

FORSTPFLANZENZÜCHTUNG – SITUATIONSANALYSE ANGESICHTS ROHSTOFFVERKNAPPUNG UND KLIMAWANDEL

FOREST TREE BREEDING – SITUATION ANALYSIS IN VIEW OF SHORTAGE OF RAW MATERIAL AND CLIMATE CHANGE

A. Janßen¹, B. Degen², M. Konnert³, H.-M. Rau¹ & H. Wolf⁴

1 Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Abt. Waldgenressourcen,
D-34346 Hann. Münden

2 Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI-Institut für Forstgenetik, D-22927 Großshansdorf

3 Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP), D-83317 Teisendorf

4 Referat Forstgenetik / Forstpflanzenzüchtung, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft,
Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), D-01796 Pirna

ABSTRACT

Globally the forest area is decreasing while the demand of wood still increases. The adaptability of the forest ecosystems is seriously requested due to the expected climate change. Forest tree breeding is a possibility to increase the productivity of the forest area while the adaptability is sufficient.

Different purposes argue for a uniform breeding strategy for Germany. Only a few institutions work on conventional forest tree breeding. Cross-border challenges and clearance with silvicultural strategies of the German Federal States have to be considered. A uniform strategy should benefit politics, administrations as well as forest seed companies and nurseries.

Forest tree breeding differs from agricultural breeding because of the long time of regeneration periods of trees. Objectives of breeding like yield

increase, quality improvement, environmental tolerance or pest resistance could be achieved by means of selection, hybridization and mutation breeding over a long period.

Many examples of successful breeding programs are well-known in numerous countries. Results by use of breeding have also been verified in Germany. However, need for action is necessary, because only sections of breeding are executed. The superior aim has to be the setting up of breeding programs specific to tree species.

Keywords: forest tree breeding, shortage of raw material, climate change, breeding strategy

ZUSAMMENFASSUNG

Weltweit nimmt die Waldfläche bei gleichzeitig stetig steigender Nachfrage nach Holz ab. Die erwartete Klimaänderung stellt zudem erhebliche Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit des Ökosystems Wald. Forstpflanzenzüchtung ist eine Möglichkeit, die Produktivität auf der Fläche unter Beibehaltung einer ausreichend hohen Anpassungsfähigkeit zu steigern.

Verschiedene Gründe sprechen für die Aufstellung einer einheitlichen Züchtungsstrategie für Deutschland. Nur noch wenige Institutionen betreiben klassische Forstpflanzenzüchtung. Grenzüberschreitende Herausforderungen sind ebenso zu beachten wie die Abstimmung mit Waldbaustrategien der einzelnen Bundesländer. Eine einheitliche Strategie käme sowohl der Politik und den Verwaltungen als auch den Forstsaatgutbetrieben und Baumschulen zugute.

Aufgrund der langen Regenerationszeiträume der Bäume unterscheidet sich Forstpflanzenzüchtung von landwirtschaftlicher Züchtung. Mit Hilfe von Auslese-, Kreuzungs- und Mutationszüchtung können die Züchtungsziele wie Ertragssteigerung, Qualitätsverbesserung, Umwelttoleranz oder Krankheitsresistenz nur über relativ lange Zeiträume erreicht werden.

International sind viele Beispiele von erfolgreichen Züchtungsprogrammen bekannt. Aber auch national sind Erfolge durch Züchtung nachgewiesen. Dennoch besteht Handlungsbedarf, weil nur Teilbereiche der Züchtung bearbeitet werden. Ziel muss die baumartenspezifische Aufstellung von Züchtungsprogrammen sein.

Schlagwörter: Forstpflanzenzüchtung, Rohstoffverknappung, Klimawandel, Strategie

1 EINLEITUNG

Mit steigenden Energiepreisen und der Suche nach CO₂-neutralen Energiequellen steigt die Nachfrage nach Holz stetig. So ist z.B. der Energieholzverbrauch in Deutschland zwischen 1995 und 2007 von 19 auf 43 Mio. m³ gestiegen. Bis 2020 wird mit einem weiteren Anstieg auf bis zu 65 Mio. m³ gerechnet (Holzzentralblatt vom 20.02.2009). Holz wird aber nicht nur vom Energiesektor (Wärmebereich, Stromerzeugung, Biokraftstoffe) verstärkt nachgefragt, auch im stofflich-mechanischen und im chemischen Bereich werden hohe Wachstumsraten prognostiziert. Da die globale Waldfläche bei gleichzeitig rasant steigender Weltbevölkerung insgesamt rasch abnimmt, müssen alle Möglichkeiten zur Steigerung der Holzproduktion auf den verbleibenden Waldflächen genutzt werden. Dazu gehört neben der Verbesserung der Bewirtschaftungsmethoden bestehender Wälder und der nachhaltigen Nutzung bislang ungenutzter Vorräte auch die Steigerung der Holzproduktion durch Züchtung.

Nach ROHMEDE & SCHÖNBACH (1959) ist Forstpflanzenzüchtung „die Tätigkeit des Menschen, Waldbäume und -sträucher in ihren Erbanlagen so zu beeinflussen und zu verbessern, dass sie den wirtschaftlichen Zielsetzungen und Bedürfnissen des Menschen bestens entsprechen“.

WEISGERBER (1983) definiert Züchtung ähnlich, erweitert aber die Zielsetzung, wenn er schreibt, dass Züchtung als Ziel hat, „Waldbäume in ihren Erbanlagen so beeinflussen, dass sie den an sie gerichteten anthropogenen Ansprüchen optimal gerecht werden“. Nicht der wirtschaftliche Nutzen, die Holzproduktion allein, sondern auch andere Ansprüche im Rahmen einer multifunktionalen Forstwirtschaft können Züchtungsziel sein. Spätestens seit dem Umweltgipfel in Rio 1992 ist die Nachhaltigkeit im Umgang mit Ressourcen, auch mit Genressourcen, ein wichtiges Anliegen der Gesellschaft. Eine nachhaltige Züchtung muss neben der Erreichung eines bestimmten Züchtungsziels auch den Erhalt der genetischen Ressource, aus welcher sie schöpft, gewährleisten (KLEINSCHMIT, 2004). Gerade im Klimawandel mit all seinen Unsicherheiten kommen für den überwiegenden Teil der Waldfläche nur Züchtungsstrategien in Frage, die den Erhalt der genetischen Vielfalt und damit die langfristige Anpassungs- und Überlebensfähigkeit unserer Wälder sichern.

Züchtung ist nur durch eine hohe genetische Variabilität der Individuen einer Population und die Vererbung bestimmter Eigenschaften auf die Nachkommen möglich. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Züchtung sind also das Vorhandensein

genetischer Variation, aber auch die Anpassungsfähigkeit der gezüchteten Population an die standortgegebenen Umweltbedingungen (HATTEMER et al., 1993). Nicht jede gewünschte Eigenschaft kann durch Züchtung erreicht werden. Zudem darf die züchterische Verbesserung bestimmter Merkmale nicht mit Nachteilen bei anderen Eigenschaften erkaufte werden. Bei einer nachhaltigen Züchtung dürfen das Ergebnis und die anschließende Produktion möglichst keine negativen Effekte auf andere Ressourcen haben (KLEINSCHMIT, 2004).

Forstpflanzenzüchtung wird oft mit Gentechnik gleichgesetzt. Gentechnik ist im weiteren Sinne ein Verfahren der Forstpflanzenzüchtung. Konventionelle Forstpflanzenzüchtung nutzt das in der Natur reichlich vorhandene genetische Material

(Erbanlagen), ohne es zu verändern. Sie selektiert aus dem natürlich vorhandenen Genpool das, was sie als nützlich erachtet, oder sie kombiniert durch Kreuzungen das Erbgut neu.

Gentechnik beinhaltet dagegen die gezielte Veränderung von in der Natur vorkommendem Erbmateriale. Das Erbgut wird aus den Zellen isoliert, unter künstlichen Bedingungen neu kombiniert und dann wieder in die Zelle eingebracht. Es entsteht so ein genetisch veränderter oder „transgener“ Baum, der neue Eigenschaften besitzt. Auch sind Kombinationen von Erbgut über Artgrenzen hinweg möglich. Im Folgenden wird Forstpflanzenzüchtung unter Ausschluss gentechnischer Verfahren verstanden.

2 WARUM BRAUCHEN WIR EINE EINHEITLICHE STRATEGIE FÜR FORSTPFLANZENZÜCHTUNG IN DEUTSCHLAND?

In Deutschland wird klassische Forstpflanzenzüchtung heute im Wesentlichen nur noch von drei Institutionen betrieben. Diese sind das Johann Heinrich von Thünen-Institut für Forstgenetik (vTI) des Bundes in Großhansdorf und Waldsiedersdorf, das Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft des Staatsbetriebes Sachsenforst (SBS) in Graupa und die Abteilung Waldgenressourcen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) in Hann. Münden. Die anderen in diesem Bereich tätigen Institutionen der Länder decken nur Teilbereiche der Züchtung ab oder haben sich auf andere Aufgaben in Zusammenhang mit forstlichem Vermehrungsgut konzentriert. Privates Engagement spielt nur eine untergeordnete Rolle. Diese Situation unterscheidet sich wesentlich von der beispielsweise in Frankreich, Finnland oder auch Neuseeland, wo Forstpflanzenzüchtung von einem oder zwei Instituten das ganze jeweilige Land abdeckend betrieben wird.

Vor diesem Hintergrund wundert es nicht, dass es bislang keine einheitliche Strategie für Forstpflanzenzüchtung in Deutschland gibt, die für bestimmte Baumarten oder Artengruppen ein gemeinsames Züchtungsziel definiert. Dies erscheint

aber notwendig sowohl unter ökonomischen (Leistungssteigerung bei optimaler Ressourcennutzung) als auch ökologischen (Erhaltung der Anpassungsfähigkeit) Gesichtspunkten.

Eine nationale Forstpflanzenzüchtungsstrategie ist zum einen wichtig, weil die Forstwirtschaft und damit auch die Forstpflanzenzüchtung mehr als in der Vergangenheit in grenzüberschreitende Entwicklungen und Herausforderungen (z.B. Klimaänderung, Rohstoffverknappung) eingebunden sind. Dies kommt zum Ausdruck in internationalen Abkommen wie z.B. der Konvention über die Biologische Vielfalt (CBD), in europäischen Organisationen wie den Ministerkonferenzen zum Schutz der Wälder in Europa (MCPFE) oder dem Europäischen Programm für forstgenetische Ressourcen (EUFORGEN), dem sich inzwischen 33 Länder angeschlossen haben und mit dem weitere 14, auch nichteuropäische Staaten zusammenarbeiten. Teilweise sehr konkrete Bewirtschaftungsvorgaben kommen ferner durch die Zertifizierungssysteme PEFC und FSC. Schließlich sind auch befristete, von der EU finanzierte Projekte zu nennen wie TREE-BREEDEX, die sich um die Zusammenarbeit europäischer forstlicher Züchtungsinstitutionen bemühen.

Wesentlich verbindlicher für ganz Deutschland sind rechtliche Vorgaben für den Handel mit forstlichem Vermehrungsgut, wie die Richtlinien der OECD und vor allem der EU sowie das deutsche Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) mit seinen untergesetzlichen Vorschriften.

Mit einer einheitlichen Strategie im Bereich Forstpflanzenzüchtung fiel es zum anderen leichter, sich mit den allgemeinen waldbaulichen Strategien (z. B. LÖWE für Niedersachsen, RIBES für Hessen) abzustimmen, die von den Bundesländern erarbeitet werden, um ihre forstwirtschaftlichen Ziele auf der Grundlage der oben genannten Rahmenbedingungen zu erreichen. Allerdings können viele forstpflanzenzüchterische Aktivitäten nur dann erfolgreich sein, wenn die waldbaulichen Zielvorstellungen nicht zu rasch und grundlegend verändert werden. Wegen der jahrzehntelangen Dauer von züchterischen Vorhaben bestünde ohne eine abgestimmte langfristige Strategie die Gefahr, dass einmal gefasste Ziele verändert werden, bevor sie überhaupt erreicht werden können.

Eine abgestimmte Strategie im Bereich Forstpflanzenzüchtung würde auch Politik, Verwaltungen und Betriebsleitungen helfen, neue Gesetze und Verwaltungsvorschriften zu formulieren oder Aufträge an nachgeordnete Dienststellen zu erteilen und die dafür erforderlichen Mittel langfristig bereitzustellen.

Auf nationaler, besonders aber auf internationaler Ebene wäre eine strategische Grundlage sehr hilfreich, um Fördermittel für Forschungsprojekte einzuwerben. Die Chancen, für ein isoliertes Projekt von regional sehr begrenzter Wirkung finanzielle Unterstützung zu bekommen, sind sehr gering. Sie steigen hingegen deutlich an, wenn es gelingt, andere Partner mit gleichen Zielen in einen Verbund einzubeziehen.

Die Sinnhaftigkeit von Forstpflanzenzüchtung wird gelegentlich grundsätzlich in Frage gestellt (z.B. BURSCHEL, 1989). Züchterische Aktivitäten im und für den Wald werden von Naturschützern als von Menschen veranlasste Störung natürlicher Prozesse angesehen. Mithilfe einer auch Aspekte des Naturschutzes berücksichtigenden Strategie ließe sich die Akzeptanz züchterischer Maßnahmen deutlich erhöhen.

Schließlich würde eine solche langfristig ausgerichtete Strategie mehr Planungssicherheit für Samen- und Baumschulbetriebe schaffen und könnte dazu beitragen, dass sich die Marktpartner besser, als dies bisher der Fall ist, aufeinander abstimmen (PEIN, 2006).

Viele Versuche im Bereich Forstpflanzenzüchtung werden als Gemeinschaftsprojekt mehrerer nationaler oder sogar internationaler Forschungsanstalten angelegt, betreut, aufgenommen und ausgewertet. Notwendigkeit, Ziele und Vorgehensweisen dieser Versuche müssen aufeinander abgestimmt werden. Eine strategische Grundlage wäre hierbei mit Sicherheit hilfreich.

Auf nationaler Ebene ist die Arbeitsgemeinschaft der Länderinstitutionen für Forstpflanzenzüchtung¹ dabei, ein Handbuch zu erstellen, in welchem für forstliche Vergleichsprüfungen standardisierte Handlungsempfehlungen gegeben werden.

Im europäischen TREEBREEDEX-Projekt wird zurzeit eine webbasierte Datenbank aufgebaut, die allen Nutzern als virtuelles Forstpflanzenzüchtungszentrum Informationen zu nationalen Züchtungsprogrammen und Ergebnisse von Versuchen zur Verfügung stellt.

¹ Der Arbeitsgemeinschaft gehören die mit Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik betrauten Institutionen der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und des Bundes an.

3 WAS UNTERSCHIEDET FORST- PFLANZENZÜCHTUNG VON ANDEREN ZÜCHTUNGSBEREICHEN?

Forstpflanzenzüchtung arbeitet mit Waldbäumen und damit im Vergleich zur landwirtschaftlichen Züchtung mit langlebigen Züchtungsobjekten. Lange Regenerationszeiten der Bäume bestimmen die Züchtungszyklen. Hinreichend groß muss aber auch die genetische Vielfalt sein, um es Baum- und Strauchpopulationen zu ermöglichen, langfristig zu überleben und sich zu reproduzieren. Daraus ergeben sich spezifische Probleme, die es in anderen Züchtungsbereichen so nicht gibt:

Erfolge forstpflanzenzüchterischer Maßnahmen können sich aufgrund der langen Regenerationszeiten vielfach erst nach vergleichsweise langen Zeiträumen einstellen. Diese Zeiträume verlängern sich noch beträchtlich, wenn weitere Selektionsschritte vorgesehen sind, wie etwa die Auswahl und erneute Prüfung der besten Bäume aus den besten Nachkommenschaften einer Bestandesprüfung. Innerhalb dieser langen Zeiträume können sich wichtige Rahmenbedingungen erheblich verändern. Das gilt nicht nur für ökonomische Bedingungen wie Holzverwertungsmöglichkeiten und die Entwicklung von Preisen und Kosten, sondern auch für daraus abgeleitete waldbauliche Zielvorgaben, die immer wieder dazu führen, dass sich das Interesse an bestimmten Baumarten grundlegend verändern kann.

Ein typisches Beispiel ist hier die Pappelzüchtung, die in den 1990er Jahren nach langer Aufbauarbeit in Deutschland fast eingestellt wurde und seit einigen Jahren in Zusammenhang mit der Rohstoffverknappung und der raschen Erzeugung von Biomasse wieder als notwendig eingefordert wird.

Hinzu kommt, dass Fördergelder für Forschungsvorhaben in aller Regel nur für drei Jahre bewilligt werden, eine Frist, die für viele Fragestellungen der Forstpflanzenzüchtung viel zu kurz ist. Andererseits bestehen nur wenige Möglichkeiten, im Nachhinein über Sortenschutz- und Patentrechte oder über Markennamen wie silvaSELECT® Aufwendungen für Forschungen zu finanzieren. Diese ungünstigen ökonomischen Bedingungen führen dazu, dass

Forstpflanzenzüchtung in Deutschland fast ausschließlich von staatlich finanzierten Forschungsanstalten betrieben wird. Der Sparzwang in diesen Institutionen wirkt sich auch auf die Arbeiten in diesem Bereich negativ aus.

Aber auch die ökologischen Rahmenbedingungen verändern sich in den genannten Zeiträumen gravierend. Das gilt nicht nur für biotische Einwirkungen durch Insekten und Pilze oder für kurzfristige Wettererscheinungen (Frost, Sturm, ...), sondern, wie uns zunehmend deutlich wird, auch für das Klima. So kann es durchaus sein, dass eine südliche Herkunft in einem Herkunftsversuch versagt oder anderen Herkünften unterlegen ist, weil sie noch zu Zeiten ausgepflanzt wurde, wo es für sie zeitweise zu kalt war. Dieselbe Herkunft könnte sich, 20 Jahre später ausgebracht, völlig anders entwickeln.

Eine weitere Besonderheit der Forstpflanzenzüchtung ist, dass sie mit weitgehend vom Menschen unbeeinflussten Ausgangspopulationen arbeitet. Anders als Kulturpflanzen handelt es sich bei Waldbäumen um „Wildpflanzen“ mit hoher genetischer Diversität (FLADUNG, 2008).

Auch in psychologischer Hinsicht hat Forstpflanzenzüchtung keinen leichten Stand. Der Wald und seine Bäume werden von vielen Menschen als Bestandteil einer noch weitgehend heilen Natur betrachtet, die man nicht manipuliert sehen möchte. So wurde Züchtung in Zusammenhang mit Waldbäumen quasi zum Unwort und infolgedessen auch vorsorglich aus den Namen einiger damit befasster Institutionen verbannt. Ähnliche Ressentiments bestehen gegenüber Klonen und Samenplantagen, Begriffe, die Assoziationen zur unerwünschten Plantagenforstwirtschaft wecken und zugleich mit genetischer Einengung in Verbindung gebracht werden. In der Folge spricht man, ähnlich wie im Englischen, statt von Samenplantagen lieber von Samengärten. Auch die vielfach zu unkritische Nutzung der Naturverjüngung gehört in diesen Zusammenhang. Wenn dabei ein aus genetischer Sicht ungeeigneter

Bestand natürlich verjüngt wird, gilt das als naturgemäß und damit positiv im Gegensatz zur Kunstverjüngung, auch wenn man für den Standort besser geeignetes Material verwendete.

Die Durchführung züchterischer Maßnahmen stellt die Akteure vor besondere Herausforderungen. Die meisten Bäume blühen und fruktifizieren erst in höherem Alter, wenn der Baum schon eine

beachtliche Höhe erreicht hat. Damit sind die Blüten und Samen nur durch Besteigen mit Leitern oder mit Hubsteigern erreichbar. Gelenkte Freiland-Kreuzungen unterliegen ähnlichen Erschwernissen. Vielfach müssen diese Arbeiten in abgelegenen Gegenden und bei unwirtlichen Witterungsbedingungen durchgeführt werden.

4 ZIELE DER FORSTPFLANZENZÜCHTUNG

Am Anfang jeder züchterischen Arbeit steht die Definition eines Züchtungsziels. Auf dieses ausgerichtet findet dann die Züchtung als zielgerichteter Prozess statt. Dabei kann ein Züchtungsziel die Verbesserung eines Merkmals oder einer Gruppe von Merkmalen sein. Als generelle Ziele kommen vor allem in Frage (in Klammern Beispiele):

- Ertragssteigerung (Volumen)
- Qualitätsverbesserung (Geradschaftigkeit, Feinästigkeit)
- Umwelttoleranz (Trockenstress)
- Krankheitsresistenz (Pilzresistenz)

Um die gesteckten Züchtungsziele zu erreichen, können unterschiedliche Züchtungsverfahren verwendet werden, deren Einsatzmöglichkeit wiederum von diversen Faktoren wie beispielsweise der Reproduktionsbiologie oder der Vermehrungstechnik der Baumarten abhängig sind. Voraussetzung jeder Züchtung ist weiterhin, dass die Merkmale, auf die gezüchtet werden soll, einer genetischen Kontrolle unterliegen. Klassische Züchtungsverfahren sind

- Auslesezüchtung,
- Kreuzungszüchtung einschließlich Kombinations-, Hybrid- und Heterosiszüchtung sowie
- Mutationszüchtung einschließlich gentechnischer Verfahren.

In Deutschland wird weit überwiegend „**ausgewähltes Vermehrungsgut**“ verwendet. Da die **Bestandesauswahl** auf okularer Einschätzung einiger Merkmale basiert, die ausgehend von der jeweiligen genetischen Variation auch umwelt- und standortabhängig variieren, ist der Züchtungsfortschritt nur als gering einzuschätzen. Erst mit der Verwendung „**geprüften Vermehrungsgutes**“ hat eine Selektion bzw. Kombination stattgefunden, die einen deutlich größeren Züchtungsfortschritt

ergibt.

In **Bestandesprüfungen** wird im Vergleich zu im Forstvermehrungsgutrecht festgelegten Standardbeständen die Überlegenheit der Nachkommenschaft eines Bestandes auf mehreren Versuchsflächen umwelt- und standortunabhängig geprüft. Die statistisch signifikante, vom Forstvermehrungsgutrecht geforderte Überlegenheit basiert auf der genetischen Struktur der jeweiligen Bestände.

Ein anderer Züchtungsschritt ist die **Auswahl von Plusbäumen**, die dann nach vegetativer Vermehrung auf Samenplantagen zusammengefasst werden. Dieses dort geerntete „**qualifizierte Vermehrungsgut**“ weist ebenfalls bereits einen Züchtungsfortschritt auf. Viele der Samenplantagen sind zudem bereits in der Kategorie „geprüft“ zugelassen, da sie in Vergleichsprüfungen ihre Überlegenheit gegenüber Standardbeständen bewiesen haben. Ausgehend von den „qualifizierten“ Samenplantagen können über Prüfung der Nachkommen der einzelnen Plusbäume Hochzucht-samenplantagen aufgebaut werden, die einen weiteren Züchtungsfortschritt darstellen (u.a. GROTEHUSMANN, 1998, 2001; RUOTSALAINEN, 2008; WHITE et al., 2003; MCKEAND & BRIDGWATER, 1998).

Die **vegetative Vermehrung** einzelner Plusbäume ergibt einen weiteren Züchtungsfortschritt, da nach Klonprüfungen nur die besten Klone Verwendung finden (SMART et al., 2005). Durch Anbau von mehreren Einzelklonen auf derselben Fläche oder von Mehrklonsorten ist die genetische Diversität und damit die Anpassungsfähigkeit vergleichbar hoch oder sogar höher als bei Bestandesabsaaten, wie bei der Kirsche (*Prunus avium*) nachgewiesen wurde (GEBHARDT & JANSSEN, 2003). Dieses ist vor

allem wichtig bei späterer Naturverjüngung, insbesondere um auch Inzuchteffekte auszuschließen.

Letztlich kann nur eine nachhaltige Forstpflanzenzüchtung garantieren, dass die gesteckten Züchtungsziele erreicht werden, ohne die Erhaltung der zum Überleben wichtigen genetischen Anpassungsfähigkeit zu gefährden. Bei der Züchtungsarbeit muss nicht nur die Heritabilität einzelner Merkmale, sondern auch der Züchtungseinfluss auf die genetische Vielfalt und die mögliche Beeinträchtigung der Anpassungsfähigkeit beachtet werden. Die Züchtungsprodukte, seien es Bestandes- oder Samenplantagenabsaaten oder vegetativ vermehrte Mehrklonsorten, müssen erwarten lassen, dass sie bis zum Generationswechsel stabile und viable Bestände bilden können. Ein Generationswechsel durch Naturverjüngung darf zudem

keine nachteiligen Folgen, beispielsweise durch Inzuchteffekte auf die spätere Anpassungsfähigkeit haben. WEISGERBER (1990b) hat die Notwendigkeit eines Gleichgewichts zwischen Ertragsstabilität und Ertragsleistung bzw. Ertragsqualität beschrieben. Danach muss dem praxisorientierten Züchter an hohen und hochwertigen, vorrangig aber auch an sicheren Erträgen gelegen sein. Zeitgleich müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die forstlichen Genressourcen *in situ* oder *ex situ* zu erhalten.

Die anzuwendende Züchtungsstrategie ist sehr von den biologischen Gegebenheiten der einzelnen Baumarten abhängig, so dass nur eine baumartenspezifische Betrachtungsweise zielführend ist. In Tabelle 1 sind für drei unterschiedliche Baumarten die zu berücksichtigenden Aspekte aufgeführt.

Tabelle 1 / Table 1

Überlegungen zur Züchtungsstrategie bei Rot-Buche und Vogel-Kirsche sowie Schwarz- und Balsam-Pappeln für den Kurzumtrieb

Considerations of the breeding strategy concerning short rotation of beech and wild cherry as well as black poplar and balsam poplar

Baumart	Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	Vogel-Kirsche (<i>Prunus avium</i>)	Schwarz- und Balsam-Pappeln für den Kurzumtrieb (<i>Populus sp.</i>)
Ausgangslage	in Deutschland natürlich vorkommende Hauptbaumart mit relativ vielen großen Beständen, die in der Regel über Naturverjüngung in die nächste Generation überführt werden; auf Versuchsflächen schneiden örtliche Herkünfte nicht immer am besten ab	in Deutschland natürlich vorkommende Nebenbaumart mit hohem Holzwert, die in relativ kleinen Populationseinheiten vorkommt, also für Naturverjüngung i.d.R. nicht in Frage kommt; zudem sind in größeren Kirschenbeständen durch Wurzelbrut sehr viele genetisch identische Individuen vorhanden	nur die Europäische Schwarzpappel (<i>Populus nigra</i>) kommt in Deutschland von Natur aus vor; daneben finden sich zahlreiche Anbauten nicht heimischer Schwarz- und Balsampappeln und von Pappelhybriden
Stand Züchtung	viele Bestände zur Erzeugung ausgewählten Vermehrungsgutes vorhanden; nur wenige Bestände zur Erzeugung geprüften Vermehrungsgutes vorhanden; erst seit Ende der 1980er Jahre verstärkt Anlage von Herkunftsversuchen und Bestandesprüfungen	nur wenige Bestände zur Erzeugung ausgewählten Vermehrungsgutes vorhanden; keine Bestände zur Erzeugung geprüften Vermehrungsgutes vorhanden; einige Samenplantagen vorhanden; mehrere geprüfte Klone unter dem Markennamen silvaSELECT vorhanden	Heterosiseffekte durch Hybridzüchtung zwischen verschiedenen Arten aus Europa, Nordamerika und Asien sind bekannt; geprüfte Klone in einer relativ geringen Anzahl vorhanden, allerdings i.d.R. nicht für den Kurzumtrieb, sondern für den Anbau im Wald gezüchtet

Tabelle 1 / Table 1

Fortsetzung (continued)

Baumart	Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	Vogel-Kirsche (<i>Prunus avium</i>)	Schwarz- und Balsam-Pappeln für den Kurzumtrieb (<i>Populus sp.</i>).
Stand Erhaltung	In-situ-Erhaltung durch eine große Basispopulation der ausgewählten, natürlich verjüngten Bestände unproblematisch und ausreichend	durch eine relativ kleine, verstreut vorkommende Basispopulation sind zusätzlich Ex-situ-Maßnahmen zur Erhaltung der genetischen Vielfalt notwendig	Erhaltung der Vorkommen der seltenen Schwarzpappel durch Ex situ-Maßnahmen notwendig; Gefahr der Einkreuzung von artfremdem Pollen (Introgression) durch den Anbau von Pappelhybriden und nichtheimischen Pappelarten gegeben
Stand genetische Untersuchungen	Die genetischen Strukturen der Bestände sind weitgehend ähnlich, nur Ostbayern und Teile von Sachsen können vom übrigen Deutschland unterschieden werden. Der Großteil der genetischen Variation findet sich innerhalb und nicht zwischen den Beständen. Es gibt deutliche Unterschiede in der genotypischen Verteilung mit der Höhenlage. Bei naturnaher Bewirtschaftung ist die genetische Diversität nicht gefährdet.	Die genetische Variation zwischen den Beständen ist größer als innerhalb der Bestände. In den Beständen wurden klonale Strukturen festgestellt, ein ausgeprägtes Selbstinkompatibilitätssystem verhindert aber weitgehend Selbstung bzw. Verwandtenpaarung.	Die genetischen Strukturen der Vorkommen der Schwarzpappel unterscheiden sich zwischen Flusssystemen wesentlich deutlicher als entlang der Flüsse. Art- und Klonidentifikationen sind mit genetischen Methoden möglich.
Ausgewählte Bestände	als Basispopulationen notwendig; bessere repräsentative Verteilung auf die Herkunftsgebiete und Standorte wünschenswert	da nur wenige geeignete und genügend große Bestände vorhanden sind, unzureichend	Bei der heimischen Schwarzpappel sind nur sehr wenige ausreichend große Bestände vorhanden, die quantitativ und qualitativ nur selten den Kriterien des FoVG genügen.
Geprüfte Bestände	als Populationen mit geprüften, verbesserten Eigenschaften notwendig	als Populationen mit geprüften verbesserten Eigenschaften geeignet, daher Anlage von Nachkommenschaftsprüfungen wünschenswert	anzahlmäßig zu wenige Bestände, daher Prüfungen nicht zielführend
Samenplantagen	aufgrund spät einsetzender und unregelmäßiger Blüte und relativ geringem Ertrag pro Flächeneinheit unrentabel	aufgrund regelmäßiger Blüte und durch Zusammenführen von Plusbäumen geeignet	nur zur Erhaltung
Vegetativvermehrung	vegetative Vermehrung adulter Buchen nicht möglich, daher nicht zielführend	gute vegetative Vermehrbarkeit	sehr gute vegetative Vermehrbarkeit

Tabelle 1 / Table 1

Fortsetzung (continued)

Baumart	Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	Vogel-Kirsche (<i>Prunus avium</i>)	Schwarz- und Balsam- Pappeln für den Kurzumtrieb (<i>Populus sp.</i>)
Kreuzungszüchtung	wegen fehlender Vegetativvermehrungsmöglichkeiten nicht zielführend	möglich, da mit den Kreuzungsprodukten als Klone weitergearbeitet werden kann	erfolgsversprechend, da mit den Kreuzungsprodukten als Klonen weitergearbeitet werden kann
Naturverjüngung	ungeeignete Bestände (z.B. schlechte Stammqualität, Zwiesel) möglichst nicht natürlich verjüngen	nur ausreichend große Bestände bei entsprechender Stammqualität natürlich verjüngen	Naturverjüngung nur unter sehr speziellen standortlichen Gegebenheiten möglich; nur für größere Populationen geeignet
Pflanzung	möglichst mit geprüftem Vermehrungsgut	nur mit geprüftem Vermehrungsgut	nur mit geprüftem Vermehrungsgut
Fazit	Vor allem sollten ungeeignete Bestände nicht natürlich verjüngt werden, sondern durch Pflanzungen möglichst mit geprüftem Vermehrungsgut, notfalls auch mit anderen Baumarten, ersetzt werden; auch bei Neuanpflanzungen sollte vorrangig geprüftes Vermehrungsgut verwendet werden.	Pflanzungen sollten nur mit Vermehrungsgut aus Samenplantagen oder geprüftem Vermehrungsgut aus Vegetativvermehrung oder geprüften Beständen durchgeführt werden; natürliche Verjüngung sollte nur bei ausreichend großen Populationseinheiten durchgeführt werden.	Anlage von Kurzumtriebsflächen nur mit geprüftem Vermehrungsgut; Anbauempfehlungen durch die Unterschiede in der Standortangepasstheit der einzelnen Klone beachten; Gefährdung von Populationen einheimischer Arten durch Introgression beachten.
Züchtungsstrategie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Anlage von Bestandesprüfungen junger Bestände 2. Überprüfung der ausgewählten Bestände auf Eignung 3. bezogen auf Standort repräsentative Auswahl jüngerer Bestände zur Zulassung als ausgewählter Bestand 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Züchtung/Selektion vegetativ vermehrter Kirschenarten mit anschließender Klonprüfung 2. Anlage von Samenplantagen mit den gezüchteten Kirschenklonen 3. Anlage von Bestandesprüfungen, 4. Ex-situ-Erhaltungsmaßnahmen zur Ergänzung der In-situ-Erhaltung 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kreuzungszüchtung vegetativ vermehrter Pappelsorten mit anschließender Klonprüfung 2. Untersuchungen zur Introgression in heimische Arten 3. Erhaltung der genetischen Ressourcen der heimischen Schwarzpappel durch Ex-situ-Maßnahmen 4. In-situ-Erhaltung nur in wenigen größeren Populationen möglich

5 BEISPIELE FÜR INTERNATIONALE ZÜCHTUNGSPROGRAMME

Der Blick ins Ausland zeigt, dass es bereits eine Reihe sehr erfolgreicher Züchtungsprogramme bei Bäumen gibt. Hierbei liegt der Schwerpunkt bei schnellwachsenden Baumarten mit einer relativ kurzen Generationsdauer und kurzen Umtriebszeiten. Zu nennen sind hier insbesondere die Züchtungsprogramme mit verschiedenen Eukalyptus-Arten und deren Hybriden in Brasilien und Südafrika (BISON et al., 2007; DVORAK et al., 2008; GRATTAPAGLIA et al., 2004, RETIEF & STRANGER, 2009), *Pinus radiata* in Neuseeland und Australien, *Pinus taeda* im Südosten der USA (McKEAND & BRIGDEWATER, 1998), *Pinus sylvestris* in Schweden und Deutschland (KOHLSOCK & SCHNECK, 1992; HANRUP et al., 2008) und *Pinus pinaster* in Südwestfrankreich (BOUFFIER et al., 2009). Auffällig ist, dass häufig die größten Erfolge mit dem Anbau züchterisch verbesserten Materials außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebiets der Baumarten erzielt wurden.

Die ersten systematischen Züchtungsprogramme haben ihren Anfang in den 1950er Jahren. Bei der Dauer eines Züchtungszyklusses von 10 bis 20 Jahren wird in den genannten Programmen heute mit der 2. bis 5. Generation gearbeitet. Obwohl, wie bereits erwähnt, forstliche Züchtungsprogramme wesentlich langwieriger und logistisch aufwändiger sind als solche in der Landwirtschaft, ist der Züchtungsfortschritt, das heißt die Verbesserung der gezüchteten Merkmale, absolut vergleichbar mit den Erfolgen im Agrarbereich. Eine Steigerung des Zuwachses von 5 % bis zu 30 % je Züchtungszyklus konnte realisiert werden. Fast alle Züchtungsprogramme werden von mehreren Einrichtungen gemeinsam in Form von Konsortien betrieben. Häufig arbeiten öffentliche Forschungseinrichtungen und Universitäten mit privaten Firmen und Waldbesitzern zusammen, wie z.B. die „Radiata Pine Breeding Company“ in Neuseeland oder die „Association Forêt Cellulose (AFOCEL)“ in Frankreich.

Beispielhaft ist die Züchtung von Weiden für die Biomasseproduktion in Schweden. (LARSSON, 1997, 1998). Im Jahr 1998 gab es eine Fläche von 18.000 ha Kurzumtriebsplantagen mit Weiden in Schweden. Die Züchtung erfolgt hierfür durch die Firma

Svalöf Weibull AB. Mit dem Züchtungsprogramm wurde im Jahr 1987 begonnen. Ausgehend von ca. 700 Weidenklonen, die zu 15 Arten (hauptsächlich *Salix viminalis* und *Salix dasyclados*) aus Regionen in Schweden, Mitteleuropa, Russland und Sibirien gehören, wurden jährlich 200 verschiedene Kreuzungen durchgeführt. Anschließend wurden in verschiedenen Selektionsschritten Klone ausgewählt, die ein gesteigertes Wachstum, bessere Frosttoleranz sowie Resistenzen gegenüber dem Rostpilz *Melampsora* und dem Schadinsekt *Dasi-neura marginemtorquens* aufweisen. Die neu zugelassenen Klone aus diesem Züchtungsprogramm weisen einen um 30 % gesteigerten Zuwachs bei deutlich geringerer Frostempfindlichkeit für den Anbau in Mittel- und Nordschweden sowie eine fast vollständige Resistenz gegenüber dem Blattrostpilz und der Gallwespe auf. Bei den Kreuzungen wurde jeweils ein Elternteil mit bereits bekannter Wuchsüberlegenheit ausgewählt. Die eingekreuzten Klone aus Russland und Sibirien haben wesentlich zur gesteigerten Frosttoleranz und Pilzresistenz beigetragen. Die Firma hat mit verschiedenen anderen Einrichtungen in Europa kooperative Züchtungsprogramme begonnen, z.B. mit der Long Ashton Research Station in Bristol, UK.

Die Züchtung von Hybridaspens als schnellwachsende Baumart hat ebenfalls eine lange Tradition in Schweden (CHRISTERSSON, 1996). Hierbei arbeiten schwedische Züchter eng mit Kollegen aus den USA und Kanada zusammen, um Kreuzungspartner von *Populus tremuloides* aus Nordamerika für *P. tremula* aus Europa zu finden, die für Schweden ausreichend frosthart sind und vom Austriebsverhalten her die Vegetationsperiode in Schweden optimal ausnutzen.

Die umfangreichsten Züchtungen bei den Pappeln erfolgten in Europa in Belgien. Ein guter Überblick hierzu findet sich bei NANSON (2004, p.511ff.). Zu den zahlreichen europaweit verwendeten Klonen aus belgischer Züchtung gehören u. a. die bekannten Sorten „Unal“, „Beaupré“, „Boelare“ und „Fritzi-Pauley“.

6 BEISPIELE FÜR ERFOLGREICHE BEITRÄGE ZUR FORSTPFLANZENZÜCHTUNG IN DEUTSCHLAND

6.1 Erhaltung und Förderung forstlicher Genressourcen

Die Existenz genetischer Vielfalt ist eine grundsätzliche Voraussetzung für die züchterische Bearbeitung von Baumarten. Mit dem Verlust von genetischer Vielfalt wird auch der Handlungsspielraum für züchterische Aktivitäten eingeschränkt. Bereits sehr früh warnten Vertreter der Forstpflanzenzüchtung vor einer willkürlichen Einschränkung des Bestandes an genetischen Informationen (ROHMEDEK & SCHÖNBACH, 1959). Bis Ende der 1980er Jahre erfolgten daher Maßnahmen zur Erhaltung von Genressourcen vor allem im Rahmen von Züchtungsprogrammen (u.a. KLEINSCHMIT, 1985; BRAUN & KOHLSTOCK, 1990; WEISGERBER 1990a).

Unter dem Eindruck der zunehmenden Waldschäden in Ost und West Ende der 1970er Jahre und der sich daraus ergebenden Gefährdung der genetischen Ressourcen entstand 1987 ein Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen (ANONYMUS, 1989). Eine Erweiterung des Konzeptes um den Aspekt der nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen im Anhalt an die Übereinkunft über die biologische Vielfalt erfolgte im Jahr 2000 (PAUL et al., 2000). Ziele sind die Erhaltung der genetischen Vielfalt innerhalb der Baum- und Straucharten und die Erhaltung von in ihrer Existenz gefährdeten Baum- und Straucharten zur Wiederherstellung lebensfähiger Populationen. Die durchzuführenden Maßnahmen untergliedern sich in die Erfassung und Evaluierung von forstlichen Genressourcen, die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen *in situ* und *ex situ* sowie in das Monitoring von genetischen Prozessen über längere Zeiträume.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der bisherigen Arbeiten stellte in den meisten Bundesländern die Erfassung von *In-situ*-Generhaltungsbeständen dar (Tabelle 2). Bis Ende 2007 befanden sich bundesweit 80 Baum- und 40 Straucharten in Bearbeitung (ANONYMUS, 2009a). Dies entspricht 64 % der in

Deutschland vorkommenden 188 holzigen Arten (SCHMIDT et al., 2003). In Abhängigkeit von regionalen Schwerpunkten erfolgte die Erfassung von rund 5.500 *In-situ*-Generhaltungsbeständen mit einer Gesamtfläche von mehr als 17.000 ha (ANONYMUS, 2009a). Diese Fläche repräsentiert 0,2 % der Gesamtwaldfläche Deutschlands nach BWI 2 (ANONYMUS, 2004).

Für die Umsetzung von *Ex-situ*-Maßnahmen ist der Rückgriff auf bewährte Verfahren und Methoden der Forstpflanzenzüchtung erforderlich, wie z.B. die Anlage von Samenplantagen mit heterovegetativ vermehrten Baumindividuen. Letzteres ist ein Hauptinstrument zur Arterhaltung von konkurrenzschwachen, seltenen Baumarten sowie von Baumarten, die auf Grund unterschiedlicher Ursachen in ihrem Bestand gefährdet sind wie die Wildobst-, Sorbus- und Ulmenarten oder regional die Weißtanne (ANONYMUS 2006, 2009b).

Die Beschreibung von Genressourcen und ihrer Veränderung mit biochemisch-genetischen Methoden erfolgte im zunehmenden Maße routinemäßig. Dies zeigen zum Beispiel Studien, die sich mit den Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen auf die genetische Struktur von Beständen beschäftigten (u. a. HOSIUS, 1993; KONNERT & SPIECKER, 1996; WOLF, 1999, 2001a; JANSSEN & NOWACK, 2001; KÄTZEL et al., 2001; KONNERT & BAUER, 2001; ZIEHE & MÜLLER-STARCK, 2001; SCHÜTE & RUMPF, 2003; CREMER et al., 2005).

Ein von der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“ erarbeitetes Konzept zum genetischen Monitoring (ANONYMUS 2005) sowie eine Anleitung zur Durchführung bestandesbildender Baumarten (ANONYMUS 2008) wurde durch zwei Pilotstudien am Beispiel der Baumarten Rotbuche und Vogelkirsche auf seine Umsetzbarkeit hin überprüft (DEGEN, 2008; KONNERT, 2008; MAURER et al., 2008).

Tabelle 2 / Table 2

Durchgeführte Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in Deutschland (Stand: 31.12.2008)

Measures carried out on the conservation of forest genetic resources in Germany (up to 31.12.2008)

Gehölz-Gruppe	Anzahl Arten	Anzahl <i>In-situ</i> -Bestände	Fläche <i>In-situ</i> -Bestände (in ha)	Anzahl Einzelobjekte
Baumarten, die dem FoVG unterliegen	31	3.362	14.100	11.189
Sonstige Laubbaumarten	33	1.097	2.470	13.450
Sonstige Nadelbaumarten	16	199	80	7.036
Straucharten	40	862	415	2.266
Gesamt	120	5.520	17.065	33.941

6.2 Erfassung der Herkunftsversion von Baumarten und Maßnahmen zur Identitätssicherung

Ausgelöst unter anderem durch die schlechten Erfahrungen der Forstwirtschaft mit den Folgen des Anbaus von Vermehrungsgut, das für einen gegebenen Standort nicht geeignet ist, werden seit über 100 Jahren Herkunftsversuche zur Untersuchung der genetisch bedingten Variation der Waldbaumarten durchgeführt. Vor allem seit den 1950er Jahren ist es gelungen, durch nationale und internationale Herkunftsversuche den Kenntnisstand z.B. bei Europäischer Fichte, Wald-Kiefer, Europäischer und Japanischer Lärche, Douglasie, Weiß-Tanne oder Rot-Buche zu erweitern und zu präzisieren. Ergänzt werden die langjährigen Feldversuche durch unterschiedlichste Untersuchungen zur Morphologie, Phänologie, Ökophysiologie, Resistenz und Genetik, wie zum Beispiel die Arbeiten zur Weißtanne zeigen (u. a. WOLF, 1994). Eine besondere Stellung nehmen

dabei Merkmale ein, die eine direkte Anpassungsrelevanz besitzen (KLEINSCHMIT et al., 1996), wie z. B. die Merkmale Austrieb, Triebabschluss bei der Europäischen Fichte (HOLZER, 1988; FRANKE & KONNERT, 1990; WEISGERBER, 1990b) oder die Resistenz gegenüber den Schütteerregern bei der Douglasie (STEPHAN, 1973; LIESEBACH & STEPHAN, 1995; WOLF et al., 2002). Umfassende Kenntnisse über genetisch bedingte Unterschiede innerhalb einer Art entscheiden somit wesentlich über den Erfolg bzw. Misserfolg bei einem Anbau dieser Arten (siehe auch JANSSEN, 2008).

Neben der Wahl der geeigneten Herkunft für einen gegebenen Standort spielt die Frage der Identitätssicherung von forstlichem Vermehrungsgut für den Erfolg eines Anbaus eine ebenso entscheidende Rolle. Wie die Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, bieten gesetzliche Regelungen und hoheitliche Kontrollen alleine keine Gewähr, dass Vermehrungsgut unbekannter oder zweifelhafter Herkunft auf den Markt gelangen kann (KONNERT & HUSSEN-

DÖRFER, 2002). Mit der Einführung biochemisch- und molekulargenetischer Methoden in die Forstgenetik seit Beginn der 1970er Jahre stehen inzwischen Werkzeuge zur Verfügung, die bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen eine Kontrolle der Identität von Forstvermehrungsgut ermöglichen (GEBHARDT, 2008). Inzwischen gibt es in Deutschland zwei Zertifizierungssysteme für forstliches Vermehrungsgut, die das Forstvermehrungsgutgesetz der Bundesrepublik Deutschland (ANONYMUS, 2002) in freiwilliger und privatrechtlicher Form ergänzen (KONNERT & HOSIUS, 2008).

6.3 Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Qualität und Widerstandsfähigkeit

Neben der Erhaltung forstlicher Genressourcen sowie der Erforschung der geografisch-genetischen Variationsmuster von Waldbaumarten ist die Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Qualität und Widerstandsfähigkeit ein wesentliches Ziel der Forstpflanzenzüchtung (WEISGERBER, 1983). Besondere Bedeutung kommt hierbei der Auslese von Individuen und Populationen nach forstlichen Wertvorstellungen sowie der Neukombination von Merkmalen durch die Kreuzung von Individuen zu. Im Sinne des Übereinkommens über die biologische Vielfalt stellen diese Arbeiten der Forstpflanzenzüchtung die Nutzung genetischer Ressourcen dar.

Bei der Gattung Pappel haben die Auslesezüchtung, die Kreuzungszüchtung und die Kombination beider Verfahren zusammen mit vegetativen Vermehrungsverfahren, begünstigt durch die reproduktionsbiologischen Voraussetzungen der Gattung, ein frühes Anwendungsfeld gefunden. Vor allem mit Pappelarten der Sektionen *Aigeiros*, *Tacamahaca* und *Leuce* konnten wesentliche Verbesserungen in der Wuchsleistung, Qualität und der Widerstandsfähigkeit bei den gezüchteten Pappelsorten erzielt werden. Hierzu gehören Merkmale wie Wüchsigkeit, Biomasseproduktion, Astigkeit, Rindenanteil oder Widerstandsfähigkeit gegen den Befall mit Pappelblattrost oder der Triebspitzenkrankheit (u. a. FRÖHLICH & GROSSCURTH, 1973; WEISGERBER, 1983).

Seit den 1950er Jahren ist die Auslese von phänotypisch herausragenden Bäumen („Plusbäume“), deren Vermehrung durch Pfropfung und die

Begründung von Plusbaum-Samenplantagen eine kontinuierlich verfolgte Aufgabe der Institutionen für Forstpflanzenzüchtung. Samenplantagen, die als Ausgangsmaterial für die Gewinnung von Vermehrungsgut der Kategorie „Qualifiziert“ zugelassen werden, bieten neben der bekannten Identität jeden Klons eine Zusammenfassung der phänotypisch besten Genotypen einer Region, eines Herkunftsgebiets oder eines Wuchsbezirks. Wie bereits eine Reihe von Vergleichsprüfungen gezeigt hat, erweist sich dabei Vermehrungsgut, das von Samenplantagen abstammt, vielfach dem Vermehrungsgut der Kategorie „Ausgewählt“ unter anderem bei den Stammform-Eigenschaften oder dem Wachstum überlegen (RAU, 1998c).

Im Zusammenhang mit dem zunehmenden Auftreten von Waldschäden durch Luftschadstoffe in den 1960er und 1970er Jahren rückte die Immissionsresistenz-Züchtung vor allem bei der Baumart Fichte in beiden deutschen Staaten in den Mittelpunkt des Interesses (TZSCHACKSCH, 1981; KLEINSCHMIT, 1983; von SCHÖNBORN & WEBER, 1981; SCHOLZ, 1983). Grundlage der Arbeiten war die in verschiedenen Untersuchungen nachgewiesene genetische Bedingtheit der SO₂-Resistenz (ROHMEDE & von SCHÖNBORN, 1965; TZSCHACKSCH & WEISS, 1972; KARNOSKY, 1977; TZSCHACKSCH, 1982). In unterschiedlich intensiven Programmen erfolgte die Auslese von vitalen Altfichten in den stark bis sehr stark mit SO₂-Immissionen belasteten Mittelgebirgsregionen Deutschlands (vor allem des Erzgebirges) sowie den angrenzenden Gebirgen in Polen und der heutigen Tschechischen Republik. Diese Fichten wurden über Stecklinge vermehrt und auf SO₂-belasteten Standorten geprüft (WOLF, 2001b). Die untersuchten Klone wiesen signifikante Unterschiede in ihrer SO₂-Toleranz auf. Andererseits zeigten die über autovegetative Vermehrung von adultem Ausgangsmaterial erzeugten Pflanzen im Vergleich zu gleich alten Sämlingspflanzen vielfach keine befriedigenden Ergebnisse bei der Überlebensrate, dem Höhenwachstum und der Wuchsform (WOLF, 2001b). Der signifikante Rückgang der SO₂-Belastung der Mittelgebirge bis zu Beginn des 21. Jahrhunderts beendete alle weiteren Anstrengungen zur Zulassung einer SO₂-toleranten Fichten-Klonmischung (WOLF, 2001b).

Ein weiteres und erfolgreiches Beispiel für die Verbesserung von Eigenschaften durch die Auslese von Einzelbäumen und deren vegetative

Vermehrung stellt die praxisreife Entwicklung von über 40 Vogelkirschen-Klonen in Hessen und Niedersachsen dar. Nach langjähriger Feldprüfung und Zulassung der Klone als Ausgangsmaterial für die Erzeugung von „Geprüftem Vermehrungsgut“ stehen dem Markt unter dem Markennamen silvaSELECT® Vogelkirschen-Klone zur Verfügung, die sich gegenüber handelsüblichen Vermehrungsgut durch überdurchschnittliche Wüchsigkeit, Wuchsform und Anwuchserfolg auszeichnen (GEBHARDT & BOHNENS, 2002; siehe hierzu auch www.silvaselect.de).

Neben der Auslese von Einzelbäumen ist die Auslese von Beständen und Samenplantagen nach langjähriger Prüfung der Nachkommenschaften ein weiteres Instrument zur Verbesserung von Leistungsfähigkeit, Qualität und Widerstandsfähigkeit. Für eine Reihe von Baumarten wie Europäische Lärche, Fichte, Kiefer, Douglasie, Stiel- und Traubeneiche, Buche oder Schwarz-Erle erfolgte nach erfolgter Vergleichsprüfung in den vergangenen Jahren die Zulassung von Beständen und Samenplantagen als Ausgangsmaterial für die Gewinnung von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ (u. a. GROTEHUSMANN, 1998; RAU, 1998b, 1998c, 2007, 2009; KLEINSCHMIT, 2000).

Mit Hilfe der Kreuzungszüchtung sind im Vergleich zur Auslesezüchtung deutlich größere Verbesserungen von Eigenschaften bei gleichzeitiger Stabilität der Nachkommenschaften möglich. So verfügen Nachkommen von zwischenartlichen Kreuzungen zwischen der Europäischen und der Japanischen Lärche vielfach über eine höhere Standortstoleranz

als die Europäische Lärche. Wie ältere Versuchsanbauten auf sehr unterschiedlichen Standorten in Sachsen zeigen, erreichen Hybridlärchen auch über längere Wuchszeiträume im Vergleich zu den reinen Elternarten bessere Wuchsleistungen bei guten bis sehr guten Schaftformen und bei höherer Resistenz gegenüber verschiedenen abiotischen und biotischen Schadfaktoren (HERING & BRAUN, 1990, 1992; HERING & HAASEMANN, 1996).

Ein anderes Beispiel sind die seit Beginn der 1960er Jahre durchgeführten innerartlichen Kreuzungen zwischen den Douglasienvarietäten „*viridis*“ und „*glauca*“, um eine frostharte und wüchsige Douglasie herzustellen. Im Ergebnis der jahrzehntelangen Arbeiten sind Kreuzungskombinationen mit Eigenschaften entstanden, die dem Zuchtziel entsprechen (u. a. SCHÖNBACH & BELLMANN, 1967; BRAUN & SCHMIEDEL, 1985; BRAUN, 1999). Mehrere Kombinationen zwischen Elternbäumen der Varietäten „*viridis*“ und „*glauca*“ zeigen signifikant überlegene Wachstumswerte, geringere Mortalität sowie eine überdurchschnittliche Frostresistenz bei durchschnittlicher Schaftform und Schütterresistenz. Auch in diesen Fällen stand am Ende des Züchtungsverfahrens die Zulassung der Elternbäume dieser Nachkommenschaften als Ausgangsmaterial für die Erzeugung von „Geprüftem Vermehrungsgut“.

7 ERREICHTES UND NICHT ERREICHTES

Auf Grundlage der Ergebnisse der Herkunftsfor-schung haben nahezu alle Bundesländer regional differenzierte Empfehlungen für die Verwendung von Forstvermehrungsgut nach seiner genetischen Qualität (geprüft, qualifiziert, ausgewählt) herausgegeben. Die Herkunftsempfehlungen bieten einerseits dem Waldbesitzer wichtige Informationen, um die Risiken bei der Waldverjüngung bzw. bei der Erstaufforstung durch die Verwendung von standörtlich geeigneten Herkünften zu verringern. Sie finden Berücksichtigung in den jeweiligen

Waldbau- und Förderrichtlinien. Auch spielt die Verwendung von herkunftsgerechtem Vermehrungsgut ihren Niederschlag in den einschlägigen Zertifizierungssystemen PEFC und FSC. Andererseits dienen die Herkunftsempfehlungen als Hilfe auch der Forstsaamen- und Forstpflanzenbranche als Produzent und Anbieter von Forstvermehrungsgut bei der Entscheidung, welches Vermehrungsgut dem Kunden zur Verfügung gestellt werden soll.

Ein wesentlicher Schritt zu mehr Sicherheit für den Abnehmer von Forstvermehrungsgut stellt die

Einführung von Herkunftssicherungsverfahren auf Grundlage von Referenzproben dar. Diese Verfahren ergänzen die rechtlichen Bestimmungen des Forstvermehrungsgutgesetzes in sinnvoller Weise.

Während diese Ergebnisse der Forstpflanzenzüchtung auf breite Akzeptanz stoßen, werden die Anstrengungen zur Verbesserung von genetisch bedingten Eigenschaften durch eine zum Teil unzureichende Anwendung einschlägiger Erkenntnisse in Forstverwaltungen und Forstpraxis konterkariert. Hierzu gehören die unzureichende Verwendung von verfügbarem hochwertigem Vermehrungsgut, die Verwendung von nicht

herkunftsgesichertem oder genetisch eingegengtem Vermehrungsgut, Naturverjüngung ohne kritische Würdigung des Ausgangsbestandes sowie eine Art Versandhauskatalog-Mentalität bei der Beschaffung von Vermehrungsgut (ANONYMUS, 2001). Diese Verhaltensweise wird durch die derzeitige Praxis von Ausschreibung und Zuschlagserteilung gefördert. Der Mehrwert dieser Produkte war lange Zeit in vielen Fällen auf dem Markt nicht durchsetzbar und daher im Preis nicht erkennbar. Abgesehen davon steht der nachgewiesenen Überlegenheit von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ bis zum heutigen Tage vielfach die Zurückhaltung des Käufers entgegen (RAU, 1998a; PEIN, 2006).

8 HANDLUNGSBEDARF

Nach einer Periode intensiver Züchtungstätigkeiten bei Waldbäumen vor allem zwischen 1960 und 1980 haben diese im Zuge der Zunahme der naturnahen Waldwirtschaft und der Bevorzugung der Naturverjüngung in Deutschland stetig abgenommen. Erst der Klimawandel sowie steigende Rohstoffpreise haben die Diskussionen zur Forstpflanzenzüchtung auch bei uns neu entfacht.

Bisherige Aktivitäten in diesem Bereich, wie

- die Erarbeitung regional differenzierter Herkunftsempfehlungen nach genetischer Qualität des Vermehrungsguts (geprüft, qualifiziert, ausgewählt),
- die Gewährleistung der Herkunftssicherheit von Vermehrungsgut guter „konventioneller“ Elternbäume in zugelassenen Beständen,
- die Anlage von Samenplantagen, zahlreiche Herkunftsversuche und
- das Konzept zur Erhaltung forstlicher Genresourcen

sind wichtige Bausteine, aber nur Teilbereiche einer nachhaltigen Züchtung. Was fehlt, ist eine nationale Strategie für nachhaltige Züchtung für Deutschland zur Steigerung der Holzproduktion und zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels durch Erhaltung der genetischen Anpassungsfähigkeit. Eine solche Strategie muss für einzelne Baumarten Züchtungsprogramme enthalten, die sich an dem Züchtungsziel und den biologischen Besonderheiten der jeweiligen Baumarten ausrichten.

Züchtungsprogramme gibt es weltweit in vielen Staaten. Die Ergebnisse daraus können aber nicht automatisch auf Deutschland übertragen werden, da es sich vielfach um andere Baumarten und andere Standortbedingungen handelt, unter denen die Züchtungsfortschritte erzielt wurden. Für Deutschland fehlen solche Programme gänzlich.

Ein wichtiger Teil einer Züchtungsstrategie, vor allem im Klimawandel, sind Herkunftsversuche. Sie sind die einzige Möglichkeit, die zu erwartenden Umweltänderungen auf Wachstum und Stabilität auf sehr unterschiedlichen Standorten und über lange Zeiträume herauszuarbeiten. Die Ergebnisse solcher Versuche bilden die Grundlage für fundierte Herkunftsempfehlungen gerade im Klimawandel, wo das Primat der autochthonen Herkunft zunehmend hinterfragt werden muss. Die Neuanlage von Herkunftsversuchen auch mit fremdländischen Baumarten, die Erweiterung des Herkunftsspektrums bei Baumarten, für die bereits Versuche bei uns vorhanden sind, und die neuerliche Auswertung vorhandener Versuche unter dem Aspekt des Klimawandels sind dringend notwendig.

Zurzeit nimmt das „geprüfte Vermehrungsgut“ einen geringen, seiner Bedeutung nicht angemessenen Anteil an dem gesamten in den Wald gebrachten Vermehrungsgut ein. Daher muss die Steigerung des Anteils an „geprüftem Vermehrungsgut“ Teil einer Züchtungsstrategie sein. Dies kann aber nur gelingen, wenn der durch Züchtung erreichte

Mehrwert im Preis des Vermehrungsgutes erkennbar wird.

Komplexe Züchtungsprogramme bei Waldbäumen können nur erfolgreich sein, wenn sie klare Zielsetzungen haben. Sie müssen von den Bundesländern und Institutionen übergreifend in Angriff genommen, finanziert und koordiniert werden wie auch auf lange Zeit ausgerichtet sein.

Die internationale Zusammenarbeit mit Versuchs- und Forschungsanstalten z.B. in internationalen Netzwerken wie TREEBREEDEX, gewährleistet die Berücksichtigung der Züchtungsergebnisse anderer Länder und des neuesten wissenschaftlichen Fortschritts.

9 LITERATUR

- ANONYMUS (1989): Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. *Forst und Holz* 44: 379-404.
- ANONYMUS (2001): Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen – Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft der Länderinstitutionen für Forstpflanzenzüchtung. *Forst und Holz* 56: 570-572.
- ANONYMUS (2002): Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) vom 22.05.2002. BGBl. 2002 Teil I, Nr. 32, S.1658.
- ANONYMUS (2004): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI². Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Berlin, 87 Seiten.
- ANONYMUS (2005): Konzept zum genetischen Monitoring für Waldbaumarten in der Bundesrepublik Deutschland. http://blag-documents.genres.de/genetisches-monitoring/anhang_2.htm.
- ANONYMUS (2006): Tätigkeitsbericht 2001–2004 der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“. <http://blag.fgr.genres.de/ber-0104/index.htm>.
- ANONYMUS (2008): Anleitung zur Durchführung des genetischen Monitorings für bestandesbildende Baumarten, 16 Seiten. <http://www.genres.de/fgrdeu/>.
- ANONYMUS (2009a): FGRDEU_Online – Bestände forstgenetischer Ressourcen in Deutschland (Stand 15.09.2009). <http://fgrdeu.genres.de/>.
- ANONYMUS (2009b): Fortschrittsbericht 2005–2008 der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“. <http://blag.fgr.genres.de/ber-0508/bericht-0508.pdf>
- BISON, O., RAMALHO, M.A.P., REZENDE, G., AGUIAR, A.M. DE & RESENDE, M.D.V. (2007): Combining ability of elite clones of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* with *Eucalyptus globulus*. *Genetics and Molecular Biology* 30: 417-422.
- BOUFFIER, L., RAFFIN, A., ROZENBERG, P., MEREDIEU, C. & KREMER, A. (2009): What are the consequences of growth selection on wood density in the French maritime pine breeding programme? *Tree Genetics & Genomes* 5: 11-25.
- BRAUN, H. (1999): Douglas-fir breeding in Saxony. *Silvae Genetica* 48: 69-77.
- BRAUN, H. & SCHMIEDEL, H. (1985): Ergebnisse der Anbauprüfung intraspezifischer Douglasienhybriden unter besonderer Berücksichtigung der Frostresistenz. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 19: 69-73.
- BRAUN, H. & KOHLSTOCK, N. (1990): Aufgaben und Ergebnisse der Forstpflanzenzüchtung speziell für die Immissionsschadgebiete der Mittelgebiere der DDR. *AFZ* 45: 868-873.
- BURSCHEL, P. (1989): Waldbau – Forstgenetik – Forstpflanzenzüchtung. *Forst und Holz* 44: 665-673.
- CHRISTERSSON, L. (1996): Future research on hybrid aspen and hybrid poplar cultivation in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 11: 109-113.
- CREMER, E., RUMPF, H., WOLF, H., MAURER, W. & STEINER, W. (2005): Führen Durchforstungen zu Veränderungen der genetischen Strukturen von Buchenbeständen? *Forst und Holz* 60: 184-188.
- DEGEN, B. (2008): Genetisches Monitoring bei der Wildkirsche (*Prunus avium*). <http://blag.fgr.genres.de/generhaltung20/index.html>.
- DVORAK, W.S., HODGE, G.R. & PAYN, K.G. (2008): The conservation and breeding of *Eucalyptus urophylla*: a case study to better protect important populations and improve productivity. *Southern Forests* 70: 77-85.
- FLADUNG, M. (2005): Domestikation von Bäumen. *AFZ/ Der Wald* 60: 229-231.
- FRANKE, A. & KONNERT, M. (1990): Nachkommenschaftsprüfung von Fichtenbeständen des Schwarzwaldes (Herkunftsgebiete 840 08 und 840 09). Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 60, 97 Seiten.
- FROELICH, H.J. & GROSSCURTH, W. (1973): Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 267 Seiten.
- GEBHARDT, K. (2008): Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, 146 Seiten.
- GEBHARDT, K. & BOHNENS, J. (2002): Wuchsleistungen mikrovermehrter hessischer Wildkirschen-Selektionen. *Forst und Holz* 57: 582-584.
- GEBHARDT, K. & JANSSEN, A. (2003): Aufbau einer Mehrklonsorte Vogelkirsche (*Prunus avium* L.) für Hessen. In: Tagungsbericht 25. Intern. Tagung der AG Forstgenetik & Forstpflanzenzüchtung am 23.-25.10.2002, Teisendorf, S.137-148.
- GRATTAPALIA, D., RIBEIRO, V.J. & REZENDE, G. (2004): Retrospective selection of elite parent trees using paternity testing with microsatellite markers: an alternative short term breeding tactic for *Eucalyptus*. *Theoretical and Applied Genetics* 109: 192-199.

- GROTEHUSMANN, H. (1998): Geprüftes Vermehrungsgut aus Kiefern- und Erlen-Samenplantagen. *AFZ/Der Wald* 53: 240-244.
- GROTEHUSMANN (2001): Prüfung einer Schwarzerlen-Samenplantage. *AFZ/Der Wald* 56: 1389-1391.
- HATTEMER, H.H., BERGMANN, F. & ZIEHE, M. (1993): Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main, 492 Seiten.
- HANRUP, B., JANSSON, G. & DANELL, O. (2008): Genotype by Environment Interaction in *Pinus sylvestris* L. in Southern Sweden. *Silvae Genetica* 57: 306-311.
- HERING, S. & BRAUN, H. (1990): Hybridlärchenhochzuchtarten für die Mittelgebirge der DDR. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 40: 174-176.
- HERING, S. & BRAUN, H. (1992): Some results of larch hybrid breeding at Graupa. In: Weisgerber, H. (ed.): *Results and Future Trends in Larch Breeding on the Basis of Provenance Research. Proceedings of the IUFRO Centennial Meeting of the Working Party S 2.02-07*, pp.146-159.
- HERING, S. & HAASEMANN, W. (1996): Wuchsleistung von Hybridlärchen in Sachsen. *AFZ/Der Wald* 51, 619-621.
- HOLZER, K. (1988): Die Vegetationszeitlänge bei Fichtensämlingen - ihre Bedeutung und ihre Beeinflussbarkeit durch Umweltfaktoren. *Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien* 28: 73-86.
- HOSIUS, B. (1993): Wird die genetische Struktur eines Fichtenbestandes von Durchforstungseingriffen beeinflusst? *Forst und Holz* 48: 306-308.
- JANSSEN, A. (2008): Bedeutung der Herkunftswahl bei forstlichem Vermehrungsgut. In: Gebhardt, K. (Hrsg.): *Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, S.7-15.
- JANSSEN, A. & NOWACK, S. (2001): Können Durchforstungen die genetische Struktur von Buchenbeständen beeinflussen? *AFZ-Der Wald* 56: 614-615.
- KARNOSKY, D.F. (1977): Evidence for genetic control of response to sulphurdioxid and ozone in *Populus tremuloides*. *Canadian Journal of Forest Research* 7: 437-440.
- KÄTZEL, R., NORDT, B. & SCHMITT, J. (2001): Untersuchungen zum Einfluss der Durchforstungsintensität auf die genetische Struktur von Kiefernbeständen in den Berliner Forsten auf der Grundlage von Isoenzym- und DNA-Markern. In: *Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*. Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna, S.159-170.
- KLEINSCHMIT, J. (1983): Möglichkeiten der Züchtung resistenter Waldbäume für die immissionsbelasteten Flächen. *Der Forst- und Holzwirt* 38: 196-199.
- KLEINSCHMIT, J. (1985): Arbeiten der Abt. Forstpflanzenzüchtung der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und Aufgaben zur Minderung der Immissionschäden. *Der Forst- und Holzwirt* 40: 439-446.
- KLEINSCHMIT, J. (2000): Bestände und Samenplantagen von Stiel- und Traubeneiche. *AFZ/Der Wald* 55: 512-513.
- KLEINSCHMIT, J., SVOLBA, J. & KLEINSCHMIT, J.R.G. (1996): Variation anpassungsrelevanter, phänotypischer Merkmale. In: Müller-Starck, G. (Hrsg.): *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*. ecomed verlagsgesellschaft, Landsberg, S.38-59.
- KLEINSCHMIT, J.R.G. (2004): Aspekte nachhaltiger Züchtung. Methodenkritik, entwicklung und -anwendung. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen. 214 Seiten.
- KOHLSTOCK, N. & SCHNECK, H. (1992): Scots Pine Breeding (*Pinus sylvestris* L) at Waldsiefersdorf and Its Impact on Pine Management in the Northeastern German Lowland. *Silvae Genetica* 41: 174-180.
- KONNERT, M. (2008): Maßnahmen zur Erhaltung genetischer Ressourcen bei Hauptbaumarten - das Beispiel Rot-Buche. <http://blag.fgr.genres.de/generhaltung20/index.html>.
- KONNERT, M. & SPIECKER, H. (1996): Beeinflussen Nutzungen einzelner Bäume die genetische Struktur von Beständen? *AFZ/Der Wald* 51: 1284-1291.
- KONNERT, M. & BAUER, M. (2001): Auswirkungen von Durchforstungen auf die genetische Struktur von Beständen am Beispiel der Fichte (Jungdurchforstung) und der Buche (Altdurchforstung). In: *Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*. Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna, S.151-158.
- KONNERT, M., HUSSENDÖRFER, E. (2002): Herkunftssicherung bei forstlichem Vermehrungsgut durch Referenzproben. *Allgemeine Forest und Jagd- Zeitung* 173: 97-104.
- KONNERT, M. & HOSIUS, B. (2008): Zur Kontrolle und Zertifizierung von Forstlichem Vermehrungsgut unter Nutzung von Labormethoden. In: Gebhardt, K. (Hrsg.): *Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, S.132-139.
- LARSSON, S. (1997): Commercial breeding of willow for short rotation coppice. *Aspects of Applied Biology*, pp.215-218.
- LARSSON, S. (1998): Genetic improvement of willow for short-rotation coppice. *Biomass and Bioenergy* 15: 23-26.
- LIESEBACH, M. & STEPHAN, B.R. (1995): Growth Performance and Reaction to Biotic and Abiotic Factors of Douglas Fir Progenies (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). *Silvae Genetica* 44: 303-311.
- McKEAND, S.E. & BRIDGWATER, F.E. (1998): A strategy for the third breeding cycle of loblolly pine in the Southeastern US. *Silvae Genetica* 47: 223-234.
- MAURER, W.D., CREMER, E., DEGEN, B., KONNERT, M. & TRÖBER, U. (2008): Erfassung genetischer Strukturen wichtiger Baumarten, Teillos 1: Erfassung der genetischen Struktur der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) als Grundlage für ein genetisches Monitoring wichtiger Waldbaumarten in Deutschland. BLE-Fördervorhaben 2805BE003/1; Endbericht, 81 Seiten, unter www.ble.bund.de/.../ProjektberichtRotbuche.pdf
- NANSON, A. (2004): *Génétique et amélioration des arbres forestiers* Les Presses Agronomiques de Gembloux A.S.B.L., Gembloux (B), 712 pages.
- PAUL, M., HINRICHS, T., JANSSSEN, A., SCHMIDT, H.P., SOPPA, B., STEPHAN, B.R. & DÖRFLINGER, H. (2000): Konzept zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. Sächsische Landesanstalt für Forsten, Pirna, 66 Seiten.

- PEIN, J. (2006): Verwendung von genetisch höherwertigem forstlichem Vermehrungsgut aus der Sicht eines Forstpflanzenproduzenten. In: Rau, H.-M. (Hrsg.): Forstliche Genressourcen als Produktionsfaktor. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, S.26-32.
- RAU, H.-M. (1998a): Geprüftes Vermehrungsgut. AFZ/Der Wald 53: 234.
- RAU, H.-M. (1998b): Samenplantagen mit Europäischer Lärche. AFZ/Der Wald 53: 235.
- RAU, H.-M. (1998c): Vermehrungsgut von Samenplantagen im Vergleich zu handelsüblichen Material. AFZ-Der Wald 53: 236-239.
- RAU, H.-M. (2007): Samenplantagen und Bestände von Fichte. AFZ/Der Wald 62: 418-419.
- RAU, H.-M. (2009): Bestände und Samenplantagen bei Douglasie. AFZ/Der Wald 64: 220-221.
- RETIÉF, E.C.L. & STANGER, T.K. (2009): Genetic parameters of pure and hybrid populations of *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla* and implications for hybrid breeding strategy. *Southern Forests* 71: 133-140.
- ROHMEDER, E. & SCHÖNBACH, H. (1959): Genetik und Züchtung der Waldbäume. Paul Parey, Hamburg, Berlin, 338 Seiten.
- ROHMEDER, E. & SCHÖNBORN, A. (1965): Der Einfluß von Umwelt und Erbgut auf die Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegenüber Luftverunreinigung durch Industrieabgase. *Forstwirtschaftliches Centralblatt* 84: 1-13.
- RUOTSALAINEN, S. (2008): Comparison of seed orchard and stand seed of Scots pine in direct seeding. In: Lindgren, D. (ed.): *Seed orchards. Proceedings from a conference at Umea (S) September 26-28, 2007*, pp.218-226.
- SCHMIDT, M., EWALD, J., FISCHER, A., OHEIMB, G.V., KRIEBITZSCH, W.-U., ELLENBERG, H. & SCHMIDT, W. (2003): Liste der Waldgefäßpflanzen Deutschlands. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft* 212, 35 Seiten.
- SCHÖNBACH, H. & BELLMANN, E. (1967): Frostresistenz der Nachkommenschaften von Kreuzungen grüner und blauer Formen der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). *Archiv für das Forstwesen* 16: 707-711.
- SCHÖNBORN, A. VON & WEBER, E. (1981): Untersuchungen über die Immissionsbelastung von Tannen- und Fichtennadeln im Bereich des Bayerischen Waldes. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 100: 265-270.
- SCHOLZ, F. (1983): Kann Züchtung auf Immissionsresistenz zur Lösung des Problems „Waldsterben“ beitragen? *AFZ* 38: 281-283.
- SCHÜTE, G. & RUMPF, H. (2003): Untersuchungen waldbaulicher Einflüsse auf die genetische Struktur naturverjüngter Buchenbestände (*Fagus sylvatica* L.). *Forstarchiv* 74: 90-96.
- SMART, L.B., VOLK, T.A., LIN, J., KOPP, R.F.M., PHILLIPS, I.S., CAMERON, K.D., WHITE, E.H. & ABRAHAMSON, L.P. (2005): Genetic improvement of shrub willow (*Salix* spp.) crops for bioenergy and environmental applications in the United States. *Unasylva* 221, Vol. 56: 51-55.
- STEPHAN, B.R. (1973): Über Anfälligkeit und Resistenz von Douglasien-Herkünften gegenüber *Rhabdochloa pseudotsugae*. *Silvae Genetica* 22: 149-153.
- TZSCHACKSCH, O. (1981): Stand und Perspektiven der forstlichen Randresistenzzüchtung in der DDR. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 15: 134-137.
- TZSCHACKSCH, O. (1982): Untersuchungen zur Erbllichkeit der SO₂-Resistenz bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) mit Schlußfolgerungen für die Forstwirtschaft. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 16: 103-106.
- TZSCHACKSCH, O. & WEISS, M. (1972): Die Variation der SO₂-Resistenz von Provenienzen der Baumart Fichte (*P. abies* (L.) Karst.). *Beiträge für die Forstwirtschaft* 6: 21-23.
- WEISGERBER, H. (1983): Forstpflanzenzüchtung. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 100 Seiten.
- WEISGERBER, H. (1990a): Bedeutung von Züchtungsmaterial und Züchtungsprogrammen für die Erhaltung forstlicher Genressourcen, dargestellt an Beispielen aus Hessen. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg* 164: 109-119.
- WEISGERBER, H. (1990b): Beiträge zur genetischen Variation der Waldbäume und Gefahren der Genverarmung durch Pflanzenzüchtung. *Forstliche Forschungsberichte München* 107, 191 Seiten.
- WHITE, T.L., HUBER, D.A. & POWELL, G.L. (2003): Third-Cycle Breeding Strategy for Slash Pine by the Cooperative Forest Genetics Research Program Proc. 27th Southern Forest Tree Improvement Conference, Vol. 27, pp.17-29.
- WOLF, H. (1994): Weißtannen-Herkünfte. Neue Resultate zur Provenienzforschung bei *Abies alba* Mill.. *Contributions Biologiae Arborum* 5, ecomed verlagsgesellschaft, Landsberg am Lech, 150 Seiten.
- WOLF, H. (1999): Auswirkungen von waldbaulichen Pflegemaßnahmen auf die genetische Struktur von jungen Beständen der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg* 194: 240-259.
- WOLF, H. (2001a): Auswirkungen von waldbaulichen Eingriffen auf die genetische Struktur von Durchforstungsbeständen der Fichte, Rotbuche und Stieleiche in Sachsen. In: *Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna (Hrsg.): Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*, S.171-181.
- WOLF, H. (2001b): Effects of extreme SO₂-air pollution in winter 1995/96 on vitality and growth of SO₂-tolerant Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) clones in the Ore Mountains. In: Müller-Starck, G. & Schubert, R. (eds.): *Genetic Response of Forest Systems to Changing Environmental Conditions*. Kluwer Academic Publishers, London, pp.35-49.
- WOLF, H., KÄTZEL, R. & SCHNECK, V. (2002): Wachstums-, Qualitäts- und Resistenzeigenschaften von Bestandes- und Kreuzungsnachkommenschaften der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). In: *Landesforstanstalt Eberswalde (Hrsg.): Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern*, S.161-171.
- ZIEHE, M. & MÜLLER-STARCK, G. (2001): Zielstärkenutzung und ihre möglichen genetischen Auswirkungen in einer Buchenpopulation. In: *Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna (Hrsg.): Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*, S.182-188.