

5.2 Erhaltung genetischer Ressourcen im Schweizer Wald – heutige Situation und Handlungsbedarf angesichts des Klimawandels

Christoph Sperisen, Andrea R. Pluess, Matthias Arend, Peter Brang, Felix Gugerli und Caroline Heiri

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf

Korrespondenz: christoph.sperisen@wsl.ch

Waldbäume verfügen generell über eine grosse genetische Vielfalt und damit über eine grosse genetische Anpassungsfähigkeit. Die mit dem Klimawandel verbundenen Umweltänderungen verlaufen sehr schnell und stellen die Anpassungsfähigkeit der Baumarten auf die Probe. Baumpopulationen werden sich vor allem dann an den Klimawandel anpassen können, wenn sie sich regelmässig und in grosser Zahl verjüngen, weil so die natürlichen Anpassungsprozesse stetig wirken können. In der Schweiz werden heute die meisten Wälder natürlich verjüngt. Dies und die für den Schweizer Waldbau typischen kleinflächigen und zeitlich gestaffelten Verjüngungseingriffe begünstigen die Anpassungsfähigkeit grundsätzlich. Dennoch sind ergänzende Massnahmen sinnvoll. Handlungsbedarf besteht bei der Ausweisung von Generhaltungsgebieten, die der langfristigen Sicherung von ausgewählten Baumpopulationen und ihrer genetischen Vielfalt dienen. Diese Gebiete müssten einige Prozente der Waldfläche ausmachen, um wirksam zu sein. Handlungsbedarf besteht auch beim forstlichen Vermehrungsgut, dem wegen rückläufiger Pflanzenzahlen immer weniger Beachtung geschenkt wird. Infolge des Klimawandels dürften Pflanzungen wieder bedeutender werden, entweder mit regionalen Saatgutmischungen oder mit Saatgut aus trockeneren und wärmeren Regionen. Die Regelungen zum forstlichen Vermehrungsgut und deren Umsetzung sind zu überprüfen, insbesondere die Auswahl und Anzahl der Samenerntebestände sowie die Gewinnung von Saatgut. Für den Transfer von Saatgut zwischen Forstregionen und über die Landesgrenze hinweg sind fachlich fundierte Lösungen zu entwickeln. Die Rolle und das Engagement der zuständigen Institutionen bei Bund und Kantonen sowie der Forstbaumschulen sind zu klären, und das Thema ist auch in Bildung und Forschung mit ausreichenden Ressourcen auszustatten. Dies sichert einen fachgerechten Umgang mit forstgenetischen Ressourcen und erlaubt es, das Know-how weiterzuentwickeln.

Erhaltung der genetischen Anpassungsfähigkeit

Genetische Vielfalt ist eine grundlegende Voraussetzung für Anpassungsprozesse und bestimmt – neben anderen Faktoren – die Fähigkeit von Baumpopulationen, auf Veränderungen der Umwelt zu reagieren und sich anzupassen (siehe auch Kap. 3.2, GUGERLI *et al.* 2016). Eine ausreichend grosse genetische Vielfalt ist somit eine wichtige Voraussetzung für den Fortbestand der einzelnen Baumarten und trägt dazu bei, dass Wälder die von ihnen erwarteten Leistungen erbringen können. Die genetische Vielfalt ist damit ein elementarer Bestandteil unserer Waldressourcen.

Im Vergleich zu anderen Pflanzenarten zeichnen sich Baumarten generell durch eine grosse genetische Vielfalt aus (HAMRICK *et al.* 1992). Mit ihren meist grossen Populationen, hohen Fremdbefruchtungsraten und einem intensiven Genfluss verfügen sie über Eigenschaften, die dazu führen, dass die genetische Vielfalt innerhalb von Populationen erhalten und angereichert wird (PETIT und HAMPE 2006). Diese grosse genetische Vielfalt hat in der Vergangenheit bewirkt, dass sich Baumpopulationen an ihre lokale Umwelt anpassen konnten (ALBERTO *et al.* 2013). Die Dynamik solcher Anpassungen vollzieht sich massgeblich als eine Folge natürlicher Selektion und führt durch das Ausscheiden schlecht angepasster Individuen zu Veränderungen von Allelhäufigkeiten (Kap. 3.2, GUGERLI *et al.* 2016).

Die mit dem Klimawandel verbundenen Umweltänderungen verlaufen sehr schnell und stellen für die Baumarten neue Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit dar. Baumpopulationen werden sich auch unter dem Klimawandel genetisch verändern. Es wird aber erwartet, dass sich viele Baumarten nur verzögert an den Klimawandel anpassen werden (AITKEN *et al.* 2008). Genetische Modelle zeigen, dass die Anpassung von Populationen an eine sich verändernde Umwelt durch verschiedene genetische und demografische Faktoren bestimmt wird, insbesondere durch die vorhan-

dene genetische Vielfalt, die Populationsgrösse, das Populationswachstum und die Art und Stärke der Selektion (BÜRGER und KRALL 2004). Auf Waldbäume angewendet, weisen diese Modelle darauf hin, dass sich Baumpopulationen vor allem dann an das sich verändernde Klima anpassen können, wenn sie genetisch vielfältig und gross sind und eine grosse Verjüngungsdynamik zeigen.

Als Folge jahrhundertelanger Waldnutzung sind die meisten heutigen Wälder Mitteleuropas nur noch teilweise aus Populationen zusammengesetzt, die durch rein evolutive Prozesse entstanden sind. Rodungen, Aufforstungen und Übernutzung haben sich wahrscheinlich auf die genetische Vielfalt ausgewirkt (LEDIG 1992). Aber auch heutige waldbauliche Tätigkeiten können genetische Prozesse wie Drift, Genfluss und Selektion beeinflussen und damit die genetischen Strukturen verändern (RATMAN *et al.* 2014). Am offensichtlichsten ist dies bei der künstlichen Verjüngung, forstliche Eingriffe können sich aber auch bei der Naturverjüngung auf die genetische Vielfalt auswirken. Eine Verminderung der genetischen Vielfalt ist vor allem dann zu erwarten, wenn Populationsgrössen stark reduziert werden oder wenn bei seltenen oder zerstreut vorkommenden Arten der Genfluss über Pollen durch geringe Populationsdichten eingeschränkt ist (FINKELDEY und ZIEHE 2004).

Vor diesem Hintergrund besteht heute ein breiter Konsens, dass der Erhaltung forstgenetischer Ressourcen eine hohe Bedeutung zukommt (KOSKELA *et al.* 2007; FADY *et al.* 2016). Ziel ist es, nicht nur den Status quo der genetischen Vielfalt zu erhalten, sondern auch ihre dynamische Weiterentwicklung zu fördern. Dynamische Generhaltung bedeutet, genetische Anpassungsprozesse zu fördern, insbesondere natürliche Selektion und Genfluss, wozu grosse Baumpopulationen und die Naturverjüngung die besten Voraussetzungen bilden (KOSKELA *et al.* 2013; LEFÈVRE *et al.* 2014). In den letzten Jahren wurden in vielen europäischen Ländern *in-situ*-Generhaltungswälder eingerichtet, um ausgewählte Baumpopulationen und ihre genetische Anpassungsfähigkeit langfristig zu si-

chern (LEFÈVRE *et al.* 2013). In diesen Wäldern sind waldbauliche Eingriffe explizit zugelassen, ja sogar gefordert, um eine regelmässige und stammzahlreiche Naturverjüngung zu gewährleisten (ROTACH 2005; DE VRIES *et al.* 2015). Statische Verfahren der Generhaltung wie die *ex-situ*-Erhaltung von Waldbäumen in Samenplantagen und Klonsammlungen werden vor allem bei seltenen Baumarten angewendet (KELLEHER *et al.* 2015). Um das Risiko schlechter Anpassung möglichst gering zu halten, werden auch Massnahmen zur Erhöhung der genetischen Vielfalt von Baumpopulationen diskutiert. Sinnvoll erscheint das Einbringen von regionalen Saatgutmischungen (LEFÈVRE *et al.* 2014) oder die Verwendung von «vorangepasstem» Saatgut aus trockeneren und wärmeren Regionen («assisted gene flow»; AITKEN und BEMMELS 2016). Solche Massnahmen sollen dazu dienen, die Auslesebasis für natürliche Selektion zu erhöhen und damit Anpassungsprozesse zu beschleunigen.

Mit dem europäischen Programm für die Erhaltung forstgenetischer Ressourcen (EUFORGEN) wurde 1994 eine Plattform geschaffen, um nationale Aktivitäten länderübergreifend abzustimmen und Erhaltungsmassnahmen unter Berücksichtigung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu priorisieren. Um bestehende Massnahmen zu vereinheitlichen und geografische Lücken zu identifizieren, wurden im Projekt EUFGIS erstmals Minimalanforderungen an Generhaltungswälder definiert (KOSKELA *et al.* 2013; SCHUELER und KONRAD 2016). Diese legen den Status als Generhaltungseinheit und das Erhaltungsziel fest, wie auch minimale Populationsgrössen (abhängig vom Erhaltungsziel), erforderliche waldbauliche Eingriffe (zur Förderung u. a. der Naturverjüngung) und ein Monitoring der Erhaltungseinheit (regelmässige Überprüfung der Zielart und ihrer Verjüngung). Diejenigen Generhaltungswälder, welche die festgelegten Anforderungen erfüllen, wurden in die EUFGIS-Datenbank aufgenommen. Mit Stand April 2016 umfasst die Datenbank für 34 Länder insgesamt 3320 Generhaltungseinheiten, in welchen 4081 Populationen von 100 Baumarten erhalten werden.

Vier Aspekte der forstgenetischen Ressourcen werden im Folgenden beleuchtet: 1) die in der Schweiz definierten Ziele zur Erhaltung forstgenetischer Ressourcen; 2) die heutige Praxis im Umgang mit diesen Ressourcen; 3) Stärken und Schwachstellen der heutigen Instrumente und Praktiken; und 4) der Handlungsbedarf und Optionen für zukünftiges Handeln, insbesondere in Bezug auf den Klimawandel.

Erhaltung forstgenetischer Ressourcen in der Schweiz – Konzepte und Strategien

In der Schweiz wurde bereits 1988 ein erstes Konzept zur Erhaltung forstgenetischer Ressourcen erarbeitet (Gruppe OKOK «Genreservate» 1988). Primäres Ziel war die Einrichtung von Genreservaten in autochthonen Waldbeständen, womit möglichst die gesamte ursprüngliche genetische Vielfalt heimischer Baumarten erhalten werden sollte. Das Konzept wurde 1996 erweitert und in eine nationale Strategie zur Förderung der Biodiversität im Wald integriert (BOLLIGER 1996). Zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstgenetischer Ressourcen wurden drei Massnahmen definiert: 1) die Verwendung von standortgerechtem forstlichem Vermehrungsgut für die künstliche Verjüngung von Beständen; 2) die gezielte Förderung seltener Baumarten in speziell bezeichneten Massnahmenregionen; und 3) die Erhaltung von lokal angepassten Baumpopulationen und ihres Anpassungspotenzials in Wäldern von besonderem genetischem Interesse (sog. BGI-Wälder). BGI-Wälder sollten sich durch grosse genetische Vielfalt, die Repräsentanz für bestimmte biogeografische Regionen, ihre Populationsgrösse, Autochthonie und besondere phänotypische Eigenschaften auszeichnen (BONFILS und BOLLIGER 2003).

Heute ist die Erhaltung forstgenetischer Ressourcen ein wichtiges Element der Schweizer Waldpolitik. Ziel ist, die Anpassungsfähigkeit der heimischen Waldbaumarten gegenüber dem Klimawandel zu erhalten und damit die Nutz-, Schutz-

Box 5.2.1. Biodiversität im Wald. Nationale Handlungsziele bis 2030 im Massnahmenbereich «Erhaltung der genetischen Vielfalt» (aus IMESCH *et al.* 2015)

Verjüngung bezüglich genetischer Vielfalt optimieren

- Die Naturverjüngung hat Vorrang. Durch sie wird im Normalfall sichergestellt, dass die genetische Vielfalt *in situ* erhalten wird.
- Für ergänzende Pflanzungen von Waldbäumen und -sträuchern (aus waldbaulichen Gründen, etwa im Schutzwald, oder zur Erhöhung der biologischen Vielfalt) sensibilisiert der Bund die Waldbewirtschafter im Hinblick auf die Förderung der genetischen Vielfalt zu den folgenden Aspekten:
 - Gezielte Auswahl der Provenienzen des forstlichen Vermehrungsgutes bei der Jungwaldpflege durch die Waldbewirtschafter.
 - Ausscheiden von Samenerntebeständen durch die Kantone, um die Anpassungsfähigkeit und das Überleben der sich daraus entwickelnden Waldbestände langfristig zu sichern.
 - *Ex-situ*-Massnahmen durch den Bund, wie zum Beispiel Samenplantagen für gefährdete Provenienzen von Bäumen und Sträuchern.

- Dabei achtet der Bund darauf, dass grenzüberschreitend koordiniert wird und dass die neusten Erkenntnisse der Forschung über die Anpassung an den Klimawandel berücksichtigt sind.

Generhaltungsgebiete ausscheiden und aufwerten

- Generhaltungsgebiete sind für ökologisch und ökonomisch besonders wichtige bzw. in der Verjüngung gefährdete Baumarten identifiziert. Diese Gebiete sind gross genug und über alle biogeografischen Regionen verteilt.
- Das Potenzial des bestehenden Waldreservatnetzes als Generhaltungsgebiete ist ausgeschöpft (1. Priorität) und neue Waldreservate sind – wo notwendig und möglich – zur Sicherung dieser Generhaltungsgebiete ausgeschieden (2. Priorität).

und Wohlfahrtsfunktionen der Schweizer Wälder zu sichern (BAFU 2013). Die konkreten Ziele und Massnahmen sind in der «Vollzugshilfe zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt im Schweizer Wald» festgelegt (IMESCH *et al.* 2015). Zwei Massnahmenbereiche stehen im Vordergrund: 1) die Optimierung der Verjüngung bezüglich genetischer Vielfalt; und 2) das Ausscheiden und Aufwerten von Generhaltungsgebieten (Box 5.2.1).

Mit der Optimierung der Verjüngung soll also die genetische Vielfalt auf einem möglichst grossen Teil der Waldfläche erhalten werden, wobei die Naturverjüngung gegenüber der künstlichen Verjüngung Vorrang hat. Parallel dazu sollen – als Teil des europäischen Netzes – neue Generhaltungsgebiete bestimmt werden, in denen ausgewählte Baumpopulationen und ihre genetische Vielfalt dynamisch erhalten werden sollen. Diese Gebiete sollen alle biogeografischen Regionen der Schweiz abdecken, damit die genetische Vielfalt der Zielarten möglichst vollständig erfasst wird. In erster Priorität soll dabei das Potenzial bestehender Waldreservate ausgeschöpft werden; in zweiter Priorität

werden – wo notwendig und möglich – neue Waldreservate identifiziert (IMESCH *et al.* 2015). Als Umsetzungsinstrument dienen die im Projekt EUFGIS und dem EUFORGEN-Netzwerk festgelegten Minimalanforderungen. Als Mitgliedstaat von EUFORGEN ist die Schweiz verpflichtet, diese Vorgaben einzuhalten und umzusetzen. Eine *ex-situ*-Erhaltung von Baumpopulationen ist in der Schweiz nur in Ausnahmefällen vorgesehen.

Heutiger Umgang mit forstgenetischen Ressourcen in der Schweiz

Naturnaher Waldbau – hoher Naturverjüngungsanteil

Der Waldbau in der Schweiz ist seit über 100 Jahren durch Nachhaltigkeitsdenken geprägt. Kahlschläge sind im Gebirgswald seit 1902 und schweizweit seit 1923 verboten. Die heutige Waldbewirtschaftung orientiert sich massgeblich an den Prinzipien des naturnahen Waldbaus (SCHÄDELIN 1928; LEIBUNDGUT 1946), die stetig an neue Anfor-

derungen angepasst wurden (SCHÜTZ 1999; BRANG *et al.* 2014). Soweit es für die Erzielung der angestrebten Waldleistung möglich ist, werden die kostenlosen natürlichen Prozesse wie Verjüngung, Wachstum und Konkurrenz zwischen Baumindividuen genutzt. Kosten verursachende Eingriffe werden in der Regel auf das Nötigste beschränkt. Fast ein Fünftel aller Wälder wird zudem seit mindestens 50 Jahren nicht mehr bewirtschaftet (DUC *et al.* 2010). Die Risiken von ökologischen Störungen werden mit fein gemischten Bestockungen aus standortgerechten Baumarten gering gehalten. Typisch für den Waldbau in der Schweiz sind insbesondere kleinflächige und zeitlich gestaffelte Verjüngungstätigkeiten, entweder durch das Fällen einzelner Bäume (im stufigen Plenter-, Dauerwald) oder durch das Schlagen der Bäume auf kleinen, maximal 0,5 ha grossen Flächen (im schlagweisen Hochwald). Gemäss Landesforstinventar (LFI) sind 90 Prozent der heutigen Jungwaldflächen aus rein natürlicher Ansamung entstanden (BRÄNDLI *et al.* 2010). Im Gebirge ist der Anteil mit 98 Prozent noch höher.

Nur noch wenig Kunstverjüngung

Wie in anderen Ländern Mitteleuropas wurden in der Schweiz viele Bäume gepflanzt. Infolge grosser Überschwemmungen wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts umfangreiche Aufforstungen getätigt, vor allem in den Voralpen, zum Schutz vor Naturgefahren (ETTLINGER 1976). Auch im Mittelland wurden viele Bäume gepflanzt (BÜRGI und SCHULER 2003). Der jährliche Bedarf an Forstpflanzen blieb bis in die späten 1960er-Jahre mit 20 bis 25 Millionen Stück hoch (vgl. BURKART 2013). Danach nahm der Bedarf stark ab, teils aus wirtschaftlichen, teils aus ökologischen Gründen. Heute werden jährlich nur noch 1,1 bis 1,4 Millionen Forstpflanzen benötigt (Zeitraum 2010–2014; BFS und BAFU 2015). Gepflanzt wird heute, um Wertholz zu produzieren, Schutzwälder zu stärken oder die Artenvielfalt zu fördern (BRÄNDLI und IMESCH 2015).

Forstliches Vermehrungsgut – klare Regelungen des Bundes, uneinheitliche Umsetzung bei den Kantonen

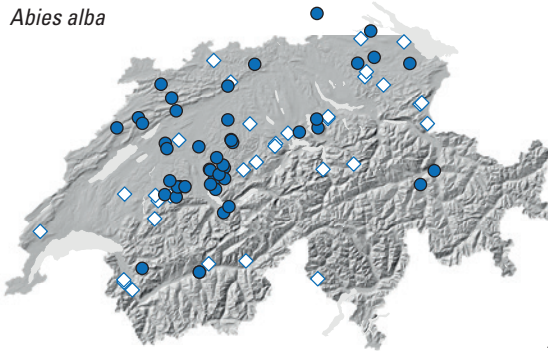
In der Schweiz ist die Gewinnung und Verwendung von forstlichem Vermehrungsgut seit 1956 in einer Verordnung des Bundes geregelt. Seit 1994 gelten für die Ausweisung von Samenerntebeständen sowie die Deklaration und die Einfuhr von forstlichem Vermehrungsgut Richtlinien der OECD (Verordnung über forstliches Vermehrungsgut 1994). Während der Bund die Strategie vorgibt, obliegt es den Kantonen, die Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut zu sichern, Samenerntebestände auszuwählen und diese dem Bund zu melden (Waldverordnung 1992; Art. 24). Seit 1992 führt der Bund einen Nationalen Kataster der Samenerntebestände (NKS).

Heute umfasst der NKS insgesamt 570 «ausgewählte» und 981 «quellengesicherte» Erntebestände von Waldbaumarten (Abb. 5.2.1). «Ausgewählte» Erntebestände müssen eine minimale Anzahl potenzieller Erntebäume aufweisen, bei bestandesbildenden Baumarten mindestens 100 Bäume, bei zerstreut vorkommenden Baumarten mindestens 25 Bäume (Verordnung über forstliches Vermehrungsgut 1994; Anhang 2). Zusätzlich müssen die Bäume «ausgewählter» Erntebestände Kriterien bezüglich der Wuchsform, Massenleistung und Holzqualität erfüllen. Diese Auswahlkriterien sind nicht genauer spezifiziert, weshalb die Auswahl der Samenerntebestände in den Kantonen uneinheitlich gehandhabt werden dürfte. «Quellengesicherte» Erntebestände können kleiner sein als «ausgewählte» und müssen keine zusätzlichen Anforderungen erfüllen (Verordnung über forstliches Vermehrungsgut 1994; Anhang 4).

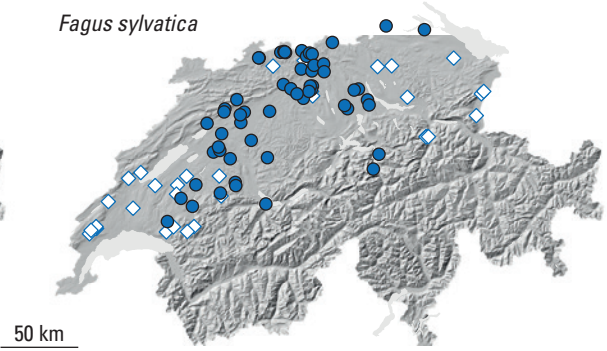
Obwohl Samenerntebestände als Ausgangsmaterial für Pflanzungen sehr wichtig sind, sind sie nur in vier Kantonen in einer Planungsgrundlage festgehalten (Grundbuch, Wirtschafts- oder Waldentwicklungsplan). Dies ergab eine schriftliche Umfrage, welche wir 2015 zum Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut bei den 25 kan-

Management genetischer Ressourcen

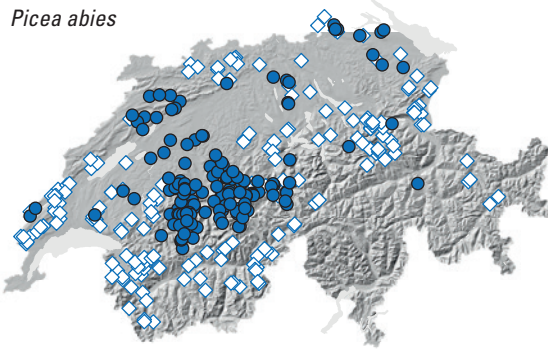
Abies alba



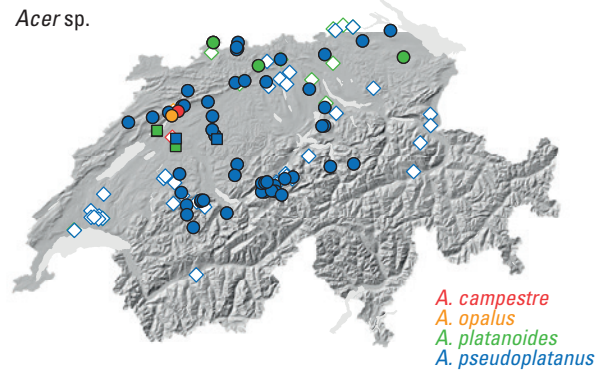
Fagus sylvatica



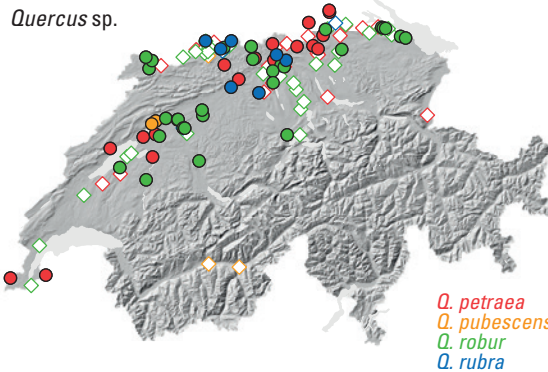
Picea abies



Acer sp.



Quercus sp.



Larix decidua

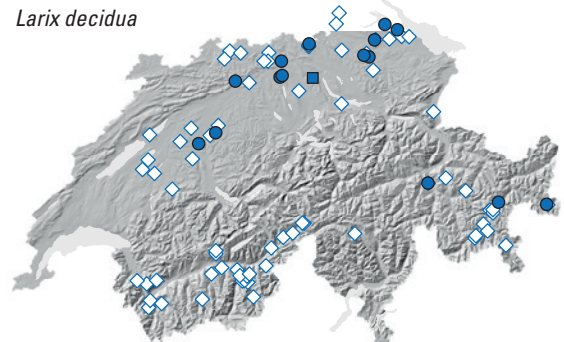


Abbildung 5.2.1. Lage der Samenerntebestände und Samenplantagen gemäss dem Nationalen Kataster der Samenerntebestände (NKS) für die drei häufigsten Baumarten der Schweiz (*Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*) und ausgewählte Baumarten (*Acer sp.*, *Quercus sp.*, *Larix decidua*). Symbole: ● Bestände der Kategorie «ausgewählte» Herkünfte, ◇ Bestände der Kategorie «quellengesicherte» Herkünfte, ■ Samenplantagen. In den Kt. Aargau, Appenzell Ausserrhoden, Appenzell Innerrhoden und Graubünden ist die Lage der quellengesicherten Bestände im NKS nicht oder nur teilweise erfasst. Datenquelle: BAFU.

tonalen Waldfachstellen durchgeführt haben (Abb. 5.2.2). Unter den 21 Kantonen, die sich an der Umfrage beteiligten, kennt ein einziger Kanton Empfehlungen für die Bewirtschaftung der Samenerntebestände (Erhaltung der Zielbaumart und ausschliessliche Verwendung der Naturverjüngung). Sechs Kantone überprüfen den Zustand der Samenerntebestände periodisch, zwei Kantone tun das alle zehn Jahre, weitere vier Kantone gelegentlich. Viele Kantone überlassen die Saatgutgewinnung den Forstbaumschulen, welche sich vor der Saatgutgewinnung selbst ein Bild vom Zustand des Erntebestandes machen. Rund ein Fünftel der Samenerntebestände wird vom Versuchsgarten der WSL betreut (BURKART 2013).

Nur sechs Kantone haben die Gewinnung von Saatgut (z. B. Mindestanzahl an Erntebäumen, Samenernte nur bei Vollmast) geregelt, obwohl in der Mehrheit der Kantone (18) Saatgut gewonnen wird. Die Auswahl von qualitativ hochwertigen

Samenbäumen, eine Mindestanzahl von fünf Erntebäumen pro Bestand sowie Samenernte nur bei Vollmast gehören zu den spezifischsten Vorschriften auf Kantonsebene. Der Bund regelt einzig die Mischung von Saatgut: Saatgutmischungen sind nur innerhalb der gleichen Kategorie («ausgewählt» oder «quellengesichert»), der gleichen Forstregion (Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen, Alpensüdseite) und innerhalb eines bestimmten Höhenbandes zulässig (für Lagen unter 1200 m ü. M. ein solches von 400 m, für Lagen von mindestens 1200 m ü. M. ein solches von 200 m; Verordnung über forstliches Vermehrungsgut 1994; Art. 10). Dabei müssen die Komponenten in den Mischungen zu gleichen Teilen enthalten sein.

Die Mehrheit der Kantone – Ausnahmen bilden solche, die eigene Baumschulen betreiben (zum Beispiel Bern, Graubünden und Waadt) – delegiert die Anzucht der Pflanzen ganz oder teilweise an Baumschulen in anderen Kantonen. Der Bedarf an forstli-

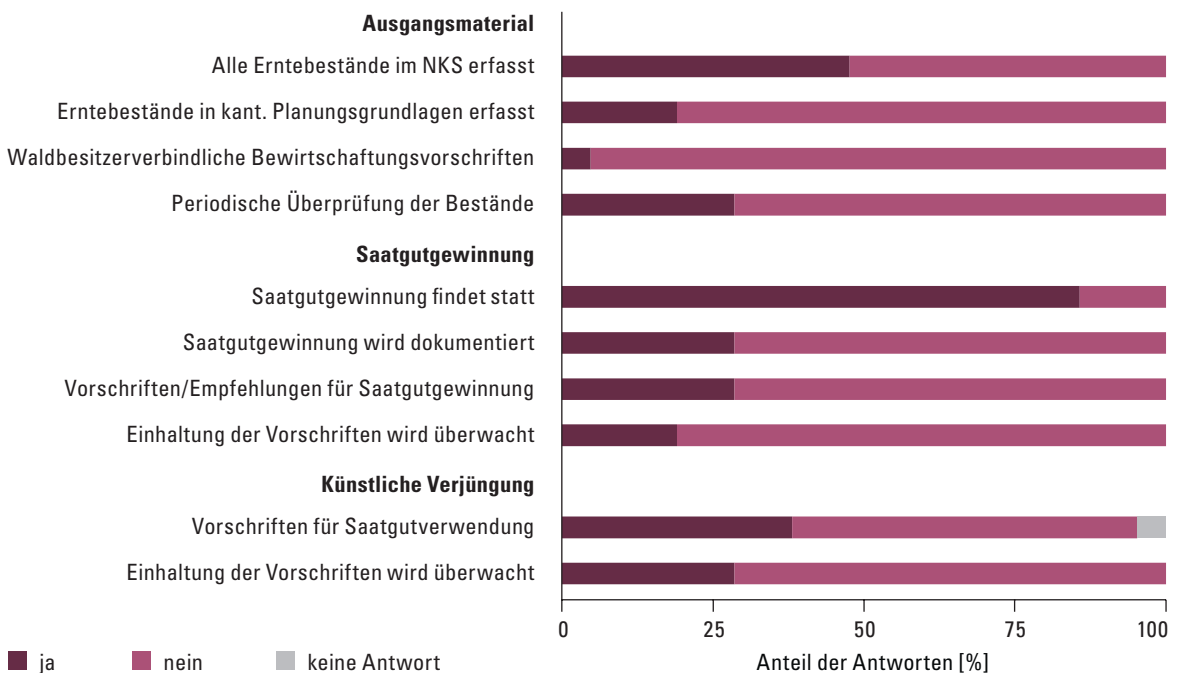


Abbildung 5.2.2. Ergebnisse der schriftlichen Umfrage bei den 25 kantonalen Waldfachstellen zum Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut. Die Umfrage wurde im Jahr 2015 durch die WSL durchgeführt. 21 Fachstellen beteiligten sich an der Umfrage. Die Fragen betrafen Ausgangsmaterial, Saatgutgewinnung, Aufzucht des Vermehrungsguts und dessen Verwendung für die Kunstverjüngung.

Management genetischer Ressourcen

chem Vermehrungsgut wird heute massgeblich von vier öffentlichen Forstpflanzgärten und sechs privaten Forstbaumschulen gedeckt (HIRT 2013).

Gemäss der Bundesverordnung darf das gewonnene Vermehrungsgut nur dann verwendet werden, wenn die zuständige kantonale Forstbehörde es als standortgerecht anerkennt (Verordnung über das forstliche Vermehrungsgut 1994; Art. 4). Die Resultate der Umfrage zeigen, dass acht Kantone diesbezüglich Vorschriften oder Empfehlungen kennen, in sechs Kantonen wird deren Einhaltung überwacht. Bei diesen Kantonen wird bei der Auswahl der zu verwendenden Herkünfte die Höhenlage und die Klimaregion berücksichtigt, wobei lokale Herkünfte oft bevorzugt werden. In sieben Kantonen wird die räumliche und mengenmässige Verwendung von forstlichem Vermehrungsgut dokumentiert.

Samenplantagen und Klonsammlungen dienen in der Schweiz der Erhaltung seltener und stark gefährdeter Baumarten und wurden als Ergänzung zu den Samenerntebeständen eingerichtet. Heute

werden in der Schweiz 15 Samenplantagen/Klonsammlungen für insgesamt 13 Baumarten betrieben (Tab. 5.2.1; RUDOW *et al.* 2013). Diese Baumarten sind durch 35 bis 98 Genotypen repräsentiert, die mit Ausnahme des Nussbaums (*Juglans regia*) alle aus der Schweiz, vor allem der Nord- und Nordwestschweiz, stammen.

Generhaltungsgebiete – nur wenige eingerichtete BGI-Wälder

Obwohl in der Schweiz die Ausweisung von Generhaltungsgebieten bereits vor über 25 Jahren eingeleitet wurde, existieren erst fünf BGI-Wälder. In ihnen werden Populationen der Fichte (*Picea abies*), Weisstanne (*Abies alba*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*) erhalten. Für drei der Wälder wurden zwischen Bund, zuständigen Kantonen und Waldeigentümern langjährige Verträge abgeschlossen; diese Wälder wurden in die EUFGIS-Datenbank aufgenommen (Tab. 5.2.2). Die Waldei-

Tabelle 5.2.1. *Ex-situ*-Erhaltung forstgenetischer Ressourcen in der Schweiz¹. Datenquelle: RUDOW *et al.* (2013). nb = nicht bekannt.

Baumart	Anzahl			Organisation	Lage
	Herkünfte	Genotypen	Klone		
<i>Acer platanoides</i>	27	70	1–2	BE	Wohlen, BE
<i>Acer pseudoplatanus</i>	29	78	1–2	BE	Seedorf, BE
<i>Alnus glutinosa</i>	23	63	1–2	BE	Wohlen, BE
<i>Juglans regia</i>	nb	55	1–2	BE	Gampelen, BE
<i>Malus sylvestris</i>	11	78	1–2	BE	Bargen, BE
<i>Populus nigra</i>	nb	47	1–2	BE	Seedorf, BE
<i>Prunus avium</i>	32	67	1–2	BE	Wohlen, BE
<i>Prunus avium</i>	nb	ca. 35	1	AG, WSL	Möhlly, AG
<i>Prunus avium</i>	nb	ca. 35	1	AG, WSL	Wölflinswil, AG
<i>Pyrus pyraeaster</i>	12	80	1–2	BE	Bargen, BE
<i>Sorbus domestica</i>	80	98	1–2	BE	Biel, BE
<i>Sorbus torminalis</i>	nb	ca. 45	1	BS und BL, WSL	Aesch, BL
<i>Tilia cordata</i>	23	72	1–2	BE	Seedorf, BE
<i>Tilia platyphyllos</i>	23	57	1–2	BE	Wohlen, BE
<i>Ulmus laevis</i>	9	76	1–2	BE	Seedorf, BE

¹ Angaben zu Samenplantagen/Klonsammlungen: Anzahl der Herkünfte und totale Anzahl von Genotypen pro Art sowie Anzahl Klone pro Genotyp.

Tabelle 5.2.2. Im EUFGIS aufgenommene Generhaltungsgebiete der Schweiz. Datenquelle: EUFGIS (portal.eufgis.org).

Lokalname, Gemeinde, Kanton	Zielart	Fläche [ha]	Vertragsdauer
Galm, Staatswald, FR	<i>Quercus petraea</i>	202	1993–2092
Risoud, Le Chenit, VD	<i>Abies alba</i> , <i>Picea abies</i>	512	1999–2048
Scatlé, Brigels, GR	<i>Picea abies</i>	200	2001–2050

gentümer sind verpflichtet, eine regelmässige Verjüngung der Zielart sicherzustellen und deren Flächenanteil zu erhalten oder zu erhöhen. Bei künstlicher Verjüngung muss Vermehrungsgut aus dem lokalen Bestand verwendet werden. Der kantonale Forstdienst ist für die Versorgung mit Vermehrungsgut zuständig und überprüft zusammen mit dem Bund die Generhaltungsmassnahmen (BONFILS und BOLLIGER 2003). Die durch diese Auflagen entstehenden Kosten werden durch Finanzhilfen des Bundes und der Kantone entschädigt.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) beauftragte 2013 die Eidg. Technische Hochschule Zürich (ETH), zusammen mit den Kantonen weitere Waldgebiete zur Erhaltung und Förderung genetischer Ressourcen zu identifizieren. Bis 2030 sollen für Fichte und Tanne zusätzliche Generhaltungsgebiete und für Buche (*Fagus sylvatica*), Arve (*Pinus cembra*), Schwarzpappel (*Populus nigra*), Elsbeere (*Sorbus torminalis*) und Eibe (*Taxus baccata*) neue Gebiete vertraglich gesichert werden (8–10 für Buche, Fichte und Tanne und 4–8 für die übrigen Baumarten; IMESCH *et al.* 2015; RUDOW 2016). Neben Populationen der drei häufigsten Baumarten sollen mit Elsbeere und Schwarzpappel zwei seltene und stark gefährdete Baumarten erhalten werden. Für die Arve hat die Schweiz eine spezielle Verantwortung, da diese Art ihren Verbreitungsschwerpunkt in der Schweiz hat. Bei der Eibe ist ihr relativ grosses Vorkommen entlang des Alpennordfusses von besonderer Bedeutung. Die Kriterien zur Auswahl geeigneter Generhaltungsgebiete sind ähnlich wie diejenigen der BGI-Wälder. Bei der Abklärung, ob ein Waldreservat als Generhaltungsgebiet geeignet ist, werden neu zusätzlich die Zugehörigkeit zu Kern- oder Randpo-

pulationen, die Umweltheterogenität und mögliche Zielkonflikte mitberücksichtigt (RUDOW 2016). In einem nächsten Schritt (2016–2019) werden für sieben weitere Baumarten Waldreservate ausgewählt, welche die Funktion von Generhaltungsgebieten übernehmen können – dies für Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Lärche (*Larix decidua*), Traubeneiche, Flaumeiche (*Q. pubescens*), Stieleiche (*Q. robur*) und Waldföhre (*Pinus sylvestris*).

Einschätzung der heutigen Praxis

Naturverjüngung schafft günstige Bedingungen für Anpassungsprozesse

Der hohe Naturverjüngungsanteil und die kleinflächigen und zeitlich gestaffelten Verjüngungsaktivitäten schaffen grundsätzlich günstige Bedingungen für die Erhaltung der genetischen Anpassungsfähigkeit von Waldbeständen. Populationsgrössen bleiben weitgehend erhalten, und es wird eine kontinuierliche Verjüngung ermöglicht, sodass natürliche Anpassungsprozesse stetig wirken können. Daraus folgt aber auch, dass eine zurückhaltende Verjüngungstätigkeit oder gar eine ausbleibende Bewirtschaftung aus genetischer Sicht eher nachteilig sind. Simulationsstudien zur genetischen Struktur von Buchenwäldern weisen darauf hin, dass Anpassungsprozesse in Wäldern mit forstlichen Eingriffen schneller ablaufen als in Wäldern ohne Eingriffe. In letzteren bleibt hingegen die genetische Vielfalt zu einem grösseren Ausmass erhalten, da sich mehr Mutterbäume an der Reproduktion beteiligen (KRAMER *et al.* 2008).

Unabhängig von diesen theoretischen Überlegungen ist klar, dass Anpassungsprozesse nur dann effektiv sein können, wenn die Verjüngung stammzahlreich und genetisch vielfältig ist.

Abschätzungen mit Modellen zeigen, dass in den Wäldern der Schweiz (BRÄNDLI und CIOLDI 2015) und insbesondere in Gebirgswäldern (DUC und BRANG 2003) zu wenig Verjüngung vorhanden ist. Ein Grund dafür ist eine zurückhaltende Bewirtschaftung, welche den Holzzuwachs nicht abschöpft. In 19 Prozent aller Wälder liegt der letzte waldbauliche Eingriff mindestens 50 Jahre, in weiteren 11,5 Prozent 31 bis 50 Jahre zurück (ABEGG *et al.* 2014). Viele dieser Wälder liegen in den Alpen und auf der Alpensüdseite. Aus genetischer Sicht wird in diesen Gebieten der Effekt der zurückhaltenden Durchforstungs- und Verjüngungstätigkeit durch die starke Zunahme der Waldflächen gemildert, auf welchen sich junge Bäume etablieren (GINZLER *et al.* 2011). Ein zusätzlicher wichtiger Grund für spärliche Verjüngung ist ein starker Schalenwildeinfluss (KUPFERSCHMID *et al.* 2015), der sich – auch aus genetischer Sicht – besonders nachteilig auf wenig häufige und vom Wildverbiss stark beeinflusste Baumarten wie die Eibe oder die Eichenarten auswirkt.

Ein hoher Naturverjüngungsanteil ist vorteilhaft, hat aber zur Folge, dass sich auch schlecht angepasste Waldbestände verjüngen. Schlechte Anpassung äussert sich zum Beispiel durch gehäuftes Auftreten von Schneebruch und Frostschäden. Solche Ausprägungen dürften in vielen Fällen auf die Verwendung von fremdem Saatgut zurückzuführen sein. Historische Dokumente zeigen, dass Aufforstungen im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts oft mit Pflanzen aus Saatgut von Deutschland und Frankreich durchgeführt wurden (BURKART 1939; MÜLLER 1990). Grundsätzlich unterliegen auch solche Bestände natürlicher Selektion. Kritisch sind gepflanzte Bestände, die zwar ein gutes Wachstum zeigen, aber bei extremen Schnee- oder Frostereignissen Schäden erleiden. Im Schutzwald von Hospental (Kt. Uri) zum Beispiel, in dem Fichten aus Saatgut aus Deutschland

gepflanzt wurden, zeigen die Bäume ein kräftiges Wachstum, es wurden aber wiederholt Gipfelbrüche beobachtet (A. Zingg, WSL, pers. Mitteilung; Einträge aus dem Ertragskundearchiv der WSL). Da Pollen und Samen über grosse Distanzen transportiert werden (KREMER *et al.* 2012; HOLDEREGGER *et al.* 2015), können Gene schlecht angepasster Individuen über Genfluss in autochthone Waldbestände eingebracht werden und sich mit lokalen Genen mischen (vgl. UNGER *et al.* 2014). Die Folgen solcher Genvermischungen sind schwer abschätzbar. Schlecht angepasste Waldbestände und ihre Nachbarbestände bedürfen deshalb besonderer Aufmerksamkeit.

Defizite beim Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut

Die vermehrte Anwendung natürlicher Verjüngung hat zu einem erheblichen Rückgang der Forstbaumschulen und Forstgärten geführt. Während in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts fast jeder Forstbetrieb einen Forstgarten unterhielt, erzeugen heute nur noch wenige Forstbaumschulen Forstpflanzen. Die eher zentrale Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut birgt die Gefahr regionaler Versorgungsprobleme bestimmter Herkünfte. In unserer Umfrage meldeten fünf Kantone Probleme bei der Beschaffung geeigneter Herkünfte von Neben- und seltenen Baumarten. Eine ähnliche Situation wurde bereits 1993 aufgrund einer Umfrage der Kantonsoberrösterkonferenz festgestellt (ROTACH 1994).

Ein weiterer Grund für Versorgungsprobleme liegt in der geringen Anzahl ausgewiesener Samenerntebestände für bestimmte Baumarten. Für die Elsbeere zum Beispiel sind im NKS nur vier «ausgewählte» Samenerntebestände aufgelistet, für den Speierling (*Sorbus domestica*) überhaupt keiner. Für die Trauben- und Stieleiche (*Quercus robur*) kann mit 19 und 29 «ausgewählten» Beständen auf nur relativ wenige Samenerntebestände zurückgegriffen werden. Auch bei Buche, Fichte

und Tanne gibt es zum Teil grosse geografische Lücken (Abb. 5.2.1). Neue Samenerntebestände werden heute nur noch im Bedarfsfall ausgewiesen (E. Fürst, BAFU, pers. Mitteilung).

Da Samenerntebestände in nur wenigen Kantonen in einer Planungsgrundlage festgehalten sind, wird ein grosser Teil der Samenerntebestände nur selten überprüft und auch nicht in Rücksicht auf diese Funktion bewirtschaftet. Angesichts des Klimawandels ist aber eine die Verjüngung fördernde Bewirtschaftung gerade bei Samenerntebeständen wichtig, nicht nur zur Erhaltung der Zielarten, sondern auch, um stets auf gut angepasstes Saatgut zurückgreifen zu können.

Nachteilig dürfte sich auch das Fehlen von Vorschriften für die Saatgutgewinnung auswirken. Die Art und Weise der Saatgutgewinnung hat einen erheblichen Einfluss auf die genetische Vielfalt im Saatgut und damit im Folgebestand. Da Waldbaumpopulationen in der Regel individuenreich sind, stellt Saatgut immer nur eine kleine Stichprobe dar. Es ist klar, dass die Anzahl der Genotypen im Saatgut mit zunehmender Anzahl der beernteten Bäume ansteigt. Aber auch die räumliche Anordnung der beernteten Bäume kann die genetische Vielfalt des Saatgutes mitbestimmen, vor allem dann, wenn innerhalb eines Bestandes Familienstrukturen vorliegen. Simulationsstudien mit Isoenzymdaten eines Lärchenbestandes in Österreich zeigten, dass bei Beerntungen von fünf Bäumen nur ungefähr 50 Prozent der möglichen Genotypen im Saatgut vertreten sind. Bei 20 beernteten Bäumen stieg deren Anteil auf ungefähr 80 Prozent an. Wurde eine gruppenweise Beerntung simuliert, reduzierte sich bei geringen Anzahlen von Samenbäumen der Prozentsatz auf die Hälfte (GEBUREK und MENGL 1998). Dies lässt sich damit erklären, dass bei einem gruppenweisen Vorgehen nahe verwandte Mutterbäume beerntet werden und weniger genetisch unterschiedliche Väter im Saatgut repräsentiert sind. Damit im Saatgut Allele möglichst vieler Väter vertreten sind, ist es auch wichtig, Samenbäume bei Vollmast zu beernten und gewonnenes Saatgut falls möglich von meh-

rerer Vollmasten zu mischen, da sich die Paarungsverhältnisse von Jahr zu Jahr ändern.

Nachholbedarf bei der Ausweisung von Generhaltungsgebieten

Mit den drei in der EUFGIS-Datenbank aufgenommenen BGI-Wäldern ist der Schweizer Wald im länderübergreifenden Netz von Generhaltungseinheiten im Vergleich zu den benachbarten Ländern schlecht repräsentiert. In Österreich zum Beispiel, das eine ähnliche Topografie wie die Schweiz aufweist, sind für 24 Waldgesellschaften insgesamt 312 Generhaltungsgebiete ausgewiesen. Sie bedecken 8900 ha, was 0,2 Prozent der Waldfläche entspricht (KONRAD und GEBUREK 2015).

Aufgrund der standörtlichen Heterogenität der Schweiz ist zu vermuten, dass sich Baumpopulationen an ihre lokalen Umwelten angepasst und genetisch differenziert haben. Neue Herkunftsversuche und molekulargenetische Analysen bestätigen dies und weisen auf kleinräumige Variationsmuster hin (Kap. 3.2, GUGERLI *et al.* 2016). Bei Buche, Fichte und Tanne wurden zum Beispiel in einem Gartenversuch mit Sämlingen von Herkünften aus der ganzen Schweiz sowohl beim Wachstum als auch bei phänologischen Merkmalen Herkunftsunterschiede beobachtet (FRANK *et al.* in Vorb. a, b). Bei Buche und Fichte waren die Herkunftsunterschiede grösser und die Merkmalsausprägungen korrelierten stärker mit Umweltgradienten als bei der Tanne. In einem Experiment mit Buchen aus dem Wallis und dem oberen Rheintal wurden zudem Hinweise gefunden, dass Herkünfte von trockenen Standorten auf experimentell herbeigeführte Trockenheit weniger sensitiv reagieren und sich vom Trockenstress schneller erholen als Herkünfte von feuchteren Standorten (ARENDE *et al.* 2016b; siehe auch Kap. 3.1, ARENDE *et al.* 2016a).

Im Licht dieser Resultate gehen die Bemühungen um das Ausweisen von Generhaltungsgebieten in die richtige Richtung; ob die Anzahl geplanter Gebiete (4–10 pro Baumart) genügt, um die vorhandene genetische Variation zu sichern, ist

aber fraglich. In Österreich sind Buche, Fichte und Tanne Zielarten in 78, 164 bzw. 75 Generhaltungsgebieten. Vorteilhaft sind die für BGI-Wälder vorgeschriebenen Managementvorschriften und die von Bund und Kantonen geleisteten Entschädigungen (BONFILS und BOLLIGER 2003). Ein solches Modell kann in den geplanten Generhaltungsgebieten adaptiert werden, indem eine die genetische Vielfalt fördernde Bewirtschaftung vorgeschrieben wird.

Handlungsbedarf und Handlungsoptionen

Handlungsfelder

Ein sachgerechter Umgang mit forstgenetischen Ressourcen kann zur Adaptation an den Klimawandel beitragen (Kap. 5.1, BRANG *et al.* 2016; BRANG *et al.* 2014), weil damit die evolutive Anpassung der Waldbäume an die neuen Umweltbedingungen gefördert wird. Bezüglich Naturverjüngungsanteil ist der Handlungsbedarf klein; Anpassungsbedarf sehen wir in den Handlungsfeldern Kunstverjüngung und Saatguttransfer, bei den Generhaltungsgebieten und bei der institutionellen Sicherung des Know-hows rund um forstgenetische Ressourcen, wie im Folgenden ausgeführt wird.

Vorteile der Naturverjüngung durch differenziertes Vorgehen besser nutzen

Grundsätzlich ist der grosse Naturverjüngungsanteil in den Schweizer Wäldern aus genetischer Sicht vorteilhaft. Diesbezüglich besteht kein Handlungsbedarf. Besonders günstig sind Verjüngungsverfahren, bei welchen sich viele Mutterbäume, die zudem von Pollen vieler Väter befruchtet werden, natürlich versamen. Dies wird durch lange Verjüngungszeiträume gefördert (ROTACH 2005). Auch ein Mosaik von Verjüngungsflächen und noch lange stehenden Altbäumen, die ihre Samen mehrmals verbreiten können, bis auch sie geschlagen werden, leisten dazu Beiträge. Der Vor-

teil einer solchen kleinflächigen und über lange Zeit gestaffelten Verjüngung liegt darin, dass die Selektion unter den Jungpflanzen über mehrere Jahrzehnte und damit bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen wirkt. Ungünstig ist hingegen, wenn die Samen nur von wenigen Mutterbäumen oder gar nur von einem Einzelbaum stammen.

Aus genetischer Sicht günstig sind auch stammzahlreiche Jungwälder, in denen eine grosse Auswahlbasis für die natürliche Selektion der fittesten Individuen besteht. Diese Selektion findet in Naturverjüngungen vor allem in der Phase starker Konkurrenz (Jungwuchs bis schwaches Stangenholz) statt. Die Vorteile stammzahlreicher Jungwälder gelten allerdings nur für häufige, konkurrenzstarke Baumarten; seltenere und konkurrenzschwache Arten gehen in solchen dichten Jungwäldern leicht verloren. Die grosse Selektionsmöglichkeit wird daher mit einer geringeren Baumartenvielfalt erkaufte. Dieser Trade-off besteht auch bei langen Verjüngungszeiträumen, welche Lichtbaumarten benachteiligen. Eine Möglichkeit zur Realisierung von genetisch vielfältigen und gleichzeitig artenreichen Wäldern ist, auf einem Teil der Waldfläche mit langen Verjüngungszeiträumen und stammzahlreichen Naturverjüngungen zu arbeiten, auf einem anderen Teil aber mit kurzen Verjüngungszeiträumen und eher geringen Bestandesdichten. Unterschiedlich behandelte Flächen sollten dabei räumlich verzahnt sein.

Überprüfung der Gewinnung und Verwendung von forstlichem Vermehrungsgut

In einem Nationalen Kataster verzeichnete Samen-erntebestände sind als Instrument zum Umgang mit Saatgut unbestritten. Die Auswahl dieser Bestände ist aber häufiger als bisher zu überprüfen. Die Bestände sollten in Planungsgrundlagen (Wirtschafts-/Betriebsplan, kantonale Waldentwicklungsplanung) festgehalten werden, um die Erhaltung der Zielart zu sichern. Es ist auch zu

prüfen, ob Samenerntebestände bezeichnet werden sollen, bei denen Hinweise auf besondere Klimafitness bestehen, zum Beispiel gutes Wachstum auf einem trockenen Standort.

Zu überprüfen ist ebenso, ob die Anzahl Bestände pro Baumart und deren geografische Verteilung im Artverbreitungsgebiet genügen, die Standortgradienten abgedeckt sind und die heutigen Kategorien («quellengesichert», «ausgewählt») zu treffen. Es braucht dabei eine gute Abstimmung zwischen den Kantonen, denn weder Pollen noch Samen machen vor Kantonsgrenzen halt – und auch nicht vor Landesgrenzen.

Bei der Saatguternte ist sicherzustellen, dass regelmässig eine grosse Anzahl von Erntebeständen genutzt wird und dass die Anzahl geernteter Bäume gross ist. In Österreich sind zum Beispiel für «ausgewählte» Herkünfte Mindestanzahlen von Erntebäumen vorgeschrieben: bei den Haupt- und Nebenbaumarten mindestens 20 Bäume (bei erhöhter genetischer Vielfalt 50 Bäume), bei seltenen Baumarten mindestens 10 Bäume (bei erhöhter genetischer Vielfalt 25 Bäume; MÜLLER und STROHSCHNEIDER 2004). Da bei der Saatgutgewinnung die Forstbaumschulen eine wichtige Rolle einnehmen, ist auch eine Selbstregulierung in Betracht zu ziehen, wobei die Regeln (Minimalanforderungen) zusammen mit Bund, Kantonen sowie den zuständigen Forschungsinstituten festzulegen sind.

Die Verwendung von forstlichem Vermehrungsgut sollte expliziter geregelt werden. Bisher ist die Verwendung nur in dem Sinn geregelt, dass «die zuständige kantonale Forstbehörde es (das Vermehrungsgut) als standortgerecht anerkennen muss» (Verordnung über das forstliche Vermehrungsgut 1994; Art. 4 Abs. 1); die dabei zu befolgenden Grundsätze sind nicht geregelt. Reglementiert ist hingegen das Mischen von Saatgut zwischen Forstregionen und Meereshöhen (Art. 10). Ob diese Regeln auch als Kriterien für die Standortgerechtigkeit dienen können, ist unklar. In Zukunft sollte verhindert werden, dass forstliches Vermehrungsgut an Pflanzorten verwendet wird, die tiefer als der Herkunftsort liegen, während der Transfer

in höhere Lagen in einem zu bestimmenden Ausmass zugelassen werden sollte. Auch der Transfer zwischen Forstregionen ist, soweit dies der Anpassung der Wälder an den Klimawandel dient («assisted gene flow»), eine Handlungsoption. Die Entwicklung neuer, fachlich fundierter Lösungen sollte bald angegangen werden und auch den möglichen Transfer von Vermehrungsgut über Landesgrenzen hinweg berücksichtigen. Nötig scheint auch die Überprüfung der strikten Regelungen zum Mischen von Saatgut, welche die genetische Vielfalt einschränken dürften.

Anzustreben ist, bei den häufigen Baumarten die Herkünfte nicht nur aufgrund eines Vergleichs des Klimas am Herkunfts- und am Pflanzort auszuwählen, sondern auch auf der Basis von Merkmalen der Jungpflanzen, welche als adaptiv nachgewiesen sind (Kap. 3.2, GUGERLI *et al.* 2016). Im Klimawandel besonders relevant sind Merkmale, welche im Zusammenhang mit Trockenheitstoleranz stehen, wie sie bei der Buche identifiziert wurden (AREND *et al.* 2016b). Aber auch phänologische Merkmale wie die Zeitpunkte des Austriebs und Wachstumsstopps sind zu beachten, da diese das Risiko von Frostschäden mitbestimmen. Zu überprüfen wäre dies bei bezüglich Klimawandel besonders interessanten Herkünften, zum Beispiel bei Trockenbuchen und -tannen aus dem Wallis, dem oberen Rheintal oder aus deren südlichen Verbreitungsgebieten.

Mehr Generhaltungsgebiete für Waldbäume

Die Stossrichtung der Biodiversitätsstrategie, die genetische Vielfalt von Waldbäumen durch Generhaltungsgebiete mit spezifischen Schutzmassnahmen zu sichern (IMESCH *et al.* 2015, Box 5.2.1), ist grundsätzlich richtig. Auch die bestehende Ergänzung mit Samenplantagen bei seltenen Baumarten ist sinnvoll. Ob diese Massnahmen aber langfristig in einem sich laufend ändernden Klima reichen? Die vorgesehenen Generhaltungsgebiete dürften die Standortgradienten nur unzureichend

repräsentieren und damit die genetische Vielfalt nur teilweise erfassen. Um aus genetischer Sicht wirksam zu sein, müssten solche Gebiete einen ansehnlichen Anteil der Waldfläche einnehmen, zumindest einige Prozente. Zudem ist geplant, dass solche Gebiete nur für relativ wenige Baumarten eingerichtet werden; was ist mit den anderen Arten? Die Kombination von Generhaltung mit anderen Schutzziele ist sinnvoll, weil so Synergien genutzt werden können und weil in Schutzgebieten stärker Einfluss auf das Management genommen werden kann als im übrigen Wald. Allerdings hat der Fokus auf Waldreservate als Generhaltungsgebiete gewisse Nachteile. In Naturwaldreservaten – in ihnen sind jegliche Eingriffe verboten – sind zwar die Baumpopulationen oft autochthon, aber der Holzvorrat nimmt verbreitet zu (HEIRI *et al.* 2011), was die Verjüngung behindert. Flächig ausgedehnte, verjüngungsfördernde ökologische Störungen sind noch selten. Daher besteht gerade in Naturwaldreservaten über längere Zeit wenig Potenzial für eine dynamische Erhaltung der genetischen Vielfalt. In Sonderwaldreservaten – in ihnen wird gezielt eingegriffen – erlauben die zum Teil starken Eingriffe eine stammzahlreiche Verjüngung. Für die Generhaltung geeignet sind vor allem diejenigen Sonderwaldreservate, in denen Habitatansprüche für bestimmte Baumarten (z. B. Eibe, Eichenarten, Schwarzpappel, Waldföhre) im Vordergrund stehen. Viele der über 1400 Sonderwaldreservate sind aber sehr klein (76 % davon <5 ha). Zudem sind sie regional ungleichmässig verteilt (BAFU 2012).

Bei der Einrichtung von Generhaltungsgebieten sind daher Gesichtspunkte wie deren Anzahl, Grösse, Standortvielfalt und Störungsphasen zu berücksichtigen. Sonderwaldreservate sind gegenüber Naturwaldreservaten vorzuziehen. Um alle Klimagebiete und Höhenstufen abzudecken zu können, braucht es auch Generhaltungsgebiete ausserhalb von Reservaten. Die Autochthonie ist so weit möglich zu überprüfen, entweder durch Recherchen in forsthistorischen Quellen oder durch genetische Analysen. Dabei ist zu beachten, dass

selbst genetische Analysen nur indirekte Hinweise auf Autochthonie liefern (MÁTYÁS und SPERISEN 2002). Bei Buche, Eiche, Fichte und Tanne sollten zudem bei der Auswahl der Gebiete Erkenntnisse zu adaptiven Merkmalen und zur molekularen genetischen Vielfalt mit einfließen (vgl. Kap. 3.2, GUGERLI *et al.* 2016). Die Zusammenarbeit im Rahmen von EUFORGEN/EUFGIS ist zu intensivieren und die Ausweisung neuer Generhaltungsgebiete mit den Nachbarländern abzustimmen.

Das Know-how über forstgenetische Ressourcen ist institutionell besser zu verankern

Da im Schweizer Wald immer weniger gepflanzt wird, schenken die Forstdienste dem forstlichen Vermehrungsgut zunehmend geringere Beachtung. Beim Bund und in den meisten kantonalen Waldämtern ist heute das Dossier «forstliches Vermehrungsgut» mit sehr wenigen Stellenprozenten dotiert. Es ist fraglich, ob die gesetzlichen Regelungen adäquat angewendet werden und ob deren Einhaltung genügend geprüft wird. Werden zum Beispiel bei der Saatgutbeschaffung möglichst viele Mutterbäume beerntet? Genügt die Anzahl der Samenerntebestände bei seltenen Baumarten? Es ist unrealistisch zu erwarten, dass alle Akteure solchen Fragen gebührend Beachtung schenken; hier sind die kantonalen Forstdienste, aber auch der Bund als übergeordnete Behörde gefordert.

Um dem forstlichen Vermehrungsgut wieder das nötige Gewicht zu geben, sind die Zuständigkeiten in Praxis und Forschung zu überprüfen und dabei die Rollen von Bund, Kantonen und Forstbauschulen zu klären. In der Forschung an WSL und ETH ist das Thema heute mit geringen Ressourcen ausgestattet und dessen Zukunft ungesichert. Hier braucht es ausreichende Kapazitäten, um offene Fragen aus der Praxis aufzugreifen. Wichtig wäre, dass sich alle beteiligten Fachleute regelmässig über Fragen des forstlichen Vermehrungsgutes austauschen.

Um aus Erfolgen und Misserfolgen mit bestimmten Herkünften lernen zu können, ist deren

Verwendung im Wald nachvollziehbar zu dokumentieren. Einzelne Kantone gewährleisten dies schon heute, andere haben Nachholbedarf. Ihren Wert entfaltet eine solche Dokumentation erst für spätere Generationen, weshalb sie in der Gegenwart oft gering geschätzt und vernachlässigt wird. Dieser kurzfristigen Sicht sollten die kantonalen Behörden durch Beratung, Weiterbildungsangebote, das Bereitstellen von Dokumentationshilfen (z. B. einer kantonalen Datenbank) und gegebenenfalls durch finanzielle Anreize entgegenwirken.

In Generhaltungsgebieten sollten die Kantone zudem dafür sorgen, dass bei der Bewirtschaftung die Erhaltung der genetischen Vielfalt – zum Beispiel durch fachgerechte Verjüngungstechnik – besonderes Gewicht hat. Dies lässt sich über Weiterbildung, Beratung, vertragliche Regelungen, Anreize und so weit nötig Vorschriften erreichen, deren Einhaltung dann aber zu kontrollieren ist.

Damit die zuständigen Institutionen den fachgerechten Umgang mit genetischen Ressourcen gewährleisten können, brauchen sie kompetente, mit Ressourcen ausgestattete Fachleute. Die Entscheide über die genetische Konstitution unserer Waldbäume haben eine sehr grosse und langfristige Tragweite. Anstrengungen, diese Entscheide fachgerecht zu fällen, dürften sich langfristig auszahlen und sind ein wichtiges Element der Adaptation an den Klimawandel.

Danksagung

Wir danken den kantonalen Waldfachstellen für die Teilnahme an der schriftlichen Umfrage zum Umgang mit forstlichem Vermehrungsgut. P. Bonfils (Naturavali) danken wir für die Mitarbeit bei der Ausarbeitung des Fragenkataloges und dessen französische Übersetzung, A. Burkart (WSL) und E. Fürst (BAFU) für wertvolle Diskussionen zum Thema forstliches Vermehrungsgut, J. Stillhard (WSL) für das Herstellen der geografischen Karten der NKS-Bestände und A. Zingg (WSL) für Angaben zu historischen Dokumenten. A. Rudow (ETHZ) und vier anonyme Begutachter haben wesentlich zur Verbesserung des Textes beigetragen.

Literatur

- ABEGG, M.; BRÄNDLI, U.-B.; CIOLDI, F.; FISCHER, C.; HEROLD-BONARDI, A.; HUBER M.; KELLER, M.; MEILE, R.; RÖSLER, E.; SPEICH, S.; TRAUB, B.; VIDONDO, B., 2014. Viertes Schweizerisches Landesforstinventar – Ergebnistabellen und Karten im Internet zum LFI 2009–2013 (LFI4b). Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. www.lfi.ch, Schweizerisches Landesforstinventar, #150277/136658 [publiziert am 29.10.2014].
- AITKEN, S.N.; BEMMELS, J.B., 2016. Time to get moving: assisted gene flow of forest trees. *Evol. Appl.* 9, 271–290.
- AITKEN, S.N.; YEAMAN, S.; HOLLIDAY, J.A.; WANG, T.; CURTIS-MCLANE, S., 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evol. Appl.* 1, 95–111.
- ALBERTO, F.J.; AITKEN, S.N.; ALÍA, R.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C.; HÄNNINEN, H.; KREMER, A.; LEFÈVRE, F.; LENORMAND, T.; YEAMAN, S.; WHETTEN, R.; SAVOLAINEN, O., 2013. Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations. *Glob. Chang. Biol.* 19, 1645–1661.
- AREND, M.; BRAUN, S.; BUTTLER, A.; SIEGWOLF, R.T.W.; SIGNARBI-EUX, C.; KÖRNER, C., 2016 a. Ökophysiologie: Reaktionen von Waldbäumen auf Klimaänderungen. In: PLUESS, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Red.), *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptionsstrategien*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 77–91.
- AREND, M.; SEVER, K.; PFLUG, E.; GESSLER, A.; SCHAUB, M., 2016 b. Seasonal photosynthetic response of European beech to severe summer drought in European beech: Limitation, recovery and post-drought stimulation. *Agr. Forest Met.* 220, 83–89.
- BAFU (Hrsg.), 2012. *Walddeservate in der Schweiz. Bericht über den Stand Ende 2012*. Bundesamt für Umwelt, Bern. 26 S.
- BAFU (Hrsg.), 2013. *Walddpolitik 2020. Visionen, Ziele und Massnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Schweizer Waldes*. Bundesamt für Umwelt, Bern. 66 S.
- BFS; BAFU, 2015. *Schweizerische Forststatistik 2014*. Online: www.pxweb.bfs.admin.ch > Land- und Forstwirtschaft > Pflanzungen in der Schweiz.
- BOLLIGER, M., 1996. *Biodiversität im Schweizer Wald fördern*. BUWAL-Bulletin 96, 48–52.
- BONFILS, P.; BOLLIGER, M. (Red.), 2003. *Wälder von besonderem genetischem Interesse (BGI-Wälder)*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 60 S.
- BRÄNDLI, U.-B.; CIOLDI, F., 2015. Altersaufbau und Bestandsstruktur. In: RIGLING, A.; SCHAFFER, H.P. (eds), *Waldbericht 2015. Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes*. Bundesamt für Umwelt, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 34–37.
- BRÄNDLI, U.-B.; IMESCH, N., 2015. Verjüngung. In: RIGLING, A.; SCHAFFER, H.P. (eds), *Waldbericht 2015. Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes*. Bundesamt für Umwelt, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. 74–75.

- BRÄNDLI, U.-B.; ABEGG, M.; DUC, P.; GINZLER, C., 2010. BIOLOGISCHE VIELFALT. IN: BRÄNDLI, U.-B. (Red.), Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Bundesamt für Umwelt, Bern. 187–228.
- BRANG, P.; SPATHELF, P.; LARSEN, J.B.; BAUHUS, J.; BONČINA, A.; CHAUVIN, C.; DRÖSSLER, L.; GARCÍA-GÜEMES, C.; HEIRI, C.; KERR, G.; LEXER, M.J.; MASON, B.; MOHREN, F.; MÜHLETHALER, U.; NOCENTINI, S.; SVOBODA, M., 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry* 87, 492–503.
- BÜRGER, R.; KRALL, C., 2004. Quantitative-genetic models and changing environments. In: FERRIÈRE, R.; DIECKMANN, U.; COUVET, D. (eds), *Evolutionary Conservation Biology*. International Institute for Applied Systems Analysis, Cambridge University Press, Cambridge. 171–187.
- BÜRGI, M.; SCHULER, A., 2003. Driving forces of forest management – an analysis of regeneration practices in the forests of the Swiss Central Plateau during the 19th and 20th century. *For. Ecol. Manage.* 176, 173–183.
- BURKART, A., 2013. Forstpflanzennachzucht im Versuchsgarten der Forschungsanstalt WSL. *Zür. Wald* 2, 11–15.
- BURKART, W., 1939. Zuwachsleistungen im Escherwald, Gemeinde Morissen in Graubünden. *Schweiz. Z. Forstwes.* 7/8, 239–243.
- DE VRIES, S.M.G.; ALAN, M.; BOZZANO, M.; BURIANEK, V.; COLLIN, E.; COTTRELL, J.; IVANKOVIC, M.; KELLEHER, C.T.; KOSKELA, J.; ROTACH, P.; VIETTO, L.; YRJÄNÄ, L., 2015. Pan-European strategy for genetic conservation of forest trees and establishment of a core network of dynamic conservation units. *European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN)*, Bioversity International, Rome, Italy. 40 pp.
- DUK, P.; BRANG, P., 2003. Die Verjüngungssituation im Gebirgswald des Schweizerischen Alpenraumes. *BFW-Berichte* 130, 31–49.
- DUK, P.; BRÄNDLI, U.-B.; HEROLD BONARDI, A.; RÖSLER, E.; THÜRIG, E.; ULMER, U.; FRUTIG, F.; ROSSET, C.; KAUFMANN, E., 2010. Holzproduktion. In: BRÄNDLI, U.-B. (Red.), Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf; Bundesamt für Umwelt, Bern. 143–184.
- ETTLINGER, P., 1976. Untersuchungen über den Erfolg früherer Fylschaufforstungen. *Beih. Z. Schweiz. Forstver.* 58, 118 S.
- FADY, B.; COTTRELL, J.; ACKZELL, L.; ALÍA, R.; MUYS, B.; PRADA, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C., 2016. Forests and global change: what can genetics contribute to the major forest management and policy challenges of the twenty-first century? *Reg. Environ. Chang.* 16, 927–939.
- FINKELDEY, R.; ZIEHE, M., 2004. Genetic implications of silvicultural regimes. *For. Ecol. Manage.* 197, 231–244.
- FRANK, A.; PLUESS, A.R.; HOWE, G.T.; SPERISEN, C.; HEIRI, C. In Vorb. a. Quantitative genetic differentiation and phenotypic plasticity of European beech in a heterogeneous landscape: indications for past climate adaptation.
- FRANK, A.; SPERISEN, C.; HOWE, G.T.; BRANG, P.; WALTHERT, L.; ST. CLAIR, J.B.; HEIRI, C. In Vorb. b. Distinct geneecological patterns in seedlings of Norway spruce and silver fir from a mountainous landscape.
- GEBUREK, T.; MENGL, M., 1998. Zur Identitätskontrolle von forstlichem Vermehrungsgut und gesetzlich vorgeschriebener Mindestanzahl von Saatgutbäumen am Beispiel der Europäischen Lärche. *Cent.bl. gesamte Forstwes.* 115, 211–228.
- GINZLER, C.; BRÄNDLI, H.-U.; HÄGELI, M., 2011. Waldflächenentwicklung der letzten 120 Jahre in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 162, 337–343.
- Gruppe OKOK «Genreservate», 1988. Ein schweizerisches Konzept für die Erhaltung der Erbsubstanz unserer Baumarten durch Schaffung von Genreservaten. *Schweiz. Z. Forstwes.* 139, 313–322.
- GUGERLI, F.; FRANK, A.; RELLSTAB, C.; PLUESS, A.R.; MOSER, B.; AREND, M.; SPERISEN, C.; WOHLGEMUTH, T.; HEIRI, C., 2016. Genetische Variation und lokale Anpassung bei Waldbaumarten im Zeichen des Klimawandels. In: PLUESS, A.R.; AUGUSTIN, S.; BRANG, P. (Red.), *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 93–113.
- HAMRICK, J.L.; GODT, M.J.W.; SHERMAN-BROYLES, S.L., 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New For.* 6, 95–124.
- HEIRI, C.; BRANG, P.; COMMARMOT, B.; MATTER, J.-F.; BUGMANN, H., 2011. Walddynamik in Schweizer Naturwaldreservaten: Kennzahlen und Trends. In: BRANG, P.; HEIRI, C.; BUGMANN, H. (Red.), *Waldreservate. 50 Jahre natürliche Waldentwicklung in der Schweiz*. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; ETH Zürich, Zürich; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 72–89.
- HIRT, J., 2013. Ein geschichtlicher Rückblick in die Forstpflanzennachzucht der Schweiz. *Zür. Wald* 2, 7–9.
- HOLDEREGGER, R.; BOLLIGER, M.; GUGERLI, F., 2015. Wie weit fliegen Pollenkörner? *Wald Holz* 3, 15: 31–33.
- IMESCH N.; STADLER B.; BOLLIGER M.; SCHNEIDER O., 2015. Biodiversität im Wald: Ziele und Massnahmen. Vollzugshilfe zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt im Schweizer Wald. Bundesamt für Umwelt, Bern. 186 S.
- KONRAD, H.; GEBUREK, T., 2015. Genetische Vielfalt: Warum brauchen wir Generhaltungswälder und -plantagen? *BWF Praxisinformation* 37, 20–23.
- KELLEHER, C.T.; DE VRIES, S.M.G.; BALIUCKAS, V.; BOZZANO, M.; FRÝDL, J.; GOICOECHEA, P.G.; IVANKOVIC, M.; KANDEMIR, G.; KOSKELA, J.; KOZIOL, C.; LIESEBACH, M.; RUDOW, A.; VIETTO, L.; STOYANOV, P.Z., 2015. Approaches to the conservation of forest genetic resources in Europe in the context of climate

- change. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), Bioversity International, Rome, Italy. 46 pp.
- KOSKELA, J.; BUCK, A.; TEISSIER DU CROS, E. (eds), 2007. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. 111 pp.
- KOSKELA, J.; LEFÈVRE, F.; SCHUELER, S.; KRAIGHNER, H.; OLRİK, D.C.; HUBERT, J.; LONGAUER, R.; BOZZANO, M.; YRJÄNÄ, L.; ALIZOTI, P.; ROTACH, P.; VIETTO, L.; BORDÁCS, S.; MYKING, T.; EYSTEINSSON, T.; SOUVANNAVONG, O.; FADY, B.; DE CUYPER, B.; HEINZE, B.; VON WÜHLISCH, G.; DUCOUSOU, A.; DITLEVSEN, B., 2013. Translating conservation genetics into management: Pan-European minimum requirements for dynamic conservation units of forest tree genetic diversity. *Biol. Conserv.* 157, 39–49.
- KRAMER, K.; BUIVELD, J.; FORSTREUTER, M.; GEBUREK, T.; LEONARDI, S.; MENOZZI, P.; POVILLON, F.; SCHELHAAS, M.J.; TEISSIER DU CROS, E.; VENDRAMIN, G.G.; VAN DER WERF, D.C., 2008. Bridging the gap between ecophysiological and genetic knowledge to assess the adaptive potential of European beech. *Ecol. Model.* 216, 333–353.
- KREMER, A.; OPHÉLIE, R.; ROBLEDO-ARNUNCIO, J.J.; GUILLAUME, F.; BOHRER, G.; NATHAN, R.; BRIDLE, J.R.; GOMULKIEWICZ, R.; KLEIN, E.K.; RITLAND, K.; KUPARINEN, A.; GERBER, S.; SCHUELER, S., 2012. Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecol. Lett.* 15, 378–392.
- KUPFERSCHMID, A.D.; HEIRI, C.; HUBER, M.; FEHR, M.; FREI, M.; GMÜR, M.; IMESCH, N.; ZINGGELER, J.; BRANG, P.; CLIVAZ, J.-C.; ODERMATT, O., 2015. Einfluss wildlebender Huftiere auf die Waldverjüngung: ein Überblick für die Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 166, 420–431.
- LEDIG, F.T., 1992. Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos* 63, 87–108.
- LEFÈVRE, F.; KOSKELA, J.; HUBERT, J.; KRAIGHNER, H.; LONGAUER, R.; OLRİK, D.C.; SCHÜLER, S.; BOZZANO, M.; ALIZOTI, P.; BAKYS, R.; BALDWIN, C.; BALLIAN, D.; BLACK-SAMUELSSON, S.; BEDNAROVA, D.; BORDÁCS, S.; COLLIN, E.; DE CUYPER, B.; DE VRIES, S.M.G.; EYSTEINSSON, T.; FRÝDL, J.; HAVERKAMP, M.; IVANKOVIC, M.; KONRAD, H.; KOZIOL, C.; MAATEN, T.; NOTIVOL PAINO, E.; ÖZTÜRK, H.; PANDEVA, I.D.; PARNUTA, G.; PILIPOVIČ, A.; POSTOLACHE, D.; RYAN, C.; STEFFENREM, A.; VARELA, M.C.; VESSELLA, F.; VOLOSANCHUK, R.T.; WESTERGREN, M.; WOLTER, F.; YRJÄNÄ, L.; ZARINA, I., 2013. Dynamic conservation of forest genetic resources in 33 European countries. *Conserv. Biol.* 27, 373–384.
- LEFÈVRE, F.; BOIVIN, T.; BONTEMPS, A.; COURBET, F.; DAVI, H.; DURAND-GILLMANN, M.; FADY, B.; GAUZERE, J.; GIDOIN, C.; KARAM, M.-J.; LALAGÜE, H.; ODDOU-MURATORIO, S.; PICHOT, C., 2014. Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Ann. For. Sci.* 71, 723–739.
- LEIBUNDGUT, H., 1946. Femelschlag und Plenterung. Beitrag zur Festlegung waldbaulicher Begriffe. *Schweiz. Z. Forstwes.* 97, 306–317.
- MÁTYÁS, G.; SPERISEN, C., 2002. Autochthon oder allochthon? Ein molekulargenetischer Ansatz am Beispiel der Eichen (*Quercus* spp.) in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153, 91–96.
- MÜLLER, U., 1990. Schutzwaldaufforstungen des Staates Freiburg im Senseoberland. *Kantonsforstamt Freiburg*, 258 S.
- MÜLLER, F.; STROHSCHNEIDER, I. (Red.), 2004. Forstliches Vermehrungsgut. Kommentar und Anwendungshilfe. *BFW Bundesblätter* 1, 31 S.
- PETIT, R.J.; HAMPE, A., 2006. Some evolutionary consequences of being a tree. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37, 187–214.
- RATNAM, W.; RAJORA, O.P.; FINKELDEY, R.; ARAVANOPPOULOS, F.; BOUVET, J.-M.; VAILLANCOURT, R.E.; KANASHIRO, M.; FADY, B.; TOMITA, M.; VINSON, C., 2014. Genetic effects of forest management practices: Global synthesis and perspectives. *For. Ecol. Manage.* 333, 52–65.
- ROTACH, P., 1994. Genetische Vielfalt und praktische forstliche Tätigkeit: Probleme und Handlungsbedarf. *Schweiz. Z. Forstwes.* 145, 999–1020.
- ROTACH, P., 2005. *In situ* conservation methods. In: GEBUREK, T.; TUROK, J., (eds), *Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe*. Arbona Publishers, Zvolen. 535–566.
- RUDOW, A., 2016. Generhaltung in bestehenden Waldreservaten. *Schweiz. Z. Forstwes.* 167, 344–347
- RUDOW, A.; ROTACH, P.; KÜCHLI, C.; DÜRR, C.; SCHMID, S.; BOLLIGER, M., 2013. The State of the World's Forest Genetic Resources. *FAO Country Report Switzerland 2012*. Online: www.fao.org/3/a-i3825e/i3825e67.pdf
- SCHÄDELIN, W., 1928. Stand und Ziele des Waldbaues in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 79, 119–139.
- SCHUELER, S.; KONRAD, H., 2016. Dynamische Generhaltung in Europas Wäldern: Paneuropäische Konzepte nehmen Gestalt an. *Schweiz. Z. Forstwes.* 167, 325–332.
- SCHÜTZ, J.-P., 1999. Naturnaher Waldbau: gestern, heute, morgen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150, 478–483.
- UNGER, G.M.; VENDRAMIN, G.G.; ROBLEDO-ARNUNCIO, J.J., 2014. Estimating exotic gene flow into native pine stands: zygotic vs. gametic components. *Mol. Ecol.* 23, 5435–5447.
- Verordnung über forstliches Vermehrungsgut, 1994. SR 921.552.1. Bern. Online: www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19940363.
- Waldverordnung, 1992. Verordnung über den Wald, SR 921.01. Bern. Online: www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19920310.