

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 145 (1994)

Heft: 12

Artikel: Genetische Vielfalt und praktische forstliche Tätigkeit : Probleme und Handlungsbedarf

Autor: Rotach, Peter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766640>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Genetische Vielfalt und praktische forstliche Tätigkeit: Probleme und Handlungsbedarf¹

Von *Peter Rotach*

FDK 165: 18: 2: UDK 581, 504.1

1. Einleitung

Wälder sind Ökosysteme, die über eine grosse Biodiversität verfügen. Ein wichtiger Bestandteil dieser Biodiversität ist die genetische Vielfalt, die in den beteiligten Arten bzw. in ihren Populationen vorhanden ist. Die genetische Vielfalt sichert Wachstum und Reproduktion der Arten, Populationen und ihrer Individuen. Sie bildet damit auch eine entscheidende Voraussetzung für die Stabilität des Ökosystems Wald.

Die heutigen Wirtschaftswälder Mitteleuropas sind zwar nur noch teilweise aus natürlichen, ursprünglichen Populationen von Waldbäumen, wie sie aufgrund von Evolutionsprozessen entstanden sind, zusammengesetzt. Vielmehr sind die meisten Wälder über Jahrhunderte den vielfältigen Bedürfnissen und forstlichen Wertvorstellungen des Menschen angepasst und entsprechend umgeformt worden. Trotz dieser menschlichen Einflussnahme handelt es sich bei Waldbeständen aber nicht um Populationen, die züchterisch intensiv verändert worden sind. Im Vergleich zu landwirtschaftlichen Nutzpflanzen können Wälder noch als «Wildpopulationen» mit einer ausreichenden genetischen Vielfalt bezeichnet werden. Sich rasch verändernde Umweltverhältnisse wie die Zunahme von Luftschadstoffen oder die zunehmende klimatische Erwärmung der Erde wirken sich aber immer stärker auf die genetischen Strukturen unserer Wälder aus und bewirken vermutlich gerichtete Veränderungen. In dieser sich ändernden Umwelt erlangen forstliche Massnahmen bzw. ihre Auswirkungen auf die genetischen Strukturen der Wälder einen immer grösseren Stellenwert.

Die menschlichen Einflüsse auf die genetischen Strukturen von Ökosystemen und ihre Glieder waren und sind vielfältig. Die wichtigsten, durch menschliche Aktivitäten hervorgerufenen Erscheinungen sind:

¹ Referat, gehalten am 7. Februar 1994 im Rahmen der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwissenschaften der ETHZ.

- Zerstörung, Verkleinerung oder Degradation von Lebensräumen,
- Fragmentierung von Lebensräumen, Verbreitungsgebieten, Beständen, Populationen,
- Verdrängung lokaler Arten/Populationen durch
 - Ausbreitung von Kultivaren / Züchtungsprodukten,
 - Einfuhr und Ausbreitung von fremden Arten,
- Vermischung von lokalem mit fremdem genetischem Material durch geographische Verschiebung von Herkünften,
- Hybridisierung und Introgression durch künstliches Zusammenbringen von Arten,
- Umweltveränderungen und Umweltbelastungen,
- Selektion, Domestikation und Züchtung.

Im Zusammenhang mit der praktischen forstlichen Tätigkeit sind vor allem drei dieser Aktivitäten von Bedeutung: Selektion, Fragmentierung von Populationen und Vermischung von lokalem mit fremdem Erbmateriale. Auf sie soll im folgenden näher eingegangen werden.

2. Einfluss der forstlichen Bewirtschaftung auf die genetische Struktur der Wälder

2.1 Selektion

Die Vielfalt an Genen und Allelen innerhalb einer ausreichend grossen, genetisch nicht verarmten Population bringt in jeder Generation durch Neukombination der Gene bzw. Allele während der Reproduktion eine beinahe unbegrenzte Anzahl an verschiedenen Genotypen hervor. Aus dem Zusammenwirken dieser verschiedenen Genotypen mit der Umwelt wiederum entsteht eine Unzahl an verschiedensten Phänotypen (Erscheinungsformen) mit den unterschiedlichsten Kombinationen von Merkmalen.

Diese phänotypische Variation bildet die Basis für die Erziehung und Auslese bei der waldbaulichen Tätigkeit. Mit der Bestandespflege wird einerseits versucht, die Umwelt derart zu gestalten, dass ungünstige Anlagen weniger im Phänotyp in Erscheinung treten. Andererseits werden die Individuen mit den besten, für das Endprodukt Nutzholz geforderten Eigenschaften (Merkmalskombinationen) durch positive Auslese gefördert und deren Konkurrenten entnommen. Diese waldbauliche Selektion unterscheidet sich von der natürlichen Selektion in einer vom Menschen unbeeinflussten Population. Die Evolution selektiert auf reproduktiven Erfolg (Fitness, siehe weiter unten), während die waldbauliche Tätigkeit Merkmale ausliest, die von der Fitness teilweise völlig unabhängig sind (Form, Astigkeit usw.). Eine gerichtete Ände-

rung in der genetischen Struktur der Population im Vergleich zum natürlichen Ausscheidungsprozess ist daher möglich.

Eine weitere Auslese erfolgt bei der Bestandeseerneuerung. Die Auslese im Laufe der Bestandesbehandlung sowie die Verjüngungstechnik führen dazu, dass nur ein bestimmter Teil der Population zur Reproduktion und damit zur Weitergabe ihres genetischen Materials zugelassen wird. Je nach Hiebsart wird bei der natürlichen Verjüngung ein mehr oder weniger repräsentativer Teil der lokalen Gene bzw. Allele an die Folgegeneration weitergegeben. Wird künstliche Bestandesbegründung verwendet, so wird die Reproduktion der vorhandenen Population gänzlich unterbunden, und das lokale genetische Material geht verloren. Der Einfluss auf die genetische Struktur der Folgegeneration hängt in diesem Fall von der Wahl der Herkunft, von der Saatgutgewinnung, von der Nachzucht im Forstgarten sowie vom Pflanzverband ab. Die Bestandeseerneuerung ist daher ein ganz entscheidender Schritt, dem im Zusammenhang mit der Erhaltung der genetischen Vielfalt ganz besondere Beachtung geschenkt werden muss.

2.1.1 Einfluss der Bestandespflege

Obwohl der Einfluss der Bestandespflege auf die genetische Struktur der Populationen von einiger Bedeutung ist, gibt es zu diesem Fragenkomplex nur spärliche und widersprüchliche Informationen, so dass diese Frage heute noch nicht eindeutig beantwortet werden kann.

Bei einem Vergleich der genetischen Struktur von 60 phänotypisch ausgewählten Plusbäumen mit dem Grundbestand, aus dem sie ausgewählt wurden, fand Knowles (1985) bei Schwarzfichte (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) wie bei Bankskiefer (*Pinus banksiana* Lamb.) keine genetischen Unterschiede anhand der sieben untersuchten Enzym-Genloci. Zum gleichen Ergebnis kommt Cheliak et al. (1988) bei *Picea glauca* (Moench) Voss. Die Autoren schliessen daraus, dass die genetische Zusammensetzung der Bestände durch die selektiven Massnahmen – zumindest an den untersuchten Enzym-Genloci – nicht verändert worden wäre. Auch in einer Untersuchung an Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen 45 phänotypisch ausgewählten Plusbäumen und deren Ausgangsbeständen hinsichtlich Allelfrequenzen und genetischer Vielfalt an acht Enzym-Genloci (Bergmann und Ruetz, 1991). In den Plusbäumen wurde im Vergleich zur Ausgangspopulation hingegen ein höherer Heterozygotiegrad festgestellt. Einen deutlich höheren Heterozygotiegrad in phänotypisch selektierten Plusbäumen im Vergleich zum Grundbestand fand auch El-Kassaby (1992) bei *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. in Britisch-Kolumbien, Washington und Oregon. Diese Befunde sind in Einklang mit Ergebnissen vieler Untersuchungen, welche einen positiven Zusammenhang zwischen dem Heterozygotiegrad eines Individuums und seiner Wuchskraft nachweisen konnten, so bei *Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt. (Shea, 1989), *Picea engelmanni* Parry ex

Engelm. (Shea, 1989), *Fagus sylvatica* L. (Thiébaud et al., 1992), *Pinus attenuata* Lemm. (Strauss, 1986), *Pinus radiata* D. Don. (Strauss und Libby, 1987), *Pinus rigida* Mill. (Ledig et al. 1983, Bush et al., 1987), *Populus tremuloides* Michx. (Mitton und Grant, 1980). Aufgrund der vorhandenen Untersuchungsergebnisse scheint es wahrscheinlich, dass die phänotypische Auslese bei einem Durchforstungseingriff eher Individuen mit einem höheren Heterozygotiegrad begünstigt, weil diese Bäume wuchskräftiger und vitaler sind und deswegen als Ausleseebäume eher in Frage kommen. Wenn dies tatsächlich zutrifft, dann würde dies bedeuten, dass die waldbauliche Auslesetätigkeit die genetische Vielfalt nicht wesentlich verringern dürfte, da heterozygote Individuen mehr Allele tragen als homozygote. Gleichzeitig könnte man dann auch eher annehmen, dass sich die waldbauliche Selektion nicht grundsätzlich von der natürlichen Selektion unterscheidet, weil sich auch im natürlichen Überlebenskampf nur die wüchsigeren und vitaleren (und folglich heterozygoteren) Individuen durchsetzen dürften.

Unter Fitness im genetischen Sinne versteht man die Fähigkeit eines Individuums, seine Gene möglichst erfolgreich an die Folgegeneration weiterzugeben. Nebst einer hohen Fruchtbarkeit bedingt dies auch die Fähigkeit, bis zum reproduktiven Alter zu überleben. Die Wuchskraft des Individuums im Überlebenskampf ist daher eine wesentliche Komponente der Fitness (Heybroek, 1974). Weil die natürliche Selektion diese individuelle Fitness als Selektionsmassstab verwendet, lässt sich folglich annehmen, dass sich auch bei natürlichen Selektionsvorgängen nur die wuchskräftigeren, vitaleren und heterozygoteren Individuen durchzusetzen vermögen. Die waldbauliche Auslese bedient sich grundsätzlich vergleichbarer Selektionskriterien, indem sie im allgemeinen nur soziologisch herrschende und mitherrschende Bäume als Ausleseebäume zulässt.

Eine Bestätigung dieser Annahmen liefert eine Untersuchung von Gömöry (1992), die die genetischen Strukturen von Urwaldbeständen mit jenen von 80- bis 100jährigen, normal durchforsteten Fichtenbeständen vergleicht. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Unterschiede in den genetischen Parametern. Die höchste genetische Vielfalt fand sich nicht etwa in den Urwaldbeständen, sondern in den durchforsteten, aus Naturverjüngung entstandenen Beständen.

Weniger klar ist der Einfluss der waldbaulichen Selektion auf die seltenen Allele. Populationsgenetische Erkenntnisse zeigen, dass je seltener ein Allel wird, desto häufiger findet es sich in heterozygoten Individuen. Trifft der bereits formulierte Fitness-Vorteil heterozygoter Individuen zu, dann wären auch seltene Allele in der Population relativ gut geschützt. In Abweichung davon findet Hosius (1993) in einer Untersuchung über den Einfluss von Nieder- bzw. Hochdurchforstung auf die genetische Struktur eines Fichtenbestandes, dass sich die Allelfrequenzen der häufigeren Allele kaum verändern, dass seltene Allele hingegen Gefahr laufen, durch Eingriffe aus der

Population entnommen zu werden. Zu ähnlichen Folgerungen führen Ergebnisse von *Wheeler* und *Jech* (1992): Schwachwüchsige Mutterbäume tragen öfters seltene Allele als wüchsige Vergleichsbäume. Ihre Chance, entnommen bzw. überwachsen zu werden, ist entsprechend höher. Die Bedeutung dieser sehr seltenen Allele für die Anpassung bzw. die Anpassungsfähigkeit ist nach wie vor unklar. Wir wissen zwar, dass in einer Population nicht nur Allele vorhanden sind, die durch positive Selektion begünstigt worden sind, sondern auch viele suboptimale, schädliche oder gar letale Allele in geringen Häufigkeiten mitgeschleppt werden, da sie als rezessive Allele in heterozygoten Individuen dem Zugriff der Selektion entzogen sind. Nicht alle Allele sind daher erhaltenswert. Die Bedeutung von Verlusten an sehr seltenen Allelen ist daher schwierig zu beurteilen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass über die selektive Wirkung waldbaulicher Eingriffe bei der Bestandespflege noch viele Fragen offen sind. Anhand der bisherigen Ergebnisse scheinen Pflegeeingriffe aber einen eher geringen Einfluss auf die genetische Struktur der Bestände zu haben. Diese Annahme stützt sich auf die Feststellung, dass bei der positiven waldbaulichen Auslese die Wuchskraft (und damit ein Teil der Fitness) mit berücksichtigt wird. Zum zweiten ist bedeutsam, dass viele der Merkmale, die als Auslesekriterien verwendet werden, nur eine geringe Heritabilität (Erblichkeit) aufweisen. Dies bedeutet, dass der Zusammenhang zwischen Phänotyp und Genotyp lediglich schwach ist bzw. dass die Ausprägung des Merkmals überwiegend durch die Umwelt und nur sehr wenig durch den Genotyp beeinflusst wird. Bei einer phänotypischen Auslese solcher Merkmale ist keine starke Selektionswirkung zu erreichen. Umgekehrt bedeutet dies, dass die phänotypische Auslese nur eine sehr geringe Wirkung auf die genetische Struktur entfalten kann.

2.1.2 Einfluss der Bestandenerneuerung

Die Phase der Reproduktion ist für die Erhaltung der genetischen Vielfalt von zentraler Bedeutung. Reproduktion bedeutet Neukombination der Gene/Allele in neue Genotypen. Dieser Prozess ist folglich die eigentliche Quelle der genotypischen Vielfalt, welche erst die Voraussetzung für die Selektion schafft. Durch Neukombination kann aus einer geringen Anzahl von Genotypen wiederum eine beinahe unbegrenzte Vielfalt an Neukombinationen von Genotypen entstehen.

Um die waldbaulichen Einflüsse auf die Fortpflanzung beurteilen zu können, ist es unerlässlich, die Prozesse der Reproduktion und die daran beteiligten Einflussfaktoren etwas näher zu betrachten. Der Erfolg der Neukombination des genetischen Materials hängt von verschiedenen Faktoren ab, so von der Populationsgröße und -dichte, von der Fertilität der Eltern, vom Paarungssystem sowie von der Viabilität der Nachkommen. Durch die waldbauliche Tätigkeit werden diese Faktoren entscheidend beeinflusst.

Die Dichte der Bestockung während der Reproduktion hat zwei unterschiedliche Auswirkungen auf den Reproduktionserfolg. Zunächst nimmt mit abnehmender Dichte auch die Anzahl der Individuen ab, die für die Reproduktion zugelassen werden. Mit abnehmender Individuenzahl steigt gleichzeitig das Risiko von zufälligen Allelverlusten. Man nennt diese Erscheinung genetische Drift. Je kleiner die Stichprobe der Individuen aus der Gesamtpopulation, die an der Reproduktion beteiligt sind, desto höher ist das Risiko, dass nicht alle Allele der Population in der Folgegeneration vertreten sind. Daraus ergibt sich unmittelbar, dass im Hinblick auf die Erhaltung der genetischen Vielfalt vor allem jene Verjüngungsverfahren günstig sind, die eine möglichst grosse Anzahl an Individuen an der Fortpflanzung teilhaben lassen. Naturverjüngung ist allein schon aus diesen Überlegungen der Kunstverjüngung vorzuziehen, da bei der Saatguternte für die Pflanzenproduktion wohl nur in Ausnahmefällen (Eiche, Buche) eine annähernd gleich hohe Individuenzahl wie im Falle einer Naturverjüngung beerntet wird bzw. an der Fortpflanzung beteiligt ist. Nach *Hattemer et al.* (1982) benötigt man bei einer ausgeglichenen Genotypenstruktur und bei 10 verschiedenen Allelen pro Genlocus für die Erhaltung eines Allels mit einer Häufigkeit von 1 Prozent in der Population eine Stichprobe von 260 Bäumen (Genotypen), damit das Allel mit einer Sicherheit von 95 Prozent in der Stichprobe enthalten ist. Obschon bei der Reproduktion durch Fremdbestäubung und Genfluss die Wahrscheinlichkeit steigt, dass das seltene Allel auch bei einer kleineren Stichprobe im Saatgut trotzdem vorkommt, lässt sich anhand dieser Zahl erahnen, dass bei der Saatguternte sehr viele Bäume beerntet werden müssten, damit keine Driftphänomene entstehen. Diese Überlegungen verdeutlichen, dass bei künstlicher Bestandesbegründung allein schon aufgrund der Anzahl Erntebäume bei der Saatgutgewinnung mit grosser Wahrscheinlichkeit von einer Einengung der Vielfalt ausgegangen werden muss. Diese Feststellung wird durch weitere Einflussfaktoren (siehe weiter unten) noch unterstrichen.

Die zweite Auswirkung der Bestockungsdichte hängt mit dem Paarungssystem zusammen. Mit abnehmender Bestockungsdichte wächst der Anteil an Selbstbestäubung (*Farris und Mitton*, 1984, *Knowles et al.*, 1987, *Shea*, 1987) sowie an Paarungen zwischen verwandten Individuen (*Morgante et al.*, 1991). Beide Erscheinungen wirken sich negativ auf die genetische Vielfalt der Folgegeneration sowie auf die Viabilität der Nachkommen aus.

Der Einfluss der Populationsgrösse wird zusätzlich durch die Erscheinung modifiziert, dass die effektive, das heisst die an der Fortpflanzung beteiligte Population deutlich kleiner ist als die tatsächlich vorhandene Population (*Stern und Gregorius*, 1972). Nach *Muona* (1989) beträgt die effektive Populationsgrösse bei der Fichte in Jahren mit schlechter Fruktifikation lediglich 40 Prozent der tatsächlichen Population. Um dies zu verstehen, muss man die Reproduktionsprozesse etwas näher betrachten. Zunächst gibt es erhebliche individuelle Unterschiede im Blühtermin, so dass sich nur Individuen paaren

können, deren Blühtermine sich zeitlich überlappen (positiv assortative Paarung). Die Differenzierung in den individuellen Blühterminen reicht von mehreren Tagen (*Johnsson et al.*, 1976, *Eriksson et al.*, 1973) bis zu einem Extremwert von 37 Tagen bei einem Douglasienbestand in Britisch-Kolumbien (*Griffith*, 1968). Nach *Eriksson et al.* (1973) stammen aufgrund dieser positiv assortativen Paarung bei der Fichte über 90 Prozent der Nachkommen von lediglich der Hälfte aller möglichen Paarungen ab. Überdies gibt es erhebliche individuelle Unterschiede in der Fertilität der Individuen (Unterschiede in der individuellen Fitness). Die unterschiedliche Blühintensität der parentalen Genotypen und die Asymmetrie in der jeweiligen individuellen männlichen oder weiblichen Blüte haben signifikante Unterschiede im individuellen Beitrag an den Gametenpool des Saatgutes eines Erntejahres zur Folge (*Muona und Harju*, 1989, *El-Kassaby et al.*, 1989, *Eriksson et al.*, 1973, *Heiseke*, 1984). Nach *Müller-Starck et al.*, (1982) zeigen sich nicht nur signifikante Unterschiede im Beitrag der einzelnen parentalen Genotypen, sondern diesbezüglich auch erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr.

Die genannten Abweichungen von der zufallsmässigen Paarung (Panmixie) haben zur Folge, dass nicht alle Individuen der Parentalgeneration ihre genetische Information im selben Ausmass an die Folgegeneration weitergeben. Die effektive Populationsgrösse ist damit in der Regel deutlich geringer als die tatsächliche Anzahl von Individuen. Die genetische Zusammensetzung der Nachkommen einer Parentalgeneration zeigt zudem eine grosse Variation zwischen verschiedenen Fruktifikationen. Daraus ergibt sich, dass selbst bei Naturverjüngung mit ausreichender Anzahl parentaler Genotypen erhebliche Unterschiede zwischen Ausgangsbestand und Folgegeneration auftreten können (*Konnert*, 1991, *Linhart et al.*, 1981, *Roberds und Conkle*, 1984). Damit wird deutlich, dass für die Erhaltung der genetischen Vielfalt Naturverjüngungsverfahren mit langen Verjüngungszeiträumen oder mit kleinflächigem, zeitlich gestaffeltem Vorgehen wie etwa im Femelschlagbetrieb besonders günstig sind, weil dadurch unterschiedliche Fruktifikationen mit verschiedener genetischer Struktur in die Folgegeneration eingehen.

Besonders offensichtlich wird nun auch die Gefahr einer nichtrepräsentativen Weitergabe der genetischen Information bei der künstlichen Bestandesbegründung. Es wurde bereits erwähnt, dass die Anzahl an beernteten Mutterbäumen sehr gross sein muss, um zufällige Verluste an genetischer Information zu verhindern. Hinzu kommt nun noch, dass die jeweilige Saatguternte lediglich eine Stichprobe innerhalb einer Stichprobe darstellt. Neben der zufälligen Auswahl der Mutterbäume repräsentiert eine Ernte lediglich eine von vielen möglichen Paarungskonstellationen. Dies hat zur Folge, dass einzelne parentale Genotypen in den Kulturen überrepräsentiert sind. Bei Kulturen werden im Vergleich zur Naturverjüngung zudem bedeutend weniger Individuen ausgepflanzt. Die Selektionsbasis wird dadurch zusätzlich eingengt. Da die Viabilitätsselektion unter den kontrollierten, günstigen

Bedingungen des Pflanzgartens weniger stark ist als unter natürlichen Bedingungen, gelangen auch wenig angepasste Pflanzen und sogar Pflanzen mit Inzuchterscheinungen in die Kulturen, so dass die Selektionsbasis weiter reduziert wird. Berücksichtigt man die genannten Faktoren, so erstaunt es wenig, dass Kulturen erhebliche Abweichungen von den Ausgangsbeständen aufweisen können. Gömöry (1992) beispielsweise fand bedeutende Unterschiede in der genetischen Zusammensetzung von Fichtenbeständen, die aus künstlicher Verjüngung hervorgegangen sind, im Vergleich zu natürlich verjüngten Beständen oder zu Naturwäldern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Übergang von einer Generation zur nächsten die genetische Vielfalt von vielen Prozessen beeinflusst wird. Die forstliche Tätigkeit hat erheblichen Einfluss auf diese Prozesse. Vorteilhaft ist die Naturverjüngung, falls sie möglichst viele Individuen an der Fortpflanzung teilhaben lässt. Günstig sind zudem lange Verjüngungszeiträume oder kleinflächige, differenzierte Verjüngungsabläufe, weil dadurch unterschiedliche Fruktifikationen bzw. verschiedene Paarungskonstellationen des Ausgangsbestandes in die Folgegeneration übernommen werden können.

Bei der künstlichen Verjüngung besteht die Gefahr, dass die genetische Information des Mutterbestandes nur unzureichend in den Kulturen vertreten ist. Um die Gefahr einer Einengung der genetischen Vielfalt möglichst gering zu halten, sind mehrere Forderungen zu erfüllen. Das Saatgut muss unbedingt von vielen Mutterbäumen pro Bestand gesammelt werden. Bei schwersamigen Baumarten ist diese Forderung leichter zu erfüllen als bei Arten, die für die Ernte bestiegen werden müssen. Bei Baumarten, die nur zerstreut vorkommen, dürfte diese Forderung in der Praxis nicht erfüllbar sein, weshalb andere Wege beschritten werden müssen (siehe weiter unten). Die Ernte von Saatgut bei Vollmast ist günstiger als bei schwacher Fruktifikation. Um eine Überrepräsentation bestimmter Genotypen zu verhindern und gleichzeitig die Stichprobengröße an Mutterbäumen zu erhöhen, ist das Mischen von Saatgut aus verschiedenen Jahrgängen eines Erntebestandes zu empfehlen.

Eine Erhöhung der genetischen Vielfalt insgesamt ist auch durch eine Erhöhung der Anzahl an verwendeten Herkünften zu erreichen. Die Ernte und Nachzucht vieler Herkünfte in dafür kleineren Mengen dürfte jedoch auf praktische Schwierigkeiten stossen. Um die genetische Vielfalt zu erhöhen, besteht auch die Möglichkeit, Saatgut verschiedener Herkünfte innerhalb eines Herkunftsgebietes zu mischen. Bedingung dafür ist allerdings, dass die ökologischen Bedingungen innerhalb des Herkunftsgebietes relativ homogen sind. Die skizzierten Probleme könnten durch das Mischen mehrerer Herkünfte stark verringert oder ganz vermieden werden. Eine Voraussetzung für Mischsaatgut von verschiedenen Beständen wäre demnach, dass Herkunftsgebiete ausgeschieden werden müssten, die auf wissenschaftlichen

Grundlagen beruhen. Zu fordern wäre auch, dass die Herkünfte und ihre Anteile im Mischsaatgut klar ausgewiesen werden.

2.2 Fragmentierung von Populationen

Fragmentierung bedeutet die Aufsplitterung von Populationen in verschiedene Fragmente von geringer Grösse oder gar in Gruppen von wenigen Individuen. Diese Aufteilung hat für die genetische Struktur erhebliche Konsequenzen. Populationen geringer Grösse unterliegen der genetischen Drift, das heisst, es kommt zu zufälligen Allelverlusten. Die genetische Variation innerhalb der Einzelpopulationen geht zurück (*Billington, 1991*). Barrieren im Genfluss zwischen den einzelnen Fragmenten verstärken diese Entwicklung. Die genetische Variation, die in zusammenhängenden Populationen vor allem innerhalb der Population vorliegt, verlagert sich bei der Fragmentierung in eine Variation zwischen den einzelnen Teilpopulationen. Da genetische Drift rein zufällig erfolgt, gehen in jeder Teilpopulation andere Allele verloren bzw. werden fixiert. Dadurch differenzieren sich diese Teilpopulationen immer stärker voneinander. Populationen von sehr kleiner Grösse weisen zudem eine höhere Selbstbefruchtungsrate auf, was negative Folgen für die Viabilität der Nachkommen hat.

Baumarten mit reliktischem Vorkommen zeigen nachweislich solche Erscheinungen (*Moran und Hopper, 1983, Moran et al. 1988, Ledig und Conkle, 1983*). Die mitteleuropäischen Restvorkommen der Eibe beispielsweise weisen nach ersten Untersuchungen eine starke genetische Differenzierung zwischen den Einzelvorkommen auf (*Thoma, 1992, zit. in Hattemer und Gregorius, 1993*). Für unsere seltenen und zerstreut vorkommenden Baumarten fehlen solche Untersuchungen. Es darf aber davon ausgegangen werden, dass diese Baumarten wie etwa Kirsche, Linde, *Sorbus*-Arten, Ulme, Erle und andere, die im besten Fall in sehr kleinen Populationen, zumeist aber als Einzelbäume zerstreut vorkommen, solchen Prozessen stark unterliegen dürften. Baumarten, die durch Insekten bestäubt werden, dürften davon noch mehr betroffen sein als windbestäubte Arten.

Eine starke genetische Differenzierung zwischen einzelnen Fragmenten bedeutet, dass Individuen aus allen Fragmenten beerntet werden müssten, damit die genetische Vielfalt erhalten werden kann. Eine solche Forderung dürfte an der praktischen Durchführbarkeit scheitern. Es ist im Gegenteil davon auszugehen, dass je seltener die Art ist bzw. je zerstreuter sie vorkommt, desto weniger Bäume in der Praxis beerntet werden. Da bei diesen Arten zudem grosse Mengen an Saatgut von einem einzigen Mutterbaum gewonnen und angezogen werden können, besteht die Gefahr, dass Kulturen von solchen Nachzuchten auf grösserer Fläche aus einer stark reduzierten Anzahl von Genotypen bestehen. Die genetische Vielfalt solcher Nachkommen dürfte

nicht nur stark reduziert, sondern auch stark vom Zufall gelenkt sein. Selbst bei Ernten in kleinen Beständen mit mehreren Individuen sind solche zufälligen Ergebnisse sehr wahrscheinlich.

Da bei diesen Baumarten die genetische Variation zwischen den Fragmenten liegt und eine Neukombination *in situ* nicht möglich ist, bietet sich für die Erhaltung der genetischen Vielfalt solcher Baumarten nur das Mittel der Samenplantage an. In einer Samenplantage werden wiederum Verhältnisse geschaffen, die einer Population ähnlich sind. Der Austausch von Genmaterial bzw. die Neukombination von Allelen zwischen den Individuen aus den einzelnen Fragmenten wird dadurch wieder möglich. Da die einzelnen Individuen der Fragmente an den Genloci eine stark unterschiedliche, durch den Zufall gesteuerte Besetzung mit Allelen aufweisen dürften, darf erwartet werden, dass in einer solchen Samenplantage schon ab einer relativ geringen Klonzahl eine hohe genetische Vielfalt erzeugt werden kann. Die genetische Qualität von solchem Plantagensaatgut dürfte in jedem Fall um ein Vielfaches höher liegen als bei der bestmöglichen, praktisch durchführbaren Ernte im Wald. Samenplantagen können unter solchen Voraussetzungen nicht nur ein Mittel zur Produktion von Saatgut, sondern auch eine sinnvolle Lösung zur Erhaltung von wertvollem Erbmaterial bzw. zur Erzeugung von genetischer Vielfalt sein.

2.3 Vermischung von lokalem mit fremdem Genmaterial

Seit Jahrhunderten beeinflusst die forstliche Bewirtschaftung die natürlichen genetischen Strukturen durch Verschiebung von Saat- und Pflanzgut (Tschermak, 1934). Lokales Erbmaterial wird dadurch mit fremdem Material vermischt. Über das Ausmass und die Bedeutung dieses Prozesses sind wir nur sehr wenig informiert. Immerhin kann heute nachgewiesen werden, dass ein Eindringen von fremdem in das autochthone Erbmaterial tatsächlich stattfindet. So kann Greger (1992) beispielsweise zeigen, dass im Harz seit 1820 Tieflagen-Herkünfte von Fichte für die Wiederbegründung von Hochlagenbeständen verwendet worden sind. Die Vermischung der autochthonen Hochlagenfichte mit den künstlich eingeführten Tieflagenherkünften lässt sich an der Genotypen-Verteilung eines Enzym-Genlocus nachweisen. Mit abnehmendem Alter der Bestände nehmen die für die Tieflagen charakteristischen Genotypen auch in den natürlichen Beständen der Hochlagen zu.

Die Auswirkungen einer solchen Vermischung aus genetischer Sicht sind nur schwer einzuschätzen. Es können sowohl positive wie negative Wirkungen einer solchen Vermischung vermutet werden. Negativ kann unter Umständen sein, dass durch eine Vermischung die Angepasstheit der Population reduziert wird und dass die genetischen Strukturen von autochthonen Beständen irreversibel verändert werden. Auf der anderen Seite kann die Einfuhr von frem-

dem Material zu einer Erweiterung der genetischen Vielfalt und damit zu einer Erhöhung der Anpassungsfähigkeit führen (Stettler, 1986). Es ist sogar möglich, dass eine fremde Herkunft besser an die lokalen Bedingungen angepasst ist als die autochthone Provenienz, so dass eine Vermischung gar die Anpassbarkeit verbessern kann. Diese Feststellung bedarf einer Erläuterung.

Viele Provenienzversuche zeigen, dass wir nicht automatisch davon ausgehen können, dass die lokale Herkunft auch die beste ist (Namkoong, 1969, Weissgerber et al., 1984, Schober, 1985, Larsen, 1980). Selbst Baumarten in und derselben Region können bei gleichen ökologischen Bedingungen sehr verschiedene genetische Differenzierungsmuster aufweisen. Untersuchungen von Rehfeldt (1979, 1980, 1983) in Idaho und Montana beispielsweise zeigen für die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) eine ausgeprägte Differenzierung nach Meereshöhe und geographischer Breite, bei *Pinus ponderosa* Laws. eine zusätzliche Differenzierung in Ost-West-Richtung, dagegen bei *Pinus monticola* Dougl. ex D. Don keine messbare Differenzierung. Diese unterschiedlichen Muster in der Anpassung rühren letztlich daher, dass jede Baumart ihre eigene evolutive Vergangenheit mitbringt. Der Anpassungsprozess an gegebene Umweltbedingungen kann grundsätzlich nur mit dem genetischen Rohmaterial arbeiten, welches in der Art bzw. in der Population vorhanden ist. Unterschiedliche Bedingungen in den Refugialgebieten (Populationsstrukturen, klimatische Bedingungen usw.), verschiedene Einwanderungswege (unterschiedlich selektive Umwelten, Konkurrenz anderer Arten usw.), schwankende Populationsgrößen (Flaschenhalse bei Überquerung von Pässen usw.) und viele andere, auch zufällige Ereignisse in der Vergangenheit haben zur Folge, dass das Anpassungsmuster einer Baumart kein Optimum darstellen kann (Stettler, 1987, Heybroek, 1990, Larsen, 1986). Gerade in der Schweiz muss davon ausgegangen werden, dass solche historischen Prozesse, welche Anpassungsfähigkeit wie Anpassung der Baumarten bis heute beeinflussen, von besonderer Bedeutung sind, da die Alpen sowohl für die Fluchtrouten wie für die Rückwanderung der Arten ein grosses Hindernis dargestellt haben müssen. Die Vorstellung, dass autochthone Populationen optimal an ihren heutigen Standort angepasst sind, muss daher nicht ohne weiteres zutreffen. Es ist durchaus möglich, dass autochthone Populationen waldbaulich nicht optimal sind bzw. dass es Herkünfte gibt, die besser geeignet sind. Die Verwendung nichtlokaler Herkünfte kann waldbaulich also durchaus sinnvoll sein.

Das bedeutet nun aber nicht, dass das autochthone Material nicht erhaltenswert ist. Autochthone Populationen sind das Ergebnis aller Prozesse, die sich am Ort bisher abgespielt haben. Sie haben bisher gezeigt, dass sie in ihrer Umwelt überleben können, was sich für andere Herkünfte erst noch erweisen muss. Autochthone Bestände sind daher unbedingt erhaltenswert. Je extremer die Umweltverhältnisse, umso erhaltenswerter dürfte solches Material sein. Die Schaffung von Genreservaten ist folglich eine wichtige Aufgabe.

Andererseits soll die Verwendung fremder Herkünfte aber auch in Zukunft zum waldbaulichen Instrumentarium gehören dürfen. Dabei ist zu beachten, dass die Auswahl von solchem Material sorgfältig geschehen muss. Nicht nur ökologische Überlegungen sind dabei von Bedeutung, sondern auch das Abwägen von Zielsetzungen und Risiken. Erfahrungen aus Herkunftsversuchen sind ebenso einzubeziehen wie die waldbauliche Zielsetzung. Auf mittleren Standorten und bei Überwiegen der Produktionsfunktion ist die Verwendung fremder Herkünfte grundsätzlich eher angezeigt als unter extremen Bedingungen wie etwa im Gebirge, wo das Risiko minimiert und die Schutzfunktion optimiert werden muss. Werden diese Gesichtspunkte beachtet, so ist die Verwendung fremder Herkünfte nicht nur vertretbar, sondern waldbaulich sinnvoll. Die Bedeutung der genetischen Qualität der Herkunft für den waldbaulichen Erfolg ist seit langem erwiesen. Gemäss einer Untersuchung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg (*Anonymus*, 1993) ist der Einfluss der Herkunft auf den wirtschaftlichen Erfolg sehr gross: Bei Fichte wurde im Alter 100 für gute Herkünfte eine Mehrleistung von 75%, bei der Eiche im Alter 180 eine solche von 170% gegenüber den durchschnittlichen Erlösverhältnissen (Massen- und Wertleistung) in Niedersachsen errechnet. Vor allem bei Baumarten mit hoher Wertleistung ist die Wahl der Herkunft deshalb von entscheidender Bedeutung.

3. Folgerungen für die waldbauliche Tätigkeit

Aus den bisherigen Darlegungen sollten zwei Dinge deutlich geworden sein. Zunächst sollte hervorgegangen sein, dass genetische Prinzipien für die waldbauliche Tätigkeit von fundamentaler Bedeutung sind und dass sie vermehrt in die forstliche Tätigkeit einbezogen werden müssen. Darüber hinaus dürfte klar geworden sein, dass die Forstgenetik ein solides Wissen über genetische Vorgänge in unseren Wäldern erarbeitet hat. Obwohl noch viele Fragen auf eine Antwort warten, reicht das Wissen heute doch aus, um es in die Praxis umzusetzen.

Für die praktische waldbauliche Tätigkeit ergeben sich aus heutiger Sicht die nachstehenden Feststellungen und Folgerungen, die im Hinblick auf eine möglichst erfolgreiche Erhaltung der genetischen Vielfalt unserer Wälder, Bestände und Baumarten von Bedeutung sind:

- Die Art der Bestandesbegründung ist für die Generhaltung von zentraler Bedeutung. Aus genetischer Sicht ist die Naturverjüngung der Kunstverjüngung klar vorzuziehen. Wo es waldbaulich möglich und vom Ausgangsbestand her sinnvoll ist, soll Naturverjüngung verwendet werden.

- Besonders günstig sind Verjüngungstechniken, die mit einer möglichst grossen Anzahl von Mutterbäumen im Ausgangsbestand arbeiten. Da sich die Paarungsverhältnisse von Jahr zu Jahr ändern, sind lange Verjüngungszeiträume und/oder zeitlich gestaffelte, kleinflächige Verjüngungsabläufe anzustreben. Der Schweizer Femelschlag und die Plenterung sind in dieser Hinsicht sehr günstige Betriebsarten.
- Aus genetischer Sicht sind hohe Pflanzenzahlen in Naturverjüngungen erwünscht, aus betriebswirtschaftlichen Gründen sind sie hingegen weniger günstig. Falls waldbauliche Rationalisierungsmassnahmen eine Stammzahlreduktion in der Jungwuchs- und Dickungsphase notwendig machen, sind schematische Verfahren zu bevorzugen.
- Die Kunstverjüngung unterbricht die natürlichen genetischen Prozesse. Sie hat deswegen einen grossen Einfluss auf die genetischen Strukturen. Kunstverjüngung macht die Wahl einer geeigneten Herkunft und die Produktion von Pflanzgut notwendig. Dabei können aus genetischer Sicht erhebliche Probleme auftreten.
- In Kulturen ist die genetische Basis für die natürliche wie die waldbauliche Selektion reduziert, da von Anfang an mit erheblich kleineren Pflanzenzahlen gearbeitet wird. Aus genetischer Sicht sollten allzu geringe Pflanzenzahlen in Kulturen vermieden werden.
- Die Saatgutgewinnung hat einen grossen Einfluss auf die genetische Vielfalt, weil sie über die Zusammensetzung der neuen Kulturen bzw. der zukünftigen Bestände entscheidet. Saatgutgewinnung ist folglich eine Aufgabe für Fachleute. Eine möglichst vollständige Erfassung der genetischen Vielfalt einer Art bei der Nachzucht kann auf zwei Arten geschehen. Einmal durch Erfassung einer möglichst repräsentativen Stichprobe innerhalb der Bestände. Dazu muss Saatgut von einer möglichst grossen Anzahl an Erntebäumen je Erntebestand gesammelt werden. Überdies kann auch die Vielfalt, die in der Differenzierung zwischen verschiedenen Beständen aus verschiedenen ökologischen Bedingungen (Höhenlagen usw.) liegt, erfasst werden. Dazu ist die Ernte und Nachzucht möglichst vieler verschiedener Herkünfte notwendig. Je nach Verteilung der genetischen Variation innerhalb der Art ist die eine oder die andere Art erfolgversprechender. Für die Schweiz verfügen wir leider über keine Angaben dazu. Eine möglichst grosse Vielfalt an Herkünften in der Nachzucht ist für die Schweiz mit extremen topographischen und standörtlichen Unterschieden vermutlich aber mindestens ebenso bedeutsam wie die Erfassung der Vielfalt innerhalb von Beständen. Im Rahmen der praktischen Möglichkeiten soll folglich die Ernte und Anzucht möglichst vieler Herkünfte sowie die Ernte von möglichst vielen Mutterbäumen je Herkunft angestrebt werden. Ökonomische Überlegungen sind dabei den genetischen Aspekten unterzuordnen, da die Kosten für Saatgutbeschaffung und Pflanzenanzucht ohnehin lediglich wenige Promille der gesamten waldbaulichen Investitionskosten ausmachen.

- Das Mischen von Saatgut verschiedener Erntejahre pro Erntebestand ist zu empfehlen. Das Mischen von Saatgut aus verschiedenen Erntebeständen soll zugelassen werden, vorausgesetzt, dass die ökologischen Verhältnisse vergleichbar sind. Bedingung dafür ist die Festlegung von Herkunftsgebieten, innerhalb derer das Mischen erlaubt ist, sowie die Forderung nach einer Deklarationspflicht über die verwendeten Herkünfte und Mengenanteile des Mischsaatgutes.
- Die Anzuchtbedingungen im Pflanzgarten sollen nicht zu stark von den natürlichen Bedingungen abweichen (Dünger und Fungizideinsatz), damit sich die Viabilitätsselektion nicht zu stark von den natürlichen Verhältnissen unterscheidet. Eine Grössensortierung der Pflanzen innerhalb der gleichen Herkunft ist zu vermeiden, ebenso die Grössensortierung des Saatgutes.
- Die Verwendung fremder Herkünfte kann waldbaulich sinnvoll oder gar notwendig sein. Die Wahl der Herkunft aber ist ein wichtiger waldbaulicher Entscheid, der ausreichende Kenntnisse voraussetzt. Ökologische Überlegungen gehören ebenso zum Entscheidungsprozess wie das Abwägen der waldbaulichen Ziele sowie der möglichen Risiken.
- Autochthone Bestände sind umso erhaltenswerter, je extremer bzw. je spezieller ihre Standortverhältnisse sind und je höher das Risiko bei Verwendung einer falschen, nichtlokalen Herkunft einzuschätzen ist. Auch historische oder andere Aspekte können unter Umständen wichtige Kriterien sein. Für die Erhaltung von wertvollem autochthonem Erbmaterial sind Genreservate notwendig, für die spezielle Bewirtschaftungsvorschriften gelten müssen.
- Für die seltenen, zerstreut vorkommenden Baumarten ist die Erhaltung der genetischen Vielfalt *in situ* nicht ausreichend. Populationsgenetische wie praktische Gesichtspunkte legen nahe, dass die Saatgutbeschaffung *in situ* bei diesen Arten zu einem Verlust der genetischen Vielfalt führt. Für die Produktion von hochwertigem, genetisch vielfältigem Saatgut und Pflanzenmaterial und für die langfristige Erhaltung dieser Arten sind Samenplantagen notwendig. Die Grösse und Anzahl solcher Plantagen hat sich nach genetischen Kriterien zu richten; weder der Saatgutbedarf noch ökonomische Gesichtspunkte sind dabei erheblich. Erhaltungsaspekte sind in den Vordergrund zu stellen.

4. Wo stehen wir heute?

Die Naturverjüngung hat im Schweizer Waldbau eine lange Tradition. Kleinflächige, örtlich und zeitlich differenzierte Verjüngungsabläufe sind die Regel sowohl bei der Plenterung, der Gebirgsplenterung wie auch im Femel-

schlagbetrieb. Die Annahme liegt also nahe, dass die genetische Vielfalt auch in unseren bewirtschafteten Wäldern ausreichend bewahrt wird. Bereits 1931 hat *Flury* die Auffassung vertreten, dass sich die Fragen zur Wahl der richtigen Herkunft und die Probleme der Saatgutbeschaffung von selbst lösen werden, weil künftig immer mehr natürlich verjüngt werde. Dieser bis heute weit verbreiteten Auffassung ist es wohl auch zuzuschreiben, dass genetischen Fragen in der Schweiz bisher wenig Beachtung geschenkt worden ist. Doch ist diese Annahme wirklich zutreffend? Werden unsere Wälder tatsächlich vorwiegend natürlich verjüngt und fällt die Erhaltung der genetischen Vielfalt gleichsam automatisch als Nebenprodukt der waldbaulichen Tätigkeit an?

Gemäss Landesforstinventar (*Mahrer et al.*, 1988) sind gesamtschweizerisch 56% der Jungwüchse und Dickungen aus Naturverjüngung, 23% aus gemischter Verjüngung und 21% aus Kultur hervorgegangen. Gesamtschweizerisch besteht also schätzungsweise noch immer rund ein Drittel der Verjüngungsflächen aus Kulturen. Die höchsten Anteile an Naturverjüngung weisen die Südschweiz mit 92% bzw. die Alpen mit 87% auf. Im Mittelland hingegen bestehen 44% der Fläche aus Kulturen, 41% aus gemischter und lediglich 15% aus Naturverjüngung. Im Jura sind 29% aus Kulturen, 37% aus gemischter und 34% aus natürlicher Verjüngung hervorgegangen. In den Voralpen erhöht sich der Anteil Naturverjüngung auf 53%, bei 25% gemischten und 22% reinen Kulturen. Bei einigen Baumarten wie etwa Eiche, Kirsche oder Linde dürften die Anteile an Kulturen noch deutlich über den genannten Werten liegen.

Die Erhaltung der genetischen Vielfalt als gleichsam automatisch gelöst zu betrachten, wäre aufgrund dieser Zahlen eine zu stark vereinfachte Sicht der Dinge. Im Gebirge und auf der Alpensüdseite scheint die Erhaltung der genetischen Vielfalt kaum Anlass zu Besorgnis zu geben. Anders verhält sich die Situation in den übrigen Gebieten der Schweiz. Ein hoher Anteil an Kulturen und eine grössere Palette an Baumarten verlangt, dass wir uns in diesen Gebieten vermehrt mit den genetischen Aspekten der künstlichen Bestandesbegründung auseinandersetzen. Insbesondere qualitative und quantitative Aspekte der Gewinnung, Versorgung und Kontrolle von forstlichem Vermehrungsgut müssen dabei im Mittelpunkt stehen.

Eine Analyse der aktuellen Situation beim forstlichen Vermehrungsgut ergibt folgende Feststellungen:

- Die Fläche der öffentlichen Forstgärten nimmt laufend ab. Nach *Fürst* (1991a) hat die Gesamtfläche zwischen 1970 und 1985 um 46% abgenommen. Dieser Trend hat sich in den letzten 10 Jahren eher noch verstärkt.
- Die Produktion von Forstpflanzen konzentriert sich immer mehr auf wenige, grosse, zumeist private Betriebe. Die qualitativen und quantitativen Aspekte der Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut werden damit delegiert.

- Die Anzahl der produzierten Herkünfte nimmt ab. Die rationelle Produktion in grossen Betrieben führt zur Nachzucht weniger Herkünfte in grösseren Mengen. Lokale Herkünfte stehen kaum mehr zur Verfügung.
- Die Saatgutversorgung bietet Probleme, vor allem beim Laubholz und bei den selteneren Arten. Trotz teilweiser Delegation der Probleme an die Privatwirtschaft melden rund ein Drittel der Kantone grosse und rund die Hälfte der Kantone mittlere Probleme bei der Beschaffung von Saatgut (Umfrage KOK vom Mai 1993). Auch der Schweizerische Verband für Forstbauschulen (VSFB) beurteilt die Saatgutbeschaffung als problematisch. Gemäss einer Umfrage des VSFB ist einzig die Saatgutversorgung bei Fichte genügend, obwohl auch bei Fichte zu wenig Herkünfte (Höhenlagen) vorhanden sind. Als qualitativ und quantitativ genügend wird die Situation bei Weisstanne, Bergahorn, Esche, Spitzahorn und Hainbuche beurteilt, obwohl bei diesen Arten die Anzahl Herkünfte als zu gering eingestuft wird. Für alle übrigen Baumarten wird die Saatgutversorgung als qualitativ wie quantitativ ungenügend betrachtet. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass für alle Baumarten zu wenig Herkünfte für die Nachzucht vorhanden sind und dass für viele Baumarten die inländischen Saatgutmengen nicht ausreichen.
- Eng verknüpft mit quantitativen Aspekten sind auch qualitative Aspekte. Die genetische Qualität dürfte in vielen Fällen ungenügend sein. Selbst bei Baumarten, bei denen die Saatgutversorgung als qualitativ genügend eingeschätzt wird, sind Zweifel angebracht, ob das Saatgut von geeigneten Erntebeständen bzw. von genügend Erntebäumen stammt, um genetischen Anforderungen genügen zu können. Es fehlt diesbezüglich an Vorschriften, Empfehlungen oder Kontrollen.
- Ein beträchtlicher Anteil der benötigten Pflanzen ist ausländischer Herkunft. Nach Fürst (1991b) stammt jede zweite bis dritte Laubholzpflanze in den Kulturen nicht aus der Schweiz, beim Nadelholz ist jede dritte bis vierte Pflanze ausländischer Herkunft.

Die wichtigsten Gründe für die skizzierte Situation bei der Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut sind:

- Eine ungenügende Anzahl ausgeschiedener Samenerntebestände; veraltete, nicht nachgeführte kantonale Samenerntekataster (Ausnahmen vorhanden).
- Eine ungenügende Erntebasis bei den zerstreut vorkommenden Arten durch Fehlen ausreichender Bestandesgrössen.
- Eine geringe eidgenössische und kantonale Regelungsdichte. Uneinheitliche, föderalistische Lösungen und unterschiedliches Engagement. Ungenügende Organisationsstrukturen; unzureichende Koordination und Information auf allen Stufen.
- Eine ungenügende Infrastruktur für Ernte und Lagerung.

- Eine ungenügende Problemerkennung und Ausbildung im Forstdienst.
- Eine unzureichende Basis an Wissen und wissenschaftlichen Kenntnissen.

5. Handlungsbedarf

Ein Vergleich der heutigen Situation mit den genannten Zielen und Forderungen lässt einen Handlungsbedarf erkennen. Die Analyse verdeutlicht, dass der Handlungsbedarf vor allem bei der Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut für tiefere Lagen des Mittellandes, des Juras und der Voralpen liegt. Die quantitative wie auch die qualitative Versorgung mit Saatgut für diese Regionen ist ungenügend. Die momentane Situation liesse sich verbessern durch:

Auf genetischer Ebene:

- Eine Erhöhung der Anzahl verfügbarer Herkünfte für alle Hauptbaumarten.
- Die Sicherstellung und Überwachung der genetischen Qualität des Vermehrungsgutes dieser Baumarten.
- Die Erhaltung einer ausreichenden genetischen Basis der weniger häufigen Baumarten.
- Die Bereitstellung ausreichender Mengen von qualitativ hochwertigem Saatgut für diese Arten.

Auf organisatorischer Ebene:

- Die ausschliessliche Zuständigkeit und Verantwortung des Forstdienstes für die Saatgutbeschaffung inländischer Herkünfte.
- Eine Koordination der Ziele, Massnahmen, Mittel und Strukturen auf gesamtschweizerischer Ebene.
- Die Schaffung von geeigneten nationalen und kantonalen Organisationsstrukturen.
- Das Vorliegen von einheitlichen Vorschriften und Richtlinien.
- Die Gewährleistung des Informationsflusses zwischen allen Beteiligten.
- Eine Schulung und Beratung der zuständigen Personen.

Auf technischer Ebene:

- Die Bereitstellung der notwendigen Mittel und Infrastrukturen (materiell, personell und finanziell).

Folgende Massnahmen bzw. Instrumente sind notwendig, um diese Forderungen in die Praxis umzusetzen:

- Die Ausscheidung einer ausreichenden Anzahl von Samenerntebeständen für alle Hauptbaumarten. Die Ausscheidung soll auf klaren, genetisch sauberen und einheitlichen Kriterien bzw. Mindestanforderungen beruhen. Die Erntebestände sollen die verschiedenen ökologischen Bedingungen möglichst gut repräsentieren. Eine Koordination über Kantonsgrenzen hinaus ist notwendig. Als Zielgrösse ist ein Flächenanteil von mindestens 2% je Baumart anzustreben. Eine dezentrale, aber koordinierte Lösung ist angezeigt, da die kantonalen Kataster als Grundlage dienen können.
- Ein nationales Verzeichnis der Erntebestände. Dieses Instrument ist notwendig, um die organisatorischen Probleme zu beseitigen: Es liefert die Information, gewährleistet die Einheitlichkeit von Ausscheidungskriterien, Bestandes- und Standortdaten, es stellt die Nachführung der Bestände, die ausreichende und repräsentative Vertretung an Herkünften sowie die Kontrolle der Erntemengen sicher. Es schafft aber vor allem die Basis für eine saubere Kennzeichnung und Kontrolle des verwendeten inländischen Saatgutes. Eine zentrale Lösung ist notwendig.
- Eine Vermittlungsstelle für Saatgut. Eine effiziente Planung und bedarfsgerechte Saatguternte sowie eine ausreichende Saatgutversorgung sind nur möglich, wenn Erntemöglichkeiten und Bedarf aufeinander abgestimmt werden können. Eine zentrale Lösung ist notwendig.
- Die Infrastruktur für die Saatguternte. Notwendig sind gut ausgebildete und ausgerüstete Ernteequipen. Eine zentrale Lösung – unter Einbezug dezentraler Strukturen – ist anzustreben, da daraus viele Vorteile erwachsen. Eine zentrale Struktur stellt sicher, dass das Saatgut von Fachleuten geerntet wird, dass ein Bezug zur Vermittlungsstelle und zur Information möglich ist, dass die Saatguternte rationell, flexibel und nach genetischen Gesichtspunkten ausgeführt wird und dass eine grosse Sicherheit gewährleistet ist. Kontrollinstrumente werden dadurch überflüssig.
- Die Infrastruktur für die fachgerechte und rationelle Aufbereitung, Lagerung und Vorbehandlung des Saatgutes. Die notwendige Infrastruktur und das Know-how sprechen für eine zentrale Lösung. Eine Integration mit den anderen Instrumenten ist vorteilhaft.
- Ein Inventar über Bestand und Verbreitung der seltenen, zerstreut vorkommenden Baumarten. Für die Erhaltung und Sicherung der genetischen Basis dieser Arten und für die Anlage von Samenplantagen sind solche Informationen unerlässlich.
- Die Anlage von Samenplantagen für die seltenen, zerstreut vorkommenden Baumarten. Solche Plantagen sollen gleichzeitig der Erhaltung des Genpools und der Bereitstellung von hochwertigem Saatgut dienen. Die Grösse und Anzahl je Baumart muss sich an der Generhaltung und nicht am Saatgutbedarf orientieren. Für Aufbau, Betrieb, Unterhalt und Saatgutgewinnung sind entsprechende Strukturen zu schaffen. Für einen effi-

zienten, fachmännischen und kostengünstigen Betrieb ist eine zentrale Lösung notwendig.

6. Schlussbemerkung

Der naturnahe Waldbau mit kleinflächiger, zeitlich gestaffelter Verjüngung und mit einem relativ hohen Anteil an Naturverjüngung schafft grundsätzlich günstige Bedingungen für die Erhaltung der genetischen Vielfalt unserer Wälder. Dennoch besteht ein klarer Handlungsbedarf beim forstlichen Vermehrungsgut und bei der Generhaltung der seltenen Baumarten. Im europäischen Vergleich hat die Schweiz in diesen Bereichen einen Nachholbedarf. Handlungsbedarf und Lösungsvorschläge liegen Bund und Kantonen seit 1991 vor (*BUWAL*, 1991). Die gesetzlichen Grundlagen in Waldgesetz und Verordnung reichen aus, um die aufgezeigten Lösungsvorschläge umzusetzen. Dazu ist jedoch der forstpolitische Wille von Bund und Kantonen erforderlich. Da zentrale Strukturen notwendig sind, ist eine aktive Rolle des Bundes unerlässlich. Mit den Genreservaten und dem nationalen Kataster der Samenerntebestände sind erste Schritte eingeleitet worden, die jedoch konsequent weiter vorangetrieben werden müssen.

Résumé

Diversité génétique et activité forestière pratique: problèmes et nécessité d'agir

L'auteur analyse l'influence des activités forestières sur la diversité génétique de nos forêts à l'aide des connaissances génétiques actuelles. Plus particulièrement, l'influence des soins aux peuplements, la régénération, la fragmentation des espaces vitaux et des populations ainsi que l'utilisation de provenances étrangères sont considérées plus en détail. Les conséquences qui en découlent pour l'activité sylvicole sont élaborées. Dans les régimes de la coupe progressive, du jardinage classique ou de montagne, une sylviculture proche de la nature, pratiquée sur de petites surfaces et composant avec le rajeunissement naturel, est appliquée. Ce type d'intervention s'est avéré propice à assurer la diversité génétique de nos essences et de nos peuplements. En Suisse aussi, la proportion de plantations est par endroits relativement élevée. Les aspects génétiques requièrent de ce fait avant tout notre attention dans les régénérations artificielles. L'approvisionnement en matériel végétal pour la reproduction revêt, en particulier, un intérêt crucial. Une analyse comparative des conditions actuelles dans ce domaine par rapport aux exigences laisse apparaître une grande nécessité d'agir. En conclusion, des propositions d'amélioration de la situation prédominant actuellement sont présentées.

Traduction: *Pascal Schneider*

Literatur

- Anonymus*, 1993: Einfluss des Vermehrungsgutes auf den wirtschaftlichen Erfolg. Österr. Forstzeitung 104/2: 11.
- Bergmann, F., Ruetz, W.*, 1991: Isozyme genetic variation and heterozygosity in random tree samples and selected orchard clones from the same Norway spruce populations. Forest Ecology and Management 46: 39–47.
- Billington, H. L.*, 1991: Effect of population size on genetic variation in a dioecious conifer. Conservation Biology 5: 115–119.
- Bush, R. M., Smouse, P. E., Ledig, F. T.*, 1987: The fitness consequence of multilocus heterozygosity: The relationship between heterozygosity and growth rate in pitch pine (*Pinus rigida* Mill.). Evolution 41: 787–798.
- BUWAL*, 1991: Die Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 155. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 94 Seiten.
- Cheliak, W. M., Murray, G., Pitel, J. A.*, 1988: Genetic effects of phenotypic selection in white spruce. Forest Ecology and Management 24: 139–149.
- El-Kassaby, Y. A.*, 1992: Domestication and genetic diversity – should we be concerned? Forestry Chronicle 68/6: 687–700.
- El-Kassaby, Y. A., Fashler, A. M. K., Crown, M.*, 1989: Variation in fruitfulness in a Douglas-fir seed orchard and its effects on crop management decisions. Silvae Genetica 38: 113–121.
- Eriksson, G., Johnsson, A., Lindgren, D.*, 1973: Flowering in a clonal trial of *Picea abies* Karst. Studia Forestalia Suecica 110.
- Farris, M. A., Mitton, J. B.*, 1984: Population density, outcrossing rate, and heterozygote superiority in Ponderosa pine. Evolution 38: 1151–1154.
- Flury, P.*, 1931: Zur Frage der forstlichen Samenprovenienz. Schweiz. Z. Forstwes. 82/2: 41–47.
- Fürst, E.*, 1991a: In: Schriftenreihe Umwelt Nr. 155, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Seite 9.
- Fürst, E.*, 1991 b: Die Einfuhr von forstlichem Vermehrungsgut 1989. Schweiz. Z. Forstwes. 142/3: 227–237.
- Gömöry, D.*, 1992: Effect of stand origin on the genetic diversity of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) populations. Forest Ecology and Management 54: 215–223.
- Greger, O.*, 1992: Erfassung von Relikten des autochthonen Fichtenvorkommens im Hochharz. Aus dem Walde, Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung Heft 44, 319 Seiten.
- Griffith, B. G.*, 1968: Phenology, growth and flower and cone production of 154 Douglas-fir trees on the University Research Forest as influenced by climate and fertilizer, 1957–1967. Univ. of B. C. Fac. For. Bull. 6.
- Hattemer, H. H., Gregorius, H. R., Ziehe, M., Müller-Starck, G.*, 1982: Klonzahl forstlicher Samenplantagen und genetische Vielfalt. Allg. Forst- u. Jagd Ztg. 153: 183–191.
- Hattemer, H. H., Gregorius, H. R.*, 1993: Genetische Anforderungen an Massnahmen zur Art-erhaltung. Forstarchiv 64: 44–49.
- Heiseke, D.*, 1984: Untersuchungen über Eichelmasten und Pflanzenausbeute in der Gohrde von 1979–1981. Forst- und Holzwirt 39/5: 107–113.
- Heybroek, H. M.*, 1974: Selection pressure on tree populations in different plant formations. In: Proc. Joint IUFRO Meeting S.02.04.1–3, Stockholm: 271–282.
- Heybroek, H. M.*, 1990: Genetische Vielfalt, genetische Anpassung und die Forstpflanzenzüchtung. In: *Stephan, B. R.* (ed.), 1990: Erhaltung forstlicher Genressourcen. Mitt. Bundesforschungsanstalt f. Forst- u. Holzwirtsch., Hamburg 164: 33–56.
- Hosius, B.*, 1993: Wird die genetische Struktur eines Fichtenbestandes von Durchforstungseingriffen beeinflusst? Forst und Holz 48: 306–308.
- Johnsson, A., Ekberg, I., Eriksson, G.*, 1976: Flowering in a seed orchard of *Pinus sylvestris* L. Studia Forestalia Suecica 135: 1–38.
- Knowles, P.*, 1985: Comparison of isozyme variation among stands and plantations: Jack pine and black spruce. Can. J. For. Res. 15: 902–908.
- Knowles, P., Furnier, G. R., Aleksuk, M. A., Perry, D. J.*, 1987: Significant levels of self-fertilization in natural populations of tamarack. Can. J. Bot. 65: 1087–1091.

- Konnert, M., 1991: Vergleich der genetischen Struktur verschiedener Generationen zweier natürlich verjüngter Fichtenbestände des Schwarzwaldes. *Silvae Genetica* 20/2: 60–65.
- Larsen, J. B., 1980: *Abies alba*-Provenienzen in Dänemark. In: Mayer, H., 1980: 3. Tannensymposium Wien, Waldbauinst. Univ. f. Bodenk., Wien: 78–91.
- Larsen, J. B., 1986: Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weisstanne. *Forstwiss. Cbl.* 105: 381–396.
- Ledig, F. T., Guries, R. P., Bonefeld, B. A., 1983: The relation of growth to heterozygosity in Pitch pine. *Evolution* 37: 1227–1238.
- Ledig, F. T., Conkle, M. T., 1983: Gene diversity and genetic structure in a narrow endemic Torrey pine (*Pinus torreyana* Parry ex Carr.). *Evolution* 37: 79–85.
- Linhart, Y. B., Mitton, J. B., Sturgeon, J. B., Davis, M. L., 1981: Genetic variation in space and time in a population of Ponderosa pine. *Heredity* 46/3: 407–426.
- Mahrer, F. et al., 1988: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982–1986. Bericht EAFV 305, 375 Seiten.
- Mitton, J. B., Grant, M. C., 1980: Observations on the ecology and evolution of quaking aspen, *Populus tremuloides*, in the Colorado front range. *Am. J. Bot.* 67: 202–209.
- Moran, G. F., Hopper, S. D., 1983: Genetic diversity and the insular population structure of the rare granite rock species, *Eucalyptus caesia* Benth. *Austr. J. Bot.* 31: 161–172.
- Moran, G. F., Bell, J. C., Eldridge, K. G., 1988: The genetic structure and the conservation of five natural populations of *Pinus radiata*. *Can. J. For. Res.* 18: 616–622.
- Morgante, M., Vendramin, G. G., Rossi, P., 1991: Effects of stand density on outcrossing rate in two Norway spruce (*Picea abies*) populations. *Can. J. Bot.* 69: 2704–2708.
- Müller-Starck, G., Ziehe, M., Bergmann, F., Hattemer, H. H., 1982: Die Samenplantage als Instrument der Vermehrung von Waldbäumen. *Allg. Forst- u. Jagd Ztg.* 153: 220–229.
- Muona, O., 1989: Population genetics in forest tree improvement. In: Plant population genetics, breeding and genetic resources. Edited by A. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kahler and B. S. Weir. Sinauer, Sunderland: 282–298.
- Muona, O., Harju, A., 1989: Effective population sizes, genetic variability, and mating system in natural stands and seed orchards of *Pinus sylvestris*. *Silvae Genetica* 38: 221–228.
- Namkoong, G., 1969: Nonoptimality of local races. In: 10th Conf. South. Forest Tree Imp. Coop., Houston, Texas, June 17–19, 1969.
- Rhefeldt, G. E., 1979: Ecotypic differentiation in populations of *Pinus monticola* in North Idaho – myth or reality? *American Naturalist* 114: 627–636.
- Rhefeldt, G. E., 1980: Genetic variation in southern Idaho Ponderosa pine progeny tests after 11 years. USDA For. Serv. Res. paper INT-75.
- Rhefeldt, G. E., 1983: Ecological adaptations in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*) populations. III Central Idaho. *Can. J. For. Res.* 13: 626–632.
- Roberds, J. H., Conkle, M. T., 1984: Genetic structure in Loblolly pine stands; Allozyme variation in parents and progeny. *Forest Science* 30/2: 319–329.
- Schober, R., 1985: Neue Ergebnisse des II. Internationalen Lärchenprovenienzversuches von 1958/59 nach Aufnahmen von Teilversuchen in 11 europäischen Ländern und den U.S.A. Schriftenreihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen 83.
- Shea, K. L., 1989: The relationship between heterozygosity and fitness in Engelmann spruce and subalpine fir. *Am. J. Bot.* 76: 153–154.
- Shea, K. L., 1987: Effects of population structure and cone production on outcrossing rates in Engelmann spruce and subalpine fir. *Evolution* 41: 124–136.
- Stern, K., Gregorius, H. R., 1972: Schätzung der effektiven Populationsgrösse bei *Pinus silvestris*. *Theor. Appl. Genet.* 42: 107–110.
- Stettler, R. F., 1986: Der Wald als Experiment. *Schweiz. Z. Forstwes.* 137/3: 205–220.
- Stettler, R. F., 1987: Zur Erhaltung und Erneuerung der forstlichen Genressourcen der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 138/8: 673–683.
- Strauss, S. H., 1986: Heterosis at allozyme loci under inbreeding and crossbreeding in *Pinus attenuata*. *Genetics* 113: 115–134.
- Strauss, S. H., Libby, W. J., 1987: Allozyme heterosis in radiata pine is poorly explained by overdominance. *Am. Nat.* 130: 879–890.
- Thiébaud, B., Comps, B., Leroux, A., 1992: Relation hauteur-génotype dans une régénération naturelle de hêtre (*Fagus sylvatica* L.), équienne et âgée de 18 ans. *Ann. Sci. For.* 49: 321–335.

- Thoma, S.*, 1992: Genetische Variation an Enzym-Genloci in Reliktbeständen der Eibe (*Taxus baccata* L.). Diplomarbeit Forstwiss. Fachbereich Univ. Göttingen.
- Tschermak, L.*, 1934: Zur Geschichte der künstlichen Bestandesbegründung in Österreich. Vierteljahresschrift f. Forstwesen 52: 1–14.
- Wheeler, N.C., Jech, K.S.*, 1992: The use of electrophoretic markers in seed orchard research. New Forests 6: 311–328.
- Weissgerber, H., Dimpfelmeier, R., Ruetz, W., Kleinschmit, J., Widmaier, T.*, 1984: Ergebnisse des internationalen Fichten-Provenienzversuches 1962. Entwicklung bis zum Alter 18. Allg. Forst- u. Jagd Ztg. 155/4–5: 110–121.

Verfasser: Peter Rotach, dipl. Forsting. ETH, Departement Wald- und Holzforschung der ETHZ, Professur für Waldbau, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.