

Daniel LAUTERBACH

Ex situ-Kulturen gefährdeter Wildpflanzen – Populationsgenetische Aspekte und Empfehlungen für Besammlung, Kultivierung und Wiederausbringung

Ex situ cultures of endangered native plants – population genetics and guidelines for sampling, cultivation and reintroduction

Zusammenfassung

Der Artikel gibt einen Überblick über populationsgenetische Grundlagen für Erhaltungskulturen gefährdeter Wildpflanzen. Das Ziel von Ex situ-Kulturen ist der Erhalt der genetischen Diversität und der Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Umweltbedingungen. Es werden populationsgenetische Untersuchungen an Ex situ-Kulturen vorgestellt. Ex situ-Kulturen sind oftmals genetisch verarmt und von ihren Wildpopulationen genetisch differenziert. Daher sollte die Besammlung des Ausgangsmaterials repräsentativ und gut dokumentiert sein. Bei der Kultivierung sollte die Individuenanzahl so hoch wie möglich sein und eine bewusste sowie unbewusste Selektion vermieden werden. Bei Wiederausbringungen sind die für die jeweilige Art passenden Habitatfaktoren besonders zu berücksichtigen. Die Ausbringung von Jungpflanzen ist erfolgsversprechender als eine Aussaat. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren können Ex situ-Kulturen einen wertvollen Beitrag zum botanischen Artenschutz leisten.

Summary

This paper gives an overview on population genetics in the ex situ conservation of endangered native plant species. The main goal of ex situ cultivation is the conservation of both genetic diversity and adaptation potential to environmental changes. Studies in population genetics of ex situ cultures are presented. Ex situ populations often suffer from genetic erosion. Therefore, broad sampling of an initial pool of genotypes in the wild and a good documentation are essential. During cultivation, sample size should be as high as possible, and both conscious unconscious selection should be avoided. Reintroductions should consider the habitat conditions of the species. The outplanting of juvenile plants appears to be more successful than the sowing of seeds. Considering these aspects, ex situ cultivation can be a useful contribution to conserve endangered plant species.

1. Einleitung

Die zunehmende Habitatfragmentierung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Genetik und Fitness von Pflanzenpopulationen (HEINKEN 2009). Begleitend zu übergeordneten Habitatschutz- und Landschaftspflegemaßnahmen sind in vielen Fällen auch Maßnahmen an einzelnen Individuen und Populationen für den Erhalt einer Art erforderlich. Besonders kleine Populationen sind oftmals nur durch Besammlung, Kultivierung und Wiederausbringung zu erhalten, da bereits Zufallsereignisse, wie Feuer, Überschwemmungen, Wildverbiss, Trittschäden oder widerrechtliche Entnahme, zum Aussterben der Population führen können (LANDE 1998).

Maßnahmen, die den Erhalt einer Art außerhalb des natürlichen Lebensraumes zum Ziel haben, werden als Ex situ-Maßnahmen bezeichnet (BURKART & VON DEN DRIESCH 2006). Die Begriffe Ex situ-Kultur und Erhaltungskultur werden oft synonym verwendet. Solche Maßnahmen beinhalten die Einlagerung von Saatgut

genauso wie die Lebendkultivierung. Vorrang sollte jedoch immer der Erhalt am Naturstandort (in situ) haben. Eine Ex situ-Kultur kann Risiken, wie zum Beispiel künstliche Selektion, genetische Verarmung und den Verlust der Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Umweltbedingungen bergen. Auch die Kosten einer Kultivierung können relativ hoch sein. Daher sollten sich In situ- und Ex situ-Maßnahmen ergänzen und nicht gegenseitig ausschließen (BROWN & BRIGGS 1991). Wenn der Erhalt einer gefährdeten Population am Naturstandort nicht mehr möglich ist, zum Beispiel durch Baumaßnahmen oder wenn autochthones Pflanzenmaterial zur Bestandsstützung oder Neuansiedlung von gefährdeten Populationen benötigt wird, ist die Anlage einer Ex situ-Kultur unumgänglich. Außerdem sieht die Globale Strategie zum Schutz der Pflanzen (Global Strategy for Plant Conservation, CBD 2013) vor, mindestens 75 % aller gefährdeten Pflanzenarten in zugänglichen Ex situ-Programmen, vorzugsweise in den Herkunftsländern, vorzuhalten. Hiervon sollen 20 % für Renaturierungs- und Wiederausbringungsprogramme zur Verfügung stehen.

Das Ziel aller Ex situ-Kulturen sollte der Erhalt eines repräsentativen Anteils genetischer Diversität der Wildpopulationen unter vertretbarem Ressourcenaufwand sein (HUSBAND & CAMPBELL 2004). Erhaltungskulturen von Pflanzenarten werden meist durch Botanische Gärten, Arboreten und engagierte Privatpersonen betreut. Das Portal für Erhaltungskulturen einheimischer Wildpflanzen (ERHALTUNGSKULTUREN 2013) bietet einen Überblick über Biologie, Kulturansprüche, haltende Gärten/Einrichtungen und Wiederansiedlungen derzeit kultivierter Sippen in Deutschland.

Die längerfristige Kultivierung von Wildpflanzen erweist sich oftmals als problematisch und Erhaltungskulturen repräsentieren vielfach nicht die genetische Diversität der Wildpopulationen. Kritische Faktoren, die den Erhalt der genetischen Diversität und reproduktiven Fitness während der Kultivierung beeinflussen, sind die Besammlung des Ausgangsmaterials und die Anzahl der kultivierten Individuen ebenso wie biotische und abiotische Interaktionen während der Kultivierung.

Dieser Artikel gibt einen groben Überblick über die Vielschichtigkeit der Ex situ-Kultivierung. Der Fokus liegt auf der Einführung in populationsgenetische Hintergründe, der Besammlung des Ausgangsmaterials sowie der Kultivierung und der Wiederausbringung, um den Zugang zu weiterführendem Material zu erleichtern oder die Kontaktaufnahme zu Fachleuten vorzubereiten. Die Ex situ-Kultivierung wird unter dem Gesichtspunkt des anhaltenden Lebensraumverlusts immer mehr an Bedeutung gewinnen und erfordert zukünftig umso mehr die Kooperation zwischen Wissenschaft, Behörden, Einzelpersonen und Verbänden.

2. Populationsgenetik

Neben den für eine Art geeigneten Habitatbedingungen hat die genetische Struktur einer Population eine hohe Bedeutung für deren Anpassungs- und Überlebensfähigkeit. Die genetische Struktur einer Population wird wiederum durch verschiedene Faktoren wie Populationsgröße (LOVELESS & HAMRICK 1984), Lebensraumfragmentierung (LEIMU et al. 2006) und Populationshistorie (LEIMU & MUTIKAINEN 2005) beeinflusst. Außerdem haben artspezifische Eigenschaften, wie Lebensdauer, Bestäubungs- und Ausbreitungsmechanismen, einen Einfluss auf die genetische Populationsstruktur (LEIMU et al. 2006).

2.1 Genetische Drift und Inzuchtdepression

Ein wichtiger Faktor, von dem kleine, isolierte Wildpopulationen ebenso wie Ex situ-Kulturen betroffen sind, ist die genetische Drift. Dabei kommt es als Konsequenz von reduziertem Austausch zwischen Populationen zu einer zufälligen, nicht durch Selektion bewirkten Änderung in der Zusammensetzung des Genpools (HEINKEN 2009). Zweihäusigkeit kann diesen Effekt noch verstärken, insbesondere dann, wenn das Geschlechterverhältnis unausgeglichen ist. Eine weitere Folge reproduktiver Isolation ist die Inzuchtdepression, bei der es zu einer Reduktion der Fitness durch die Paarung von nahe ver-

wandten Individuen untereinander kommt (CHARLESWORTH & CHARLESWORTH 1987). Ihre Wahrscheinlichkeit ist in sehr kleinen und isolierten Populationen, besonders bei nicht-selbstkompatiblen Arten (Arten, die nicht zur Selbstbefruchtung fähig sind), deutlich erhöht. Typische Auswirkungen sind geringere Keimraten, eine verringerte Überlebensfähigkeit und eine reduzierte Samenproduktion. Inzucht kann neben negativen Effekten aber auch zu dem sogenannten „Purging“, der Beseitigung schädlicher Allele (Ausprägungsformen von Genen), führen (CRNOKRAK & BARRET 2002).

2.2 Genetische Diversität und Fitness

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Studien, die sich mit dem Zusammenhang von genetischer Diversität und Pflanzenfitness beschäftigt haben (ELLSTRAND & ELAM 1993; LEIMU et al. 2006). Auch wenn die Ergebnisse nicht immer einheitlich sind, so kann doch von einer erhöhten Fitness und Überlebensfähigkeit großer und genetisch diverser Populationen ausgegangen werden. Langzeiteffekte, wie die oftmals prognostizierte geringere Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Umweltbedingungen genetisch verarmter Populationen, sind aber kaum vorhersagbar. Da die meisten populationsgenetischen Untersuchungen zudem auf neutralen molekulargenetischen Markern (Mikrosatelliten, AFLP) beruhen, lässt sich daraus nicht zwangsweise auf die adaptive Variation (Genvariabilität anpassungsrelevanter Merkmale) schließen (KRAMER & HAVENS 2009). Weitere Ansätze sind daher quantitative und epigenetische (vererbare phänotypische Eigenschaften, die nicht in der DNA-Sequenz festgelegt sind) Untersuchungen.

Effekte genetischer Verarmung können von Art zu Art sehr unterschiedlich sein. Kleine und genetisch verarmte Populationen können durchaus noch „fit“ sein. Das Beispiel einer Population des Grünblütigen Leimkrauts (*Silene chlorantha*) zeigte, dass eine kleine und genetisch verarmte Population im Zuge von Habitatverbesserungen in wenigen Jahren auf mehrere tausend Individuen anwachsen konnte (LAUTERBACH et al. 2011). Die genetische Diversität blieb aufgrund der räumlichen Isolation aber weiterhin gering. Dieser Effekt wird als der sogenannte „genetische Flaschenhals“ bezeichnet (NEI et al. 1975), der sich langfristig in der genetischen Struktur von Populationen nachweisen lässt.

2.3 Populationsgenetik von Erhaltungskulturen

Die Kultivierung unter anderen ökologischen Bedingungen als am Naturstandort, kleine Populationsgrößen, genetische Drift und die gärtnerische Selektion bergen ein hohes Risiko für die genetische Diversität und genetische Identität in Erhaltungskulturen (GUERRANT et al. 2004). Bisher haben sich nur sehr wenige Studien mit dem Vergleich zwischen Ex situ-Kulturen und Wildpopulationen beschäftigt: Ein Vergleich zwischen einer 18-jährigen Ex situ-Kultur und der dazugehörigen verpflanzten Wildpopulation eines endemischen Löffelkrauts (*Cochlearia polonica*) ergab eine geringere genetische Diversität der Ex situ-Kultur und eine deutliche genetische Dif-

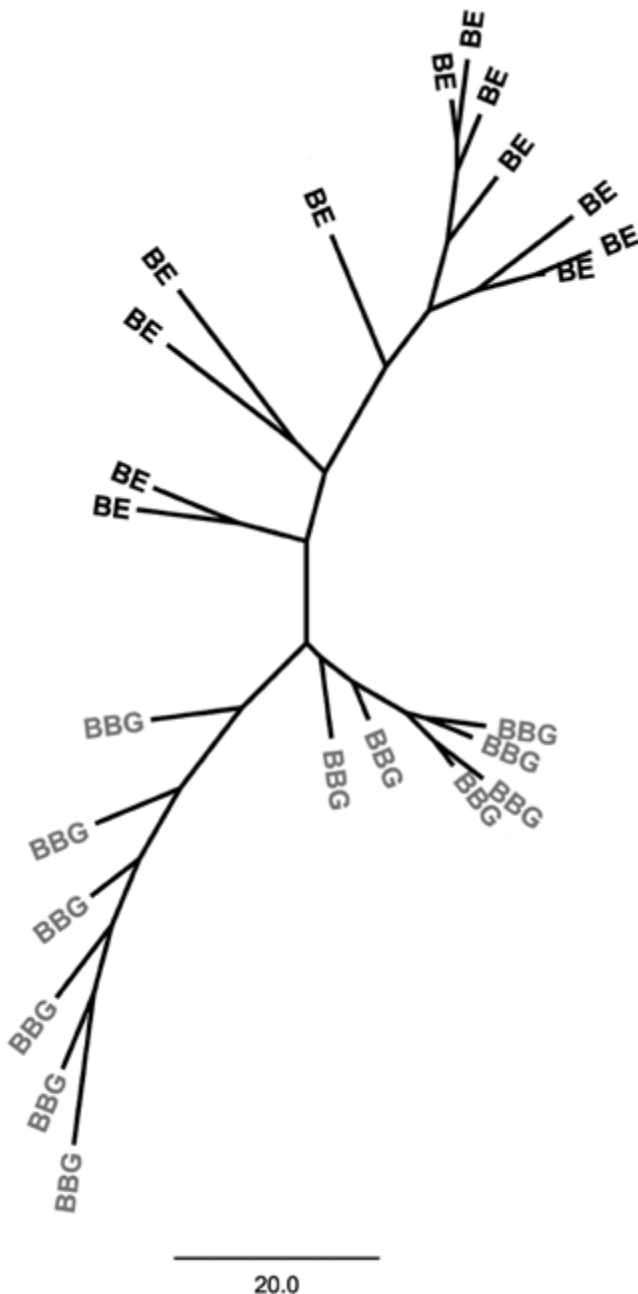


Abb. 1: Deutliche genetische Differenzierung zwischen Individuen aus Ex situ-Kultur (BBG) und dazugehöriger Wildpopulation (BE) des Öhrlöffel-Leimkrauts (*Silene otites*). Darstellung als ungewurzelter neighbour-joining-Baum basierend auf p -Distanzen.

Fig. 1: Unrooted neighbour-joining tree (p -distances) displaying the genetic differentiation between the ex situ culture (BBG) and corresponding native population (BE) of *Silene otites*.

ferenzierung zwischen Kultur und Wildpopulation (RUCINSKA & PUCHALSKI 2011). Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Untersuchung von LAUTERBACH et al. (2012) an drei Ex situ-Kulturen des Öhrlöffel-Leimkrauts (*Silene otites*). Alle drei zwischen 20 und 36 Jahre alten Ex situ-Kulturen hatten eine geringere genetische Diversität als ihre dazugehörigen und noch existierenden Wildpopulationen und waren genetisch stark differen-

ziert (Abbildung 1). Eine Studie an fünf Ackerwildkrautarten von BRÜTTING et al. (2013) ergab ebenfalls eine geringere genetische Diversität der Ex situ-Kulturen. Die Untersuchung von ENSSLIN et al. (2011) an der Echten Hundszunge (*Cynoglossum officinale*) zeigte, dass die genetische Diversität mit zunehmendem Alter der Kulturen geringer wurde.

Ergibt eine populationsgenetische Untersuchung, dass die betroffene Ex situ- oder Wildpopulation genetisch verarmt ist, stellt sich die Frage, wie man dem entgegenwirken kann. Eine Mischung unterschiedlicher Herkünfte kann die genetische Diversität und Fitness genetisch verarmter Populationen erhöhen (GODEFROID et al. 2011). Eine solche künstliche Wiederherstellung von Genfluss durch Transplantation von Individuen zwischen isolierten Populationen birgt aber auch die Gefahr der Auszuchtdepression und des Verlusts lokaler Anpassung (KRAUSS et al. 2002). Wenn überhaupt, sollte eine „lokale“ Vermischung vorgenommen werden (FANT et al. 2013). Die dazu verwendeten Populationen sollten möglichst unter landschaftshistorisch nachvollziehbaren Bedingungen, wie Wanderschäferei, Hochwasser und andere natürliche Ausbreitungsmechanismen, potentiell in genetischem Austausch miteinander stehen können. Geographische Herkunftsregionen (PRASSE 2012) müssen dabei zusätzlich beachtet werden.

3. Besammlung des Ausgangsmaterials

Voraussetzung für eine überlebensfähige und nachhaltige Erhaltungskultur ist die repräsentative Besammlung des Ausgangsmaterials. Die folgenden Ausführungen beziehen sich sowohl auf die Besammlung von Saatgut als auch von Pflanzenteilen klonaler (sich vegetativ vermehrender) Arten. Die Besammlung von Wildherkünften darf nur in Absprache und Genehmigung der zuständigen Behörde (Untere und Höhere Naturschutzbehörde) erfolgen. Die Wildpopulation sollte dabei nicht beeinträchtigt werden und das Vorgehen muss gut dokumentiert werden. Idealerweise erfolgt im Voraus eine populationsgenetische Untersuchung, um die Diversität der betreffenden Wildpopulation abschätzen und mit anderen Populationen vergleichen zu können.

Bei der Besammlung sollte die gesamte Diversität einer Population oder Art abgedeckt werden (BROWN & BRIGGS 1991). Dazu werden mindestens 50 (besser aber 200) Individuen über die gesamte geographische Ausdehnung der Population besammelt. Dabei sollten möglichst verschiedene Größen- und Altersklassen berücksichtigt und nicht das komplette Saatgut einzelner Pflanzen entnommen werden. Ein solches Vorgehen erhöht wesentlich die Wahrscheinlichkeit, die gesamte genetische Variabilität der Population bei der Aufsammlung abzudecken. Es sollte nur gut ausgereiftes Saatgut geerntet werden, welches anschließend getrocknet und dunkel, kühl und möglichst über kurze Zeiträume gelagert wird. Eine andere Möglichkeit ist die Überführung in die Langzeitlagerung (zum Thema Genbanken siehe: BORGMANN & ZACHGO 2010). Ausführliche Informationen und eine Anlei-



Abb. 2: Hybriden zwischen Gewöhnlicher Kuhschelle (*Pulsatilla vulgaris*) und Dunkler Wiesen-Kuhschelle (*Pulsatilla pratensis* subsp. *nigricans*) durch unkontrollierte Vermehrung. Unterschiedlich lange Perigonblätter innerhalb einer Blüte zeigen den Einfluss beider Elternarten. Bei der vorderen Pflanze ist die aufrechte Blüte typisch für *P. vulgaris*, die dunkel-violette Blütenfarbe hingegen ist typisch für *P. pratensis* subsp. *nigricans* (Foto: Dr. Daniel Lauterbach).

Fig. 2: Hybrids between *Pulsatilla vulgaris* and *Pulsatilla pratensis* subsp. *nigricans*: differences in petal length and erect flower stem (typical for *P. vulgaris*) and dark purple flower colour (typical for *P. pratensis* subsp. *nigricans*).

tung zur Besammlung von Wildpflanzen findet man in ENSCONET (2009) und UNIVERSITÄT REGENSBURG (2006).

Die Besammlung von bereits bestehenden Kulturen ist nicht unproblematisch. Es empfiehlt sich vorab genau zu prüfen, ob „Altbestände“ wirklich brauchbar sind oder ob doch besser neues Material gesammelt werden sollte. Ältere Ex situ-Kulturen sind oft schlecht dokumentiert, genetisch nicht repräsentativ und eventuell sogar hybridisiert (MAUNDER et al. 2004). Ein Beispiel sind die leicht hybridisierenden Arten der Gattung *Pulsatilla* (Abbildung 2), von der viele Botanische Gärten aufgrund ihrer Attraktivität und Seltenheit verschiedene Arten und Herkünfte beherbergen. Ungewollte Hybridisierungen sind nur durch Einpacken und Handbestäubung der Blütenstände während der Blütezeit zu vermeiden (Abbildung 3).



Abb. 3: Um genetische Verfälschungen des Samenmaterials durch unkontrollierte Fremdbestäubung zu verhindern, werden Blütenstände – hier bei *Scabiosa canescens* – eingepackt und kontrolliert per Hand bestäubt (Foto: Dr. Michael Burkart).

Fig. 3: Bagged flowers of *Scabiosa canescens* to avoid cross-pollination. They are pollinated manually.

4. Kultivierungsbedingungen

4.1 Einzelbeet-Kultivierung

Meist werden die Arten einzeln in Beeten kultiviert (Abbildung 4). Diese Form der Kultivierung hat Vorteile, wie die einfachere Bewirtschaftung der Beete und die bessere Kontrolle der Individuenanzahl. Jedoch ergeben sich auch Nachteile. Es fehlt eine zwischenartliche Konkurrenz und es wird oftmals nur eine gleichaltrige Kohorte gezogen, anstatt mehrere Generationen gleichzeitig zu kultivieren. Hinzu kommt meist noch eine gärtnerische Selektion. Im Hinblick darauf, möglichst vitale Pflanzen heranziehen zu wollen, werden meist schon im Keimlingsstadium die größten und zuerst keimenden Sämlinge für die Weiterkultivierung bevorzugt. Durch solch eine künstliche Selektion können jedoch wichtige Genotypen, die unter natürlichen Bedingungen gegebenenfalls Vorteile haben, sowie Dormanzmechanismen ausselektiert werden. Die Studie von ENSSLIN et al. (2011) an *Cynoglossum officinale* zeigte eindrucksvoll, wie innerhalb weniger Generationen Dormanzmechanismen durch unbewusste Selektion verlorengehen können. Diese sind aber wiederum wichtig für die Anpassung an variable Umweltbedingungen. Besonders bei ambitioniertem Gartenpersonal ist daher noch Aufklärungsarbeit zu leisten, dass auch in den vermeintlich schwachen und sich langsamer entwickelnden Pflanzen wichtige genetische Ressourcen schlummern. Die Auswirkungen unterschiedlicher Pflanzsubstrate sind bisher noch zu wenig untersucht. Die oftmals verwendeten nährstoffreichen und gut wasserspeichernden Substrate können aber zu Veränderungen im Habitus und in der Lebensdauer führen.

4.2 Naturnahe Kultivierung

Bei der naturnahen Kultivierung werden verschiedene Arten zusammen in einem Beet kultiviert. Selbstaussaat wird zugelassen und die Bildung einer Diasporenbank im Boden und somit der Erhalt von Dormanzmechanismen gewährleistet. Eine Ex situ-Population von *Silene otites* im Botanischen Garten Mainz, die zusammen mit anderen

Sandtrockenrasenarten in einer Nachbildung des natürlichen Lebensraumes „Mainzer Sand“ kultiviert wird (Abbildung 5), zeigte eine geringere genetische Differenzierung zwischen ihr und der dazugehörigen Wildpopulation als die Beispiele von Beetkulturen in den Botanischen Gärten Berlin und Marburg (LAUTERBACH et al. 2012).

4.3 Individuenanzahl

Wichtig bei der Kultivierung ist die Anzahl der Individuen. Sie sollte bei mindestens 50 bis 200 Individuen liegen, bei diözischen (zweihäusigen) Arten besser noch höher. Diese Zahlen sind allerdings nur grobe Richtwerte und werden aufgrund von Platzmangel oder geringen Saatgutmengen meist unterschritten. Idealerweise sollte das Saatgut verschiedener Mutterpflanzen vor der Aussaat nicht gemischt werden. Dadurch können gleich viele Jungpflanzen von allen Mutterpflanzen nachgezogen werden und somit bleibt eine hohe genetische Diversität erhalten. Dies verhindert auch eine ungewollte Selektion einzelner Genotypen.

5. Wiederausbringung

Die Wiederausbringung gefährdeter Pflanzenarten rückt in den letzten Jahren immer stärker in den Fokus von Artenschutzmaßnahmen (ZEHM & WEBER 2013). Ziel von Wiederausbringungen ist es, genetisch diverse Populationen zu etablieren, die ein hohes Potential zur Abpufferung selektiver Drücke haben und lange überlebensfähig sind (FANT et al. 2013). Neben den bereits erläuterten genetischen Aspekten gibt es aber noch eine Reihe anderer Fragen: Wo ausbringen? Wie dokumentieren? Wann ist der beste Zeitpunkt? Jungpflanzen oder Saatgut ausbringen?

5.1 Habitatauswahl

Um ein geeignetes Habitat auswählen zu können, ist das Wissen um die ökologischen Ansprüche einer Art essentiell (FALK et al. 1996). Man sollte sich vorab mit der einschlägigen Literatur vertraut machen und Experten befragen. Weitere wertvolle Datenquellen sind das Portal für Erhaltungskulturen einheimischer Wildpflanzen (ERHALTUNGSKULTUREN 2013) und Datenbanken, wie zum Beispiel Try (KATTGE et al. 2011). Dennoch wird man feststellen, dass das Wissen zu Vergesellschaftung, Bodenansprüchen und Reproduktion bei einigen Arten gering ist. Es empfiehlt sich weiterhin die Durchführung von Keimungsexperimenten und Bodenuntersuchungen in Zusammenarbeit mit Botanischen Gärten, Universitäten und ähnlichen Einrichtungen, bevor man mit dem wertvollen Saatgut in der freien Natur „um sich wirft“.



Abb. 4: Nach Arten und Herkünften getrennte Beetkulturen im Botanischen Garten Berlin-Dahlem; im Vordergrund *Trollius europaeus*. Leicht zu handhaben aber hoher Einfluss künstlicher Selektion und keine interspezifische Konkurrenz (Foto: Dr. Daniel Lauterbach).

Fig. 4: Single-species bed cultures in the Botanic Garden Berlin-Dahlem; in the front *Trollius europaeus*. These bed cultures are easy to handle; however, artificial selection is dominant and there is no interspecific competition.



Abb. 5: Naturnahe Kultivierung von Trockenrasenarten im Botanischen Garten Mainz. Geringer Einfluss künstlicher Selektion und Ausbildung einer Diasporenbank möglich (Foto: Dr. Michael Burkart).

Fig. 5: Near-natural cultivation of dry grassland species in the Botanic Garden Mainz. Artificial selection has little influence; the development of a seed bank is possible.

Bei der Auswahl einer Wiederausbringungsfläche sollten neben geeigneten Habitatbedingungen die Eigentumsverhältnisse geklärt, eine langfristige Landschaftspflege gewährleistet und das Gebiet gegebenenfalls durch einen Schutzstatus gesichert sein (Abbildung 6).

Weiterhin sollte die Fläche groß genug sein, um eine große, genetisch diverse und sich selbst erhaltende Population aufbauen zu können. Wenn dies nicht gegeben ist, muss zumindest eine Vernetzung mit anderen geeigneten Habitaten möglich sein. Bei der Wiederausbringung sollte man versuchen, den vorhandenen Habitatgradienten (Feuchte, Licht, Höhenstufe) abzudecken (FALK et al. 1996). Dies ermöglicht eine Evaluation dieser Einflussfaktoren auf die Etablierung der ausgebrachten Art.

Die Wiederausbringung an „alte“ Wuchsorte oder in noch existierende Restvorkommen ist nur dann sinnvoll, wenn eine Lebensraumverbesserung in Form von geeigneten Pflegemaßnahmen langfristig gewährleistet ist. Restvorkommen befinden sich nicht immer im ökologischen Optimum einer Art. Meist konnten sich nur wenige und zum Teil überalterte Individuen an solchen Standorten aufgrund von Konkurrenzarmut halten. Relikte mancher Trockenrasenarten stehen extrem exponiert, was dazu führt, dass sich Jungpflanzen nur sehr selten etablieren können. Wird die Konkurrenz dominanter Arten durch geeignete Pflege zurückgedrängt, können sich auch seltene Arten in vermeintlich weniger gut geeigneten Habitaten etablieren. Geeignete Habitatbedingungen sind der entscheidende Faktor für die Überlebensfähigkeit einer Population (Abbildung 6).

Eine andere Möglichkeit ist die Ausbringung auf einer neu geschaffenen, möglichst im Umfeld des alten Wuchsortes oder zumindest im historisch belegten Areal der Art liegenden, klimatisch sowie edaphisch ähnlichen Fläche (Abbildung 7). Dies bietet die Möglichkeit, die Fläche mit „schwerem Gerät“ vorzubereiten (Rodung, Oberbodenabtragung, Wiedervernässung und so weiter), ohne dass Restvorkommen beeinträchtigt werden. Dadurch wird zudem das Risiko vermieden, neue Genotypen in bestehende Wildpopulationen einzubringen. Wiederum bietet die Mischung verschiedener Herkünfte aber auch ein größeres genetisches Anpassungspotential (FANT et al. 2013; GODEFROID et al. 2011).

5.2 Dokumentation und Monitoring

Ein wesentlicher Punkt ist die Dokumentation. Diese beginnt bereits beim Besammeln des Ausgangsmaterials und ist genauso wichtig bei der Wiederausbringung. Nach meinen Erfahrungen empfehle ich ein Protokoll anzufertigen, das die wichtigsten Punkte (wer,

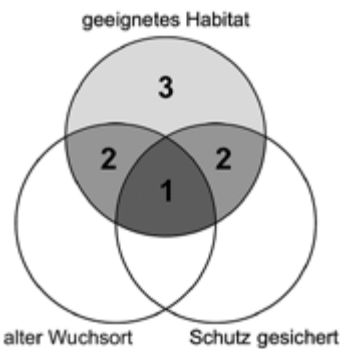


Abb. 6: Bewertungsschema potentieller Wiederausbringungsflächen, modifiziert nach FALK et al. (1996): 1: alle drei Kriterien treffen zu, am besten geeignet; 2: nur zwei Kriterien treffen zu (geeignetes Habitat essentiell), gut geeignet; 3: nur das Kriterium „geeignetes Habitat“ trifft zu, weniger geeignet.

Fig. 6: Evaluation scheme of potential reintroduction sites, modified after FALK et al. (1996): 1: all three criteria met, preferred sites; 2: two criteria met, ecological suitability of the habitat is essential; 3: only one criteria (habitat suitability) met; less suitable.

wann, wie viele Pflanzen, Herkunft, wohin, Koordinaten) und eine Übersichtsskizze enthält. Da solche Maßnahmen nur in Absprache mit der zuständigen Behörde stattfinden sollten ist eine Kopie des Protokolls dieser zu übergeben, beziehungsweise in Bayern über die Artenschutzkartierung (ASK) digital zu dokumentieren. Ohne eine solche Minstdokumentation steht man schon nach wenigen Jahren vor einer sich im Idealfall gut entwickelnden Population, fragt sich aber, woher die Pflanzen kamen und wen man zur Geschichte der Population befragen kann. Weitergehend empfiehlt sich die Einlagerung von Blattmaterial (in Silicagel getrocknet oder als DNA-Extrakt tiefgefroren; DNA-BANK 2013) für spätere genetische Untersuchungen in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Sammlungen.

Eine Wiederausbringung gelingt nachhaltig nur, wenn die Pflanzen zur Blüte kommen, erfolgreich über mehrere Generationen reproduzieren und sich langfristig eine stabile Population aufbauen kann. Leider ist aber aufgrund von finanz-

ziellen Zwängen und befristeten Projektlaufzeiten ein Monitoring über Zeiträume von mehr als fünf Jahren meist nicht zu gewährleisten. Insbesondere bei langlebigen Arten, die oft erst nach mehreren Jahren erstmals reproduzieren oder wenn eine Etablierung von Jungpflanzen nur unregelmäßig stattfindet, ist ein Monitoring aber eine langfristige Aufgabe.

5.3 Auspflanzung und Zeitpunkt

Vorgezogene Jungpflanzen auszubringen scheint nach derzeitigem Wissensstand erfolgversprechender zu sein als die Ausbringung von Saatgut (GODEFROID et al. 2011). Aufgrund der oft hohen Schalenwildbestände ist eine Einzäunung der Flächen bis zur Etablierung der Population ratsam, da insbesondere seltene Arten gezielt von Rehen verbissen werden und an Wurzelballen anhaftendes Pflanzsubstrat eine „magische Anziehungskraft“ auf Wildschweine haben kann. Die besten Etablierungserfolge hatten Jungpflanzen, die ohne Pflanzsubstrat, ausgepflanzt wurden (GODEFROID et al. 2011). Die Anzahl der ausgebrachten Pflanzen sollte mindestens 50 betragen, aber „je mehr, desto besser“, da so negative Zufallseffekte und Geschlechter-Ungleichverteilungen bei diözischen Arten abgemildert werden können.

Als guter Zeitpunkt für Auspflanzungen hat sich besonders der Spätherbst bewährt, da hier eine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet ist und die Pflanzen noch vor dem Winter anwachsen können. Die Ausbringung im zeitigen Frühjahr ist ebenfalls möglich, birgt je-



Abb. 7: Ausbringung von *Silene chlorantha* auf einer renaturierten Tagebaufläche in Brandenburg; links: in Töpfen vorgezogene Jungpflanzen; Mitte: Auspflanzung im Herbst 2010; rechts: bei der Erfolgskontrolle im Herbst 2011 finden sich etablierte Pflanzen mit Resten von Blütenständen (Fotos: Dr. Daniel Lauterbach).

Fig. 7: Transplanting of *Silene chlorantha* in a former open-cast mining area in Brandenburg; left: pre-cultured juvenile plants; centre: out-planting in autumn 2010; right: efficiency control in autumn 2011, established plant.

doch die Gefahr trockener Witterungsperioden im April und Mai, was zum Absterben der noch schwach bewurzelten Jungpflanzen führen kann. Saatgut sollte möglichst direkt nach der Ernte ausgebracht werden und in Vegetationslücken oder auf vorbereiteten Rohbodenstandorten ausgesät werden. Vorteilhaft ist oberflächliches Einharken oder gegebenenfalls leichtes Anwalzen, um einen guten Bodenkontakt der Diasporen zu gewährleisten.

Danksagung

Für die Zusammenarbeit und Diskussion zum Thema Ex situ-Kulturen danke ich Herrn Dr. Michael Burkart (Botanischer Garten Potsdam) und Frau Dr. Birgit Gemeinholzer (Justus-Liebig-Universität Gießen). Weiterhin gedankt sei Kevin Fischer für die Überarbeitung der Abbildungen und den Gutachtern für die hilfreichen Hinweise zum Manuskript.

Weiterführende Literatur

- BOWLES, M. L. & WHELAN, C. J. (1994, Eds.): Restoration of endangered species: Conceptual issues, planning and implementation. – Cambridge University Press: 412 p., Cambridge.
- FALK, D. A. & HOLSINGER, K. E. (1991, Eds.): Genetics and conservation of rare plants. – Oxford University Press: 304 p., Oxford.
- FALK, D. A., MILLAR, C. I. & OLWELL, M. (1996, Eds.): Restoring diversity: strategies for reintroduction of endangered plants. – Island Press: 505 p., Washington.
- GUERRANT, E. O., HAVENS, K. & MAUNDER, M. (2004, Eds.): Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild. – Island Press: 536 p., Washington.

- MASCHINSKI, J. & HASKINS, K. E. (2012, Eds.): Plant reintroductions in a changing climate: promises and perils. – Island Press: 402 p., Washington.

Literatur

- BORGMANN, P. & ZACHGO, S. (2010): Genbank für Wildpflanzen für Ernährung und Landwirtschaft (WEL). – Tagungsband Informationstage Biolog. Vielfalt in Bonn 21.–22.04.2010, Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung: 196–209.
- BROWN, A. H. D. & BRIGGS, J. D. (1991): Sampling strategies for genetic variation in ex situ collections of endangered plant species. – In: FALK, D. A. & HOLSINGER, K. E. (Eds.): Genetics and conservation of rare plants. – Oxford University Press, New York: 99–122.
- BRÜTTING, C., HENSEN, I. & WESCHE, C. (2013): Ex situ cultivation affects genetic structure and diversity in arable plants. – Plant Biol. 15(3): 505–513.
- BURKART, M. & VON DEN DRIESCH, M. (2006): Global denken, regional handeln: Schutz der heimischen Wildpflanzen in botanischen Gärten. – Palmengarten 70(2): 146–157.
- CBD (2013): www.cbd.int/gspc/targets.shtml (Zugriff 15.05.2013).
- CHARLESWORTH, D. & CHARLESWORTH, B. (1987): Inbreeding depression and its evolutionary consequences. – Annu. Rev. Ecol. Syst. 18: 237–268.
- CRNOKRAK, P. & BARRETT, S. C. H. (2002): Purging the genetic load: a review of the experimental evidence. – Evol. 56: 2347–2358.
- DNABANK (2013): www.dnabank-network.org (Zugriff 15.05.2013).
- ELLSTRAND, N. C. & ELAM, D. R. (1993): Population genetic consequences of small population size: implications for plant conservation. – Annu. Rev. Ecol. Syst. 24: 217–242.

- ENSCONET (2009): ENSCONET Anleitung zum Sammeln von Wildpflanzensamen. – ensconet.maich.gr/PDF/Collecting_protocol_German.pdf (Zugriff 15.05.2013).
- ENSSLIN, A., SANDNER, T. M. & MATTHIES, D. (2011): Consequences of ex situ cultivation of plants: Genetic diversity, fitness and adaptation of the monocarpic *Cynoglossum officinale* L. in botanic gardens. – *Biol. Conserv.* 144: 272–278.
- ERHALTUNGSKULTUREN (2013): www.ex-situ-erhaltung.de (Zugriff 15.05.2013).
- FALK, D. A., MILLAR, C. I. & OLWELL, M. (1996): Guidelines for developing a rare plant reintroduction plan. – In: FALK, D. A. et al. (Eds.) *Restoring diversity: strategies for reintroduction of endangered plants.* – Island Press: 453–490, Washington.
- FANT, J. B., KRAMER, A., SIRKIN, E. & HAVENS, K. (2013): Genetics of reintroduced populations of the narrowly endemic thistle, *Cirsium pitchei* (Asteraceae). – *Botany* 91: 301–308.
- GODEFROID, S., PIAZZA, C., ROSSI, G., BUORD, S., STEVENS, A.-D., AGURAUJA, R., COWELL, C. et al. (2011): How successful are plant species reintroductions? – *Biol. Conserv.* 144: 672–682.
- GUERRANT, E. O., FIEDLER, P. L., HAVENS, K. & MAUNDER, M. (2004): Revised genetic sampling guidelines for conservation collections of rare and endangered plants. – In: GUERRANT, E. O. et al. (Eds.) *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild.* – Island Press: 419–438, Washington.
- HEINKEN, T. (2009): Populationsbiologische und genetische Konsequenzen von Habitatfragmentierung bei Pflanzen – wissenschaftliche Grundlagen für die Naturschutzpraxis. – *Tuexenia* 29: 305–329.
- HUSBAND, B. C. & CAMPBELL, L. G. (2004): Population responses to novel environments: implications for ex situ plant conservation. – In: GUERRANT, E. O. et al. (Eds.) *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild.* – Island Press: 231–266, Washington.
- KATTGE, J., DIAZ, S., LAVOREL, S. et al. (2011): TRY – a global database of plant traits. *Glob. Change Biol.* 17: 2905–2935.
- KRAMER, A. T. & HAVENS, K. (2009): Plant conservation genetics in a changing world. – *Trends in Plant Science* 14: 599–607.
- KRAUSS, S. L., DIXON, B. & DIXON, K. W. (2002): Rapid genetic decline in a translocated population of the endangered plant *Grevillea scapigera*. – *Conserv. Biol.* 16: 986–994.
- LANDE, R. (1998): Anthropogenic, ecological and genetic factors in extinction and conservation. – *Res. Popul. Ecol.* 40: 259–269.
- LAUTERBACH, D., BURKART, M. & GEMEINHOLZER, B. (2012): Rapid genetic differentiation between ex situ and their in situ source populations: an example of the endangered *Silene otites* (Caryophyllaceae). – *Bot. J. Linn. Soc.* 168: 64–75.
- LAUTERBACH, D., RISTOW, M. & GEMEINHOLZER, B. (2011): Genetic population structure, fitness variation and the importance of population history in remnant populations of the endangered plant *Silene chloantha* (WILLD.) EHRH. (Caryophyllaceae). – *Plant Biol.* 13: 667–777.
- LEIMU, R. & MUTIKAINEN, P. (2005): Population history, mating system and fitness variation in a perennial herb with a fragmented distribution. – *Conserv. Biol.* 19: 349–356.
- LEIMU, R., MUTIKAINEN, P., KORICHEVA, J. & FISCHER, M. (2006): How general are positive relationships between plant population size, fitness and genetic variation? – *J. Ecol.* 94: 942–952.
- LOVELESS, M. D. & HAMRICK, J. L. (1984): Ecological determinants of genetic structure in plant populations. – *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 15: 65–95.
- MAUNDER, M., HUGHES, C., HAWKINS, J. A. & CULHAM, A. (2004): Hybridization in ex situ plant collections: conservation concerns, liabilities, and opportunities. – In: GUERRANT, E. O. et al. (Eds.) *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild.* – Island Press: 19–438, Washington.
- NEI, M., MARUYAMA, T. & CHAKRABORTY, R. (1975): The bottleneck effect and genetic variability in populations. – *Evol.* 29: 1–10.
- PRASSE, R. (2012): Erläuterung zur Abgrenzung der Herkunftsregionen und Produktionsräume. www.regionalisierte-pflanzenproduktion.de/fileadmin/institut/regiosaatgut/Regiosaatgut_Herkunftsregionen.pdf (Zugriff 15.05.2013).
- RUCINSKA, A. & PUCHALSKI, J. (2011): Comparative molecular studies on the genetic diversity of an ex situ garden collection and its source population of the critically endangered polish endemic plant *Cochlearia polonica* E. FRÖHLICH. – *Biodiv. Conserv.* 20: 401–413.
- UNIVERSITÄT REGENSBURG (2006): www.uni-regensburg.de/biologie-vorklinische-medizin/botanik/medien/genbank_sammelflyer_klein.pdf (Zugriff 27.07.2013).
- ZEHM, A. & WEBER, G. (2013): Umsetzung eines landesweiten floristischen Artenhilfsprogramms – Konzepte und Erfahrungen. – *ANLIEGEN NATUR* 35: 40–54.



Autor

Dr. Daniel Lauterbach, Jahrgang 1982. Studium der Biologie mit Schwerpunkt Vegetationsökologie und Naturschutz an der Universität Potsdam. Promotion an der FU Berlin – Botanischer Garten Botanisches Museum Berlin-Dahlem (Populationsgenetik von *Silene otites* und *S. chloantha*). Von 2011 bis 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Berlin. Seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Botanischen Gartens der Universität Potsdam im Projekt „Aufbau eines nationalen Verbundes zum Schutz gefährdeter Wildpflanzenarten in besonderer Verantwortung Deutschlands“.

Universität Potsdam
Botanischer Garten

Maulbeerallee 2
14469 Potsdam
daniel.lauterbach@uni-potsdam.de

Zitiervorschlag

LAUTERBACH, D. (2013): Ex situ-Kulturen gefährdeter Wildpflanzen – Populationsgenetische Aspekte und Empfehlungen für Besammlungen, Kultivierung und Wiederausbringung. – *ANLIEGEN NATUR* 35(2): 32–39, Laufen, www.anl.bayern.de/publikationen.

Impressum

ANLIEGEN NATUR

Zeitschrift für Naturschutz
und angewandte
Landschaftsökologie

Heft 35 (2), 2013
ISSN 1864-0729
ISBN 978-3-944219-08-0

Die Zeitschrift versteht sich als Fach- und Diskussionsforum für den Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz und die im Natur- und Umweltschutz Aktiven in Bayern. Für die Einzelbeiträge zeichnen die jeweiligen Verfasserinnen und Verfasser verantwortlich. Die mit Verfassernamen gekennzeichneten Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers beziehungsweise der Schriftleitung wieder.

Herausgeber und Verlag

Bayerische Akademie für Naturschutz
und Landschaftspflege (ANL)

Seethalerstraße 6
83410 Laufen an der Salzach
poststelle@anl.bayern.de
www.anl.bayern.de

Schriftleitung und Redaktion

Dr. Andreas Zehm (ANL)
Telefon: +49 8682 8963-53
Telefax: +49 8682 8963-16
andreas.zehm@anl.bayern.de

Bearbeitung: Dr. Andreas Zehm (AZ), Karin Heinrich (KH),
Lotte Fabsicz, Andrea Burmester (englische
Textpassagen), Wolf Scholz

Fotos: Quellen siehe Bildunterschriften
Satz (Grafik, Layout, Bildbearbeitung): Hans Bleicher
Druck: OH Druck GmbH, Laufen
Stand: November 2013

© Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)
Alle Rechte vorbehalten
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkle-

ben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – ist die Angabe der Quelle und die Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Der Inhalt wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

Erscheinungsweise

Zweimal jährlich.

Bezugsbedingungen

Die Zeitschrift ist als pdf-Datei kostenfrei zu beziehen. Das vollständige Heft ist über das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) unter www.bestellen.bayern.de erhältlich. Die einzelnen Beiträge sind auf der Seite der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) als pdf-Dateien unter www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen abrufbar. Bestellungen der gedruckten Ausgabe sind über www.bestellen.bayern.de möglich.

Zusendungen und Mitteilungen

Die Schriftleitung freut sich über Manuskripte, Rezensionsexemplare, Pressemitteilungen, Veranstaltungsankündigungen und -berichte sowie weiteres Informationsmaterial. Für unverlangt eingereichtes Material wird keine Haftung übernommen und es besteht kein Anspruch auf Rücksendung. Wertsendungen (und analoges Bildmaterial) bitte nur nach vorheriger Absprache mit der Schriftleitung schicken.

Beabsichtigen Sie einen längeren Beitrag veröffentlichen, bittet Sie die Schriftleitung, Kontakt aufzunehmen sowie um die Beachtung der Richtlinien für Autoren. In diesen finden Sie auch Hinweise zum Urheberrecht.

Verlagsrecht

Das Werk einschließlich aller seiner Bestandteile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der ANL unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.