A3
	(T)...2 mittelfrisch	R2	K2	M2	Z2	A2
	(T)...1 frischer	R1	K1	M1	Z1	A1
W... Standorte mit Wechselfeuchte	W...2 wechselfrisch	WR2	WK2	WM2	WZ2	
	W...1 wechselfeucht	WR1	WK1	WM1	WZ1	
Ü... Überflutungs- (Auen-)standorte	Ü...2 frisch	ÜR2	ÜK2			
	Ü...1 feucht	ÜR1	ÜK1			
N... Standorte mit Dauerfeuchte	N...2 (dauer)-feucht	NR2	NK2	NM2	NZ2	NA2
	N...1 (dauer)-naß	NR1	NK1	NM1	NZ1	NA1
O... Bruch- und Sumpfstandorte	O...4 trockene Bruch.	OR4	OK4	OM4	OZ4	OA4
	O...3 Brücher	OR3	OK3	OM3	OZ3	OA3
	O...2 Sümpfe		OK2	OM2	OZ2	OA2
	O...1 (nasse Sümpfe)		OK1	OM1		OA1

In den Kammlagen sind die Feuchtestufen in I (feucht) und II (frisch) unterteilt

In den folgenden Bestandeszieltypen kann die Weißtanne wesentlich zum Aufbau stabiler Wälder beitragen:

1. Fichten - Bergmischwald
 2. Buche - Nadelbäume
 3. Höhenkiefer
 4. Stieleiche - Edellaubbäume (Stabilisierung wechselfeuchter Standorte im Uf)
- Der langfristig erstrebte Tannenanteil beträgt 3 %, im Wuchsgebiet Erzgebirge 10 %.

Waldbauliche Verfahren zur Förderung und Wiedereinbringung der Weißtanne

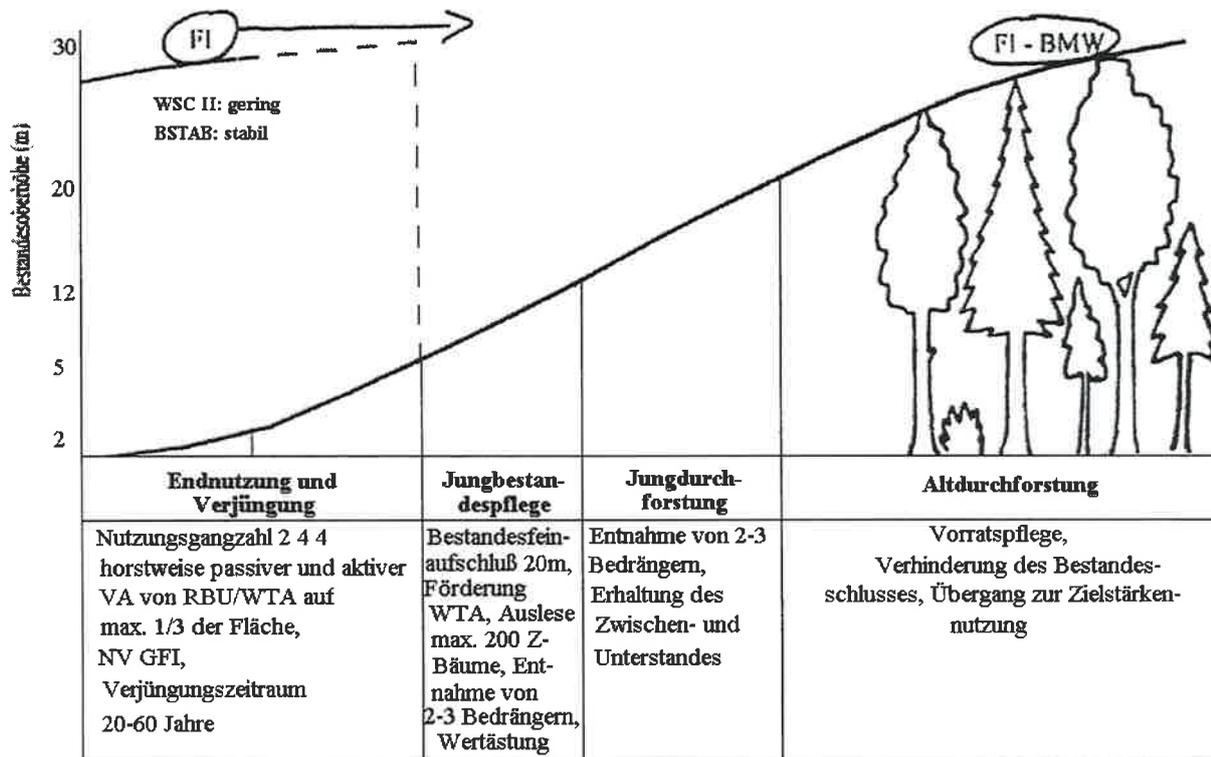


Abb. 2: Förderung und Wiedereinbringung der Weißtanne

- Geduld bei der Hiebsführung und Verjüngung.
- Arbeiten in der Tiefe des Altbestandes mit Verjüngungszeiträumen von 20 bis 60 Jahren.
- Naturverjüngung der wenigen Restvorkommen in Dauerbestockungen, Voranbau (passiv und aktiv) als hauptsächliche Verjüngungsart. Anbau ungeeignet.
- Frage des Pflanzensortimentes noch zu klären (Ballengroßpflanzen?).
- Bildung von Verjüngungsschwerpunkten zur Senkung des Schutzaufwandes und zur Konzentration der Bejagung.
- Bau von Jagdeinrichtungen.
- Pflege der Jungbestände schon unter dem Schirm.

Ergebnisse der ökologischen Waldentwicklungsplanung im Landeswald für das Jahrzehnt 1994 - 2003

- Bestandeszieltypenplanung: Die Bestandeszieltypen Fichten - Bergmischwald und Buche - Nadelbäume dominieren - damit bestehen gute Voraussetzungen für die Tanneneinbringung

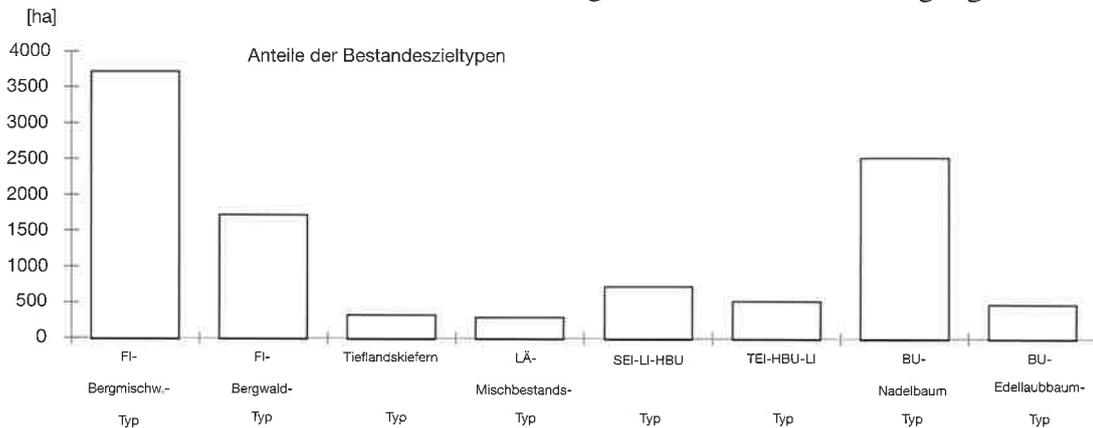


Abb. 3: Bestandeszieltypenplanung

- Hiebsarten: Femel- und Femelsaumhiebe nehmen 2/3 der Hiebsfläche ein.

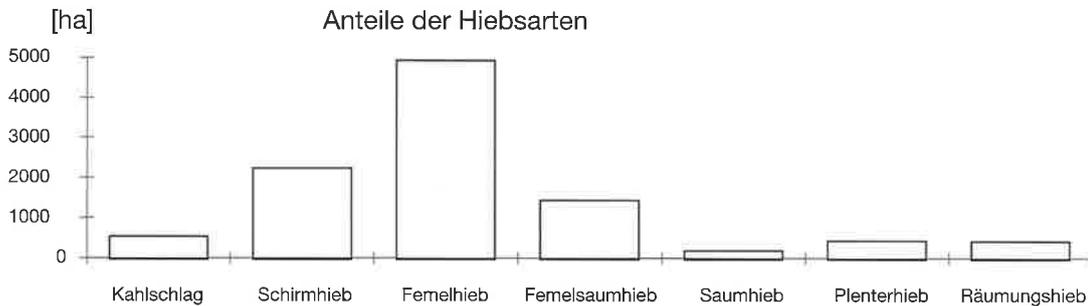


Abb. 4: Hiebsarten

- Verjüngungsarten: Voranbau herrscht vor. Die Neigung der Praxis zu (schneller) Fichten-naturverjüngung ist problematisch.

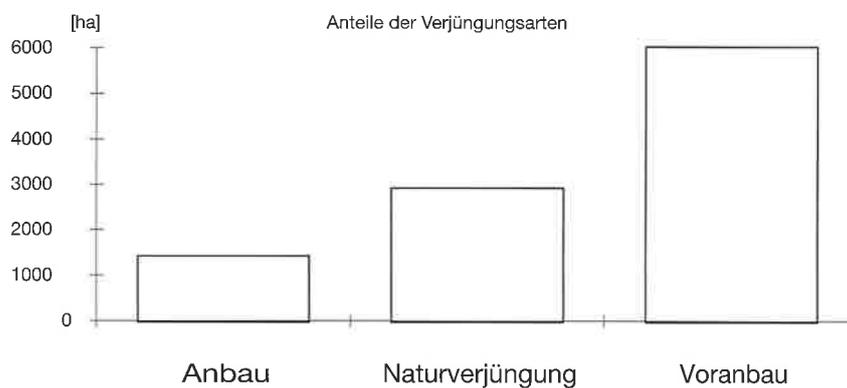


Abb. 5: Verjüngungsarten

- Verjüngungsflächen der Baumarten: Mut zur Tanne noch nicht genügend ausgeprägt (ca. 50 ha pro Jahr), Tanne muß zu Lasten der Fichte an Fläche gewinnen.

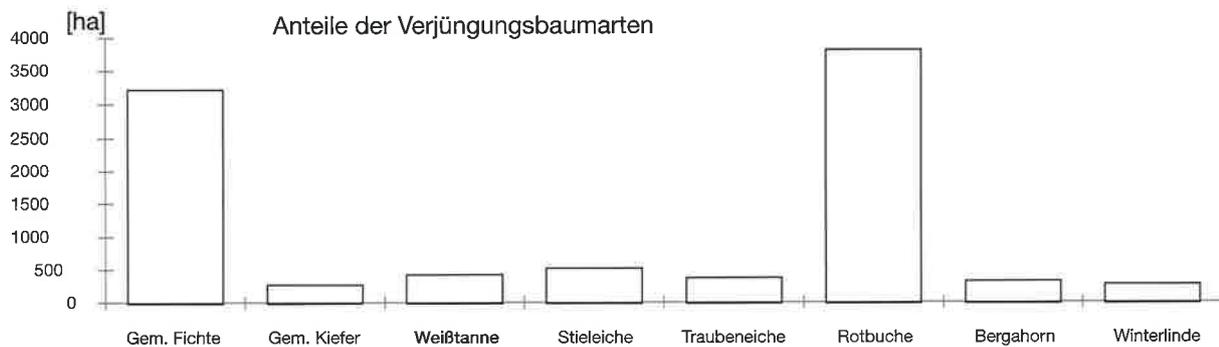


Abb. 6: Verjüngung nach Baumarten

Flankierende Maßnahmen zur Wiedereinbringung der Weißtanne

- Fortbildung der Mitarbeiter im Gebrauch von Reißhaken und Büchse.
- Öffentlichkeitsarbeit: Artenschutz als wesentliche Aufgabe des Waldbaus
- Merkblatt zur Wiedereinbringung der Weißtanne.

