

Empfehlungen zur ex situ-Erhaltung und Ansiedlung gefährdeter Pflanzen

2019

Zusammenfassung:

Die Erhaltung und Vermehrung gefährdeter Wildpflanzen ausserhalb ihres natürlichen Lebensraumes ist eine Möglichkeit das Aussterben von Arten zu verhindern. Falls notwendig und möglich werden die *ex situ* erhaltenen Samen oder Pflanzen wieder in ihren natürlichen Lebensräumen angesiedelt, sei es indem bestehende Populationen verstärkt werden oder sei es durch eine Wieder- oder Neu-Ansiedlung. Sowohl die Erhaltung als auch die Ansiedlung unterliegen verschiedenen Grundsätzen und müssen sorgfältig ausgeführt werden. Die gesammelten positiven und negativen Erfahrungen sollen helfen die Erfolge zu vermehren. Die folgenden Seiten geben Informationen zum Sammeln, Vermehren, Erhalten und Ansiedeln gefährdeter Arten.

Kurzer Rückblick zu den Empfehlungen:

Schon 1998 stellte die damalige schweizerische Kommission für die Erhaltung von Wildpflanzen (SKEW) erste Empfehlungen auf. Im 2015 organisierten Info Flora, der botanische Garten Genf (Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève), der botanische Garten Bern und das Institut für Pflanzenwissenschaften der Universität Bern eine internationale Tagung zur *ex situ*-Erhaltung und Ansiedlung gefährdeter Wildpflanzen. In Folge wurden die Empfehlungen der SKEW vollständig überarbeitet und aktualisiert. Im 2019 organisierten die gleichen Institutionen begleitet vom Forum Biodiversität einen Workshop zur ex situ-Erhaltung, welcher sich insbesondere an die Akteure in der Schweiz richten sollte. Dazu wurden die Empfehlungen wiederum auf den neusten Stand gebracht.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Empfehlungen zum Sammeln von Samen oder Pflanzen	4
2.1 Zweck der Sammlung	4
2.2 Auswahl der Arten und Bewilligung	4
2.3 Wichtige Empfehlungen beim Sammeln	5
2.4 Wo werden die Samen erhalten	6
3. Empfehlungen zur ex situ-Erhaltung gefährdeter Arten	6
3.1 Genetische Drift und Inzucht	7
3.2 Auszucht und Auszuchtdepression	7
3.3 Gärtnerische Selektion und Anpassung an Gartenbedingungen	8
3.4 Hybridisierung	8
3.5 Mutationsakkumulierung	9
4. Empfehlungen zur Ansiedlung gefährdeter Arten an Wildstandorten	9
4.1 Wann sollen Ansiedlungen durchgeführt werden?	10
4.2 Was sollte man vor einer Ansiedlung wissen?	10
4.3 Auswahl eines geeigneten Habitats	11
4.4 Viele Individuen ansiedeln um gegen Umweltschwankungen gewappnet zu sein	11
4.5 Auswahl des Pflanzenmaterials – genetische Diversität und lokale Anpassung	11
5. Welches Material sollte letztendlich verwendet werden?	12
5.1 Angepasstes Material verwenden	12
5.2 Diverses Material verwenden	12
5.3 Weitere praktische Tipps bei Ansiedlungen	13
6. Die Empfehlungen der IUCN	13
Wichtige Links	15
Literaturhinweise	15

1. Einleitung

Die Erhaltung gefährdeter Wildpflanzen ausserhalb ihres natürlichen Lebensraumes (*ex situ*-Erhaltung) ist eine Möglichkeit das Aussterben von Arten zu verhindern. Dabei können gefährdete Arten *ex situ* z.B. in Botanischen Gärten gesichert und vermehrt werden (Lebendkulturen oder Samenbank), und dann wieder in natürlichen Lebensräumen angesiedelt werden. Dieses Vorgehen soll kein Ersatz für Massnahmen zur Erhaltung oder Förderung bestehender Populationen in der Natur (*in situ*) sein, sondern eine Ergänzung zu bereits bestehenden *in situ* Massnahmen. *In situ*-Massnahmen und *ex situ*-Erhaltung ergänzen sich aber oftmals.

Die Globale Strategie zur Erhaltung von Pflanzen, GSPC, welche die Schweiz über die Biodiversitätskonvention oder Convention on Biological Diversity, CBD, ratifiziert hat verlangt ausserdem, dass 75% der gefährdeten Arten *ex situ* erhalten werden, und dass 20% davon für Ansiedlungen zur Verfügung stehen.

Unterstützt durch diese gesetzlichen Anforderungen und bedingt durch den Rückgang der Arten *in situ*, werden auch in der Schweiz seit einigen Jahren Samen gefährdeter Wildpflanzen für die *ex situ*-Erhaltung gesammelt, je nach dem vermehrt und für Ansiedlungen in natürlichen Habitaten benutzt.

Die folgenden Empfehlungen enthalten praktische Tipps zum Sammeln von Samen in den bestehenden Populationen, zur *ex situ*-Erhaltung und zur Ansiedlung gefährdeter einheimischer Wildpflanzen in der Schweiz. Die Empfehlungen stützen sich auf die IUCN Guidelines, auf die gesetzlichen Vorgaben in der Schweiz, auf die Schlussfolgerungen einer in Bern durchgeführten Tagung im 2015, auf den derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand (Literatur) und auf praktische Erfahrungen.

An der Erarbeitung der Empfehlungen beteiligten sich insbesondere Experten des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, des Instituts für Pflanzenwissenschaften und des Botanischen Gartens der Universität Bern sowie von Info Flora.

2. Empfehlungen zum Sammeln von Samen oder Pflanzen

Das Wichtigste in Kürze

Vorbereitung :	nach Auswahl der gefährdeten Art, Massnahmen und Ziel definieren, nötige Bewilligungen einholen ;
Sammlung:	möglichst viel Samen an möglichst vielen, willkürlich ausgewählten Individuen, die über den ganzen Bestand verteilt sind, sammeln;
Rückverfolgbarkeit:	sämtliche Angaben zum Bestand genau aufnehmen.
Ziel:	Es soll eine möglichst repräsentative Sammlung (Akzession), welche die genetische Vielfalt widerspiegelt, erhalten werden

2.1 Zweck der Sammlung

Saatgut von Wildpflanzen kann zu verschiedenen Zwecken gesammelt werden. So zum Beispiel :

- für das Sammeln, den Anbau und die Nutzung von Wildpflanzensamen für Samenmischungen in der Landwirtschaft, im Gartenbau oder auch entlang von Verkehrswegen. Bei diesen Samenmischungen handelt es sich in der Regel um nicht gefährdete Arten und Sammlung und Nutzung unterliegen eigenen Empfehlungen.
- für Schulungs- und Forschungszwecke, oder zum Zeigen in Botanischen Gärten. Hier muss in erster Linie sichergestellt werden, dass die besammelte Population nicht gefährdet wird.
- für die **ex situ-Erhaltung der Art in einer Samenbank / in einem Garten** und/oder zur **(Wieder) - Ansiedlung der Art an geeigneten Wildstandorten und/oder zur Verstärkung bestehender Bestände**. Je nach Menge gesammeltem Material ist eine Zwischenvermehrung notwendig. Dabei müssen wichtige Punkte eingehalten werden um eine bestmögliche Qualität zu gewährleisten. Dazu gehören die Sicherung der genetischen Vielfalt der Wildpopulation und das Vermeiden von Risiken wie Inzucht, Drift und Selektion während der Kultivierung .

Die folgenden Empfehlungen betreffen das Sammeln von Samen oder Pflanzenmaterial zur **ex situ**-Erhaltung und/oder zur Ansiedlung **gefährdeter** Wildpflanzen.

ZIEL: das gesammelte Material soll den Genpool einer Population möglichst gut repräsentieren.

2.2 Auswahl der Arten und Bewilligung

Bevor gesammelt wird, muss entschieden werden welche Arten für die *ex situ*-Erhaltung ausgewählt werden sollen. Dafür können verschiedene Kriterien und Listen verwendet werden, wie zum Beispiel:

- weltweit / europaweit / schweizweit gefährdete Arten
- national prioritäre Arten der Schweiz
- endemische, halbendemische Arten der Schweiz
- Arten, die in der Schweiz auf nationaler, regionaler oder lokaler Ebene kurzfristig vom Aussterben bedroht sind
- schweizweit oder regional geschützte Arten,

- Arten mit sozio-kulturellem Wert

Dann müssen **geeignete Bestände / Populationen** ausgesucht werden. Idealerweise sollten die besammelten Populationen möglichst gross sein. Ausserdem sollte man die Standortbedingungen und die Verteilung der zu sammelnden Individuen genau kennen. Eine vorgehende Besichtigung kann somit sehr wichtig sein – auch zur genauen Bestimmung der Art.

Bevor gesammelt wird braucht man die **nötigen Bewilligungen**, sicher von der kantonalen Naturschutzfachstelle und vom eventuellen Landbesitzer. Ausserdem ist es zentral, dass sich die verschiedenen Erhalter, meist die botanischen Gärten, koordinieren. Info Flora sammelt die Daten zu *ex situ*-Erhaltungen und eventuellen Ansiedlungen in ihrer Datenbank.

2.3 Wichtige Empfehlungen beim Sammeln

Das gesammelte Material soll den Genpool einer Population möglichst gut repräsentieren. Um dies zu erreichen müssen verschiedene Punkte eingehalten werden. Sehr umfangreiche Informationen findet man auf der Website von Ensonet, dem European Native Seed Conservation Network, insbesondere die Anweisungen zur Sammlung von Samen an Wildpflanzen.

Die Empfehlungen kurz zusammengefasst:

- Die besammelte Population darf nicht gefährdet werden – **die *in situ*-Erhaltung hat Vorrang**. Es sollten nie mehr als 20% der zum Sammelzeitpunkt vorhandenen reifen Samen entnommen werden.
- Pro Population sollten Samen an mindestens 30-50 (je nach Grösse der Population aber bis 200) verschiedenen Individuen, die im Bestand möglichst weit voneinander entfernt sind, entnommen werden.
- Bei Arten, die sich selbst bestäuben sollte die Anzahl besammelter Individuen doppelt so hoch sein.
- Möglichst nicht selektiv sammeln. Sowohl kleine oder scheinbar schlecht wachsende oder angefressene, als auch grosse und robuste Individuen sollten besammelt werden. Denn gerade unscheinbarere Individuen könnten wichtige Anpassungen an Stress (z.B. Trockenheit) enthalten.
- Individuen sowohl im Zentrum als auch im Randbereich einer Population besammeln, um den Genpool der Population möglichst abzudecken.
- Ist der Bestand in unterschiedliche Mikrohabitate aufgeteilt, sollen genügend Individuen in jedem Mikrohabitat besammelt werden.
- Pro Individuum sollten genügend Samen gesammelt werden, im Idealfall werden pro Population 5'000 Samen gesammelt (ist abhängig von der Art / der Samenproduktion).
- Möglichst mehrmals pro Jahr und in verschiedenen Jahren sammeln, damit die Variation im Blühzeitpunkt innerhalb der Art eingefangen wird. Ist dies nicht möglich soll zu einem Zeitpunkt gesammelt werden an dem möglichst viele Individuen reife Samen tragen.
- Samen verschiedener Populationen sollten getrennt aufbewahrt und zwischenvermehrt werden (=Akzession). Nur so können bei einer späteren Ansiedlung Populationen eventuelle gemischt werden (Siehe Ansiedlung gefährdeter Arten).
- Jede Sammlung muss sorgfältig dokumentiert werden.

Für die *ex situ*-Erhaltung der Samen in einer Samenbank oder im botanischen Garten

- Idealerweise werden von einer Art mindestens fünf nahegelegene Populationen besammelt. Für jede Population sind die ökologischen Standortbedingungen bekannt und beschrieben. Jede Population (=Akzession) wird getrennt aufbewahrt. Nur so kann bei einer späteren

Ansiedlung eine repräsentative Mischung von Populationen sichergestellt werden, und nur so ist die regionale genetische Vielfalt garantiert.

Sammlungen sind selten perfekt, in jedem Fall soll man alles daran tun um die genetische Variabilität einer Population möglichst vollständig wiederzuspiegeln. Und, ebenso wichtig ist die genaue Beschreibung der ökologischen Bedingungen am Sammelstandort.

2.4 Wo werden die Samen erhalten

Für eine Langzeiterhaltung ist die Einlagerung in **Samenbanken** sicher die beste Methode.

Das **Conservatoire et Jardin Botaniques de la ville de Genève** betreibt eine Samenbank, welche Pflanzensamen unter optimalen Bedingungen auf lange Zeit sichert. Die Samen werden mit der Technik der Kryokonservation erhalten. Für jede Akzession werden zwei Muster eingelagert – eines steht eventuellen Forschungs- oder Ansiedlungsprojekten zur Verfügung, das zweite dient der Langzeiterhaltung. Die Technik der Einfrierung von Samen in der Samenbank ist mittlerweile sehr ausgereift und Samen können so mehrere Jahrzehnte ohne grössere Verluste in der Keimfähigkeit gelagert werden. Risiken liegen insbesondere darin, dass die eingelagerten Samen der natürlichen Evolution entgehen, und sich somit nicht an ein sich änderndes Klima anpassen können.

Weitere Informationen erhalten Sie beim Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève.

Die Erhaltung in Lebkulturen in **Botanischen Gärten** ist eine weitere Möglichkeit der *ex situ*-Erhaltung. Auch hier müssen verschiedene Punkte eingehalten werden, damit Risiken wie genetische Drift, Inzuchtdepression, Selektion oder Hybridisierung vermieden werden können. Siehe die folgenden Seiten zu *ex situ*-Erhaltung.

Empfehlungen zur *ex situ*-Erhaltung und Ansiedlung gefährdeter Wildpflanzen

3. Empfehlungen zur *ex situ*-Erhaltung gefährdeter Arten

Das Wichtigste in Kürze

Anzahl:	Im Idealfall werden 500 bis 5'000 Individuen <i>ex situ</i> erhalten
Bedingungen:	Die Kulturbedingungen einer <i>ex situ</i> -Kultur sind denen der natürlichen Population so ähnlich wie nur möglich
Zeitspanne:	Die Zeitspanne zwischen der Inkulturnahme und einer eventuellen Ansiedlung soll auf ein Minimum reduziert werden
Ziel	Der Verlust an genetischer Vielfalt soll verhindert werden genauso wie die Anpassung an Gartenbedingungen

Wird eine Akzession einer Pflanzenart (Pflanzenmaterial einer genau definierten und dokumentierten Wildherkunft) in einem Garten kultiviert oder in einer Samenbank eingelagert, so spricht man von *ex situ*-Erhaltung. Das zu erhaltende Material einer Population sollte so gut wie möglich die genetische

Vielfalt der Population repräsentieren.

In der Regel ist das Ziel einer *ex situ*-Erhaltung das lokale, regionale oder globale Aussterben einer Art zu verhindern. Ist die Ansiedlung einer gefährdeten Art geplant, so ist es meist notwendig das gesammelte Pflanzenmaterial *ex situ* zu vermehren. Ebenso kann es sein, dass die Lagerung der Samen einer Art nicht oder nur schwer möglich ist, und so eine Erhaltung der Individuen in einer Lebendkultur notwendig ist. Sowohl bei der *ex situ*-Erhaltung als auch bei der *ex situ*-Vermehrung von Pflanzenmaterial können verschiedene Risiken auftreten. Im Folgenden werden die Risiken und die Empfehlungen zur Risikovermeidung erläutert.

3.1 Genetische Drift und Inzucht

Risiko Genetische Drift : Die Wahrscheinlichkeit, dass es durch genetische Drift zu starken Veränderungen der genetischen Konstitution einer Population kommt nimmt mit der Grösse der Population ab. Gerade in kleinen Populationen, wie wir sie oft in *ex situ*-Erhaltungen finden, kann es daher leicht vorkommen, dass genetische Variation verloren geht und zufällig Erbmerkmale (Allele) fixiert werden, so dass sich die Individuen deutlich vom ursprünglichen Genpool (d.h. in der natürlichen Herkunftspopulation) unterscheiden. Diese geringere genetische Vielfalt kann die Fitness der Pflanzen und die Fähigkeit der Population sich an verändernde Umweltbedingungen anzupassen, mindern.

Risiko Inzucht und Inzuchtdepression : Ebenfalls ein Problem kleiner Populationen ist Inzucht, da die Wahrscheinlichkeit, dass sich nah verwandte Pflanzen immer wieder miteinander kreuzen, steigt. Dadurch werden wiederholt ähnliche Genotypen miteinander kombiniert, was einerseits die genetische Vielfalt innerhalb der Population verringert, und andererseits die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass schädliche Merkmalsausprägungen in Erscheinung treten. Führt Inzucht zu einer solchen Verringerung der Fitness nennt man dies Inzuchtdepression.

Empfehlungen zur Vorbeugung genetischer Drift und Inzucht : man sollte **möglichst viele Individuen** bzw. Samen vieler Individuen einer Population in Kultur nehmen. Nach verschiedenen Literaturangaben wäre es ideal eine Populationsgrösse von 500-5'000 Individuen zu erhalten. Je nach Machbarkeit muss die Populationsgrösse verringert werden. (Siehe die Empfehlungen zum Sammeln von Material am Wildstandort)

Bis jetzt werden in der Schweiz die Akzessionen einer Art getrennt erhalten. Stammt aber das Ausgangsmaterial aus kleinen, nicht sehr vitalen Populationen, dann ist der Verdacht auf genetische Drift und Inzucht sehr gross. In diesen Fällen muss man sich gut überlegen ob es nicht sinnvoll wäre Pflanzenmaterial aus mehreren benachbarten Populationen, welche immer ein ähnliches Habitat aufweisen, auch in den *ex situ*-Anlagen (Gartenbeet) zu mischen. **Die Risiken der genetischen Drift und Inzucht können durch eine Vermischung von Populationen aus ähnlichen ökologischen Bedingungen vermindert werden.**

3.2 Auszucht und Auszuchtdepression

Risiko Auszucht : Werden Individuen verschiedener, entfernter Populationen zusammen kultiviert, besteht die Gefahr der Auszucht.

Auszucht bedeutet, dass sich Genotypen miteinander kreuzen, die verwandtschaftlich weiter als zufällig voneinander entfernt sind, und sich aufgrund ihres unterschiedlichen Lebensraums genetisch auseinanderentwickelt haben. Wenn Individuen besonders gut an ihr Habitat angepasst sind, kann durch die Kreuzung von Individuen unterschiedlicher Populationen diese Anpassung verloren gehen. Einen solchen Fitnessverlust nennt man Auszuchtdepression.

Empfehlungen zur Vorbeugung von Auszucht : Um der Auszuchtdepression vorzubeugen, sollten Individuen verschiedener Populationen nicht in räumlicher Nähe kultiviert werden, beziehungsweise Individuen verschiedener Populationen sollen nur gemischt werden, wenn die Herkunftshabitate **sehr ähnliche** ökologischen Bedingungen aufweisen (prioritäres Kriterium) und die Populationen aus **benachbarten Wuchsorten** stammen.

Das Risiko und die Stärke von Auszuchtdepressionen sind allerdings wissenschaftlich nicht unumstritten und es sind nur wenige, sehr spezielle Fälle bekannt, bei denen Auszuchtdepression eine negative Rolle bei der Wiederansiedlung gespielt hat (siehe auch Empfehlungen Ansiedlungen)

3.3 Gärtnerische Selektion und Anpassung an Gartenbedingungen

Risiko Gärtnerische Selektion : Die Kultivierung von Wildpflanzen unter Gartenbedingungen birgt immer auch die Gefahr, dass sich die Individuen innerhalb kürzester Zeit (wenigen Generationen) an die Gartenbedingungen anpassen. Dies kommt daher, da die Bedingungen im Garten anders sind als am Wildstandort: zum Beispiel werden die Pflanzen im Garten, im Gegensatz zu den natürlichen Bedingungen, meist gut gegossen und gejätet und oft in nährstoffreicher Erde angezogen. Als Folge könnten sich die Pflanzen an die Gartenbedingungen anpassen und gleichzeitig wichtige Anpassungen an Stress (Trockenheit, Konkurrenz, Nährstoffarmut), die es ihnen erlaubt in der Natur zu überdauern, verlieren. Auch durch gärtnerische Selektion, z.B. für grössere Blüten und Samen oder frühe Keimung und Blühzeitpunkt, kann es zu Veränderungen wichtiger Merkmale der Pflanzen kommen. Durch diese Anpassung könnte das ex situ vermehrte Material seine Eignung für eine erfolgreiche Ansiedlung am Naturstandort verlieren

Empfehlungen zur Vorbeugung von gärtnerischer Selektion : Generell sollte die Anzahl der Zwischenvermehrungen (Generationen ex situ), welche Material für Ansiedlungen liefern sollen, so gering wie möglich gehalten werden. Wenn Pflanzen nur für einen Vermehrungszyklus ex situ und spezifisch für ein Ansiedlungsprojekt kultiviert werden, sollte die Mortalität in der Kultur möglichst gering gehalten werden um die gesammelte genetische Variabilität möglichst ohne Verlust für die Ansiedlung bereitzustellen.

Wenn jedoch die Art für mehrere Generationen, z.B. als Erhaltungskultur, geführt werden soll, sollten weitere Punkte beachtet werden. Um eine Anpassung der Pflanzen an Gartenbedingungen zu vermeiden, sollte man die Pflanzen möglichst in naturnahen Beeten kultivieren, d.h. die Umweltbedingungen (Bodentyp, Wasser und Nährstoffversorgung) so ähnlich wie möglich wie die des natürlichen Habitats gestalten. Ebenfalls sollte man Konkurrenz mit anderen typischen Vertretern des Habitats zulassen. Die Vermehrung einer Population sollte wenn möglich sich selbst überlassen werden um Selektion in z.B. der Keimfähigkeit oder der Phänologie zu verhindern. Falls dies nicht geht und Individuen in Gewächshäusern vorgezogen werden müssen ist es wichtig, dass spät und früh keimende, grosse und kleinere Pflanzen ausgepflanzt werden um die genetische Variabilität in der Population zu erhalten und nicht auf bestimmte Merkmale, z.B. frühe Keimung oder schöne Blüten, zu selektieren.

3.4 Hybridisierung

Risiko Hybridisierung: In Gärten besteht die Gefahr einer Hybridisierung oder Kreuzung von Individuen verschiedener meist nah verwandter Arten, die in der Natur nicht zusammen vorkommen. Dies kann einerseits zu einem sterilen Nachwuchs führen, oder andererseits kann die genetische Integrität der Arten bei fertilen Hybriden beeinträchtigt werden.

Empfehlungen zur Vorbeugung der Risiken durch Hybridisierung: Bei Arten aus für Hybridisierungen bekannten Gattungen wird empfohlen diese so weit wie möglich voneinander entfernt zu kultivieren, oder sich auf eine Art als Erhaltungskultur zu konzentrieren. Aussenstationen können dazu genutzt werden genügend Abstand zwischen Arten mit hohen Hybridisierungsrisiko zu bringen und diese sicher *ex situ* zu kultivieren. Dies gilt ebenfalls für Pflanzen verschiedener Populationen einer Art, bei denen eine Vermischung der Herkünfte durch Pollenflug verhindert werden soll; z.B., weil die Populationen stark differenziert sind oder deren Herkunft geografisch weit entfernt voneinander liegt. Eine sichere Distanz um Kreuzbestäubung zu verhindern ist schwer zu benennen, Pollentransfer (durch Insekten) über mehr als 1 km ist aber eher unwahrscheinlich. Ist eine räumliche Trennung nicht möglich, empfiehlt es sich die Pflanzen zur Blütezeit mit Netzen gegen Fremdbestäubung zu schützen und die Bestäubung per Hand oder mit Hilfe von portablen Bienenvölkern zu sichern.

3.5 Mutationsakkumulierung

Risiko Mutationsakkumulierung : Mutationen entstehen spontan und in jedem Organismus. In natürlichen Populationen geht man davon aus, dass schädliche Mutationen nicht bestehen können und ausselektiert werden (z.B. durch harte Umweltbedingungen). In *ex-situ* Kulturen werden die Pflanzen aber oft „verwöhnt“, sie werden mit Wasser und genügend Nährstoffen versorgt und sogar von lästiger Konkurrenz oder Frassfeinden befreit. Dadurch können auch Individuen bestehen, welche normalerweise aufgrund von schädlichen Mutationen gestorben wären. Mutationen können sich somit in der Population anreichern und theoretisch, wenn die Pflanzen wieder angesiedelt werden, den Ansiedlungserfolg verringern.

Empfehlungen zur Vorbeugung der Risiken durch Mutationsakkumulierung : eine der wichtigsten Regeln ist die Anzahl der Generationen in *ex situ*-Kultur so klein wie möglich zu halten. Dies gilt auch zur Risikoverminderung durch Inzuchtdepression und genetische Drift. Ausserdem können durch die naturnahe Inkulturnahme in Gärten schädliche Mutationen wieder ausselektiert werden.

4. Empfehlungen zur Ansiedlung gefährdeter Arten an Wildstandorten

Das Wichtigste in Kürze

Lebensraum:	Von grosser Bedeutung für eine erfolgreiche Ansiedlung ist die Wahl eines geeigneten Lebensraumes - die ökologischen Bedingungen entsprechen denen der ursprünglichen Population.
Vielfalt:	Die angesiedelte Population sollte von mindestens 50 genetisch repräsentativen Pflanzen abstammen.
Individuen:	Idealerweise werden 500 oder mehr Individuen ausgebracht.
Herkunft:	Je nach vorhandenem Material, können Samen aus möglichst nahe gelegenen und ähnlichen Populationen vermischt werden.
Ziel	Einen möglichst repräsentativen Genpool ausbringen und die genetische Vielfalt der angesiedelten Population fördern.

Ansiedlungen gefährdeter Pflanzenarten werden als immer wichtigere Massnahmen für den Erhalt der Biodiversität propagiert. Ansiedlungen sind je nach dem eine interessante Ergänzung zu den

Artenschutzmassnahmen *in situ*. Die Priorität im Naturschutz liegt in der *in situ*-Erhaltung so vieler natürlicher Populationen wie nur möglich in ihren ursprünglichen Habitaten. Ansiedlungen können allerdings als ergänzende Massnahme sehr sinnvoll sein um den Rückgang der Biodiversität aufzuhalten.

Spricht man von Ansiedlungen, muss man zwischen Verstärkungen, Wiederansiedlungen und Neu-Ansiedlungen unterscheiden (siehe auch die IUCN Guidelines).

Verstärkung:	Ansiedlung von Individuen in eine bestehende Population.
Wiederansiedlung:	Gründung einer neuen Population innerhalb des historischen Verbreitungsgebietes.
Neuansiedlung:	Gründung einer neuen Population ausserhalb des historischen Verbreitungsgebietes.

4.1 Wann sollen Ansiedlungen durchgeführt werden?

- Es gibt nur noch wenige Populationen einer Art, die Populationen und die Individuenzahl innerhalb der Populationen befinden sich im Rückgang.
- In situ Massnahmen wurden unternommen und als nicht ausreichend für die langzeitige Erhaltung der Art befunden. Demnach besteht das Risiko, dass die Art ohne begleitende Erhaltung ausstirbt.
- Die Gefahren und Gründe des Rückgangs sind bekannt und können nicht durch in situ Massnahmen aufgehalten werden.
- Die Art hat ein hohes Aussterberisiko wenn sie nur mit in situ-Massnahmen unterstützt wird.
- Die Art ist gut von anderen nahverwandten Arten, Unterarten zu unterscheiden. Eine Hybridisierung durch Einbringung „falsche“ Individuen kann ausgeschlossen werden.

4.2 Was sollte man vor einer Ansiedlung wissen?

- Die Ansprüche der Art an das Habitat müssen bekannt sein, dazu gehören die Vergesellschaftung mit anderen Arten und die ökologischen Bedürfnisse. Vegetationsaufnahmen, mikro-klimatische Faktoren, Bodenparameter usw. sind Informationen die notwendig sind um geeignete Habitate für Ansiedlungen zu finden.
- Die Fortpflanzungsbiologie muss bekannt sein. Kann sich die Art selbst bestäuben? Oder ist sie selbstinkompatibel und auf Auskreuzung angewiesen? Dies beeinflusst stark das Ansiedlungsmaterial.
- Ist die Art mehrjährig oder einjährig? Dies entscheidet über die Einbringung von Samen oder adulten Pflanzen - bei mehrjährigen Arten scheint die Ansiedlung adulter Pflanzen erfolgreicher zu sein, bei annuellen Pflanzen erzielt man ebenfalls gute Resultate, wenn diese als Samen angesiedelt werden.
- Ist die Art diözisch? Dies beeinflusst das Auspflanzungsdesign. Männliche und weibliche Individuen sollten nah zu einander gepflanzt werden.
- Benötigt die Art spezielle Mutualisten? Zum Beispiel können viele Orchideen nicht ohne spezifische Mykorrhizapilze wachsen. Eventuell ist eine Inokulierung mit Boden-organismen notwendig.

4.3 Auswahl eines geeigneten Habitats

Die häufigste Ursache für eine gescheiterte Ansiedlung (Wiederansiedlung) ist ein nicht geeignetes Habitat. Deshalb ist es für den Ansiedlungserfolg besonders wichtig, die Eignung eines Habitats sicher zu beurteilen – eine Aufgabe die oft schwierig ist. Biologie und Ökologie der betreffenden Art, sowie die ökologischen Bedingungen der ursprünglichen, besammelten Population und des ausgesuchten Wildstandortes für die Ansiedlung müssen genauestens bekannt sein.

4.4 Viele Individuen ansiedeln um gegen Umweltschwankungen gewappnet zu sein

Vor allem kleine Populationen können stark durch Umweltschwankungen beeinträchtigt werden. Zudem muss beim Verpflanzen von Individuen sowie beim Aussähen von Samen damit gerechnet werden, dass die Population in den ersten Jahren deutlich abnimmt, sich dann aber nach einem Flaschenhals auch wieder erholen kann. Dabei sind Populationseinbrüche von bis zu 90 % nicht ungewöhnlich. Deshalb ist es so wichtig, möglichst viele Individuen auszubringen, um das Überleben der Population zu sichern. Eine grosse Individuenzahl vergrössert auch die Chance, dass unter den vielen verschiedenen Genotypen sich nicht angepasste ausselektionieren, und angepasste sich etablieren können.

Es ist jedoch oft schwierig eine Anzahl Individuen für Ansiedlungen zu empfehlen. Je nach Art und Lebensraum werden mehr oder weniger Individuen benötigt, um eine eigenständige Population zu gewährleisten. **Ein paar Faustregeln gibt es aber doch:**

- die neugegründete Population sollte mindestens 500 Individuen beinhalten,
- die Individuen sollten von mindestens 50 repräsentativen Pflanzen abstammen, idealerweise mehr (> 180),
- ist der Lebensraum sehr variabel, braucht man mehr Individuen als in stabilen Lebensräumen.

Werden Pflanzen anstelle von Samen ausgebracht, scheint dies vor allem für langlebige Arten von Vorteil zu sein, da bei diesen die Wahrscheinlichkeit, dass ein Same zur adulten Pflanze wird, oft geringer ist. Eine adulte Pflanze macht viele Samen, und trägt somit stärker zum Populationswachstum bei als ein Same, der womöglich den adulten Status nicht erreicht. Je älter eine Pflanze wird (Alter der ersten Reproduktion) desto mehr Samen werden benötigt um eine ausreichende Anzahl adulter Individuen im Naturstandort zu erhalten und somit eine selbsterhaltende Population zu gründen. Für kurzlebige, z.B. annuelle Arten ist der extra Aufwand des Pflanzen Aufziehens und Auspflanzens nicht zwingend notwendig.

4.5 Auswahl des Pflanzenmaterials – genetische Diversität und lokale Anpassung

Unzählige Studien unterstreichen die Wichtigkeit einer hohen genetischen Variation für das Überleben von Populationen und demzufolge für den Ansiedlungserfolg gefährdeter Pflanzenarten. Je diverser eine Population ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich diese an sich verändernde Umweltbedingungen anpassen kann, eine Eigenschaft, die besonders vor dem Hintergrund des derzeitigen Klimawandels zunehmend an Bedeutung gewinnt. Zudem schützt eine hohe genetische Variation vor Inzucht. **Eine grössere genetische Variation kann durch das Mischen von Pflanzenmaterial verschiedener Populationen erreicht werden.**

Allerdings besteht oft die Sorge, dass durch das Mischen verschiedener, eventuell sogar entfernt liegender Populationen Pflanzenmaterial eingebracht wird, welches nicht an die lokalen Umweltbedingungen angepasst ist. Vor allem bei Verstärkungen von sich im Rückgang befindenden

Populationen mit Pflanzenmaterial aus anderen Populationen, könnten so lokale Anpassungen aufgebrochen werden und die Situation für die gefährdete lokale Population noch schlimmer gemacht werden. Dieses Phänomen nennt man **Auszuchtdepression**, und konnte bisher vor allem bei der Einbringung von Material aus sehr weit entfernt liegenden Populationen (mehr als 200 km) festgestellt werden. Der derzeitige Kenntnisstand lässt allerdings vermuten, dass die Risiken von **Inzuchtdepression** viel grösser sind als die der Auszuchtdepression. Da jedoch sowohl Inzuchtdepression als auch eine fehlende Anpassung an das Habitat das Überleben einer Population beeinflussen, sollte vor jeder Ansiedlung die Wahl der Herkunft des Materials gut überlegt sein. **Stark differenzierte Populationen, z.B. Populationen, welche geografisch sehr weit voneinander entfernt sind, oder welche deutlich andere Habitateigenschaften aufweisen, sollten nicht gemischt werden.**

5. Welches Material sollte letztendlich verwendet werden?

Das verwendete Material bestimmt den Erfolg der Ansiedlung mit! Idealerweise sollte das angesiedelte Material den lokalen Umweltbedingungen entsprechen, den lokalen Genpool widerspiegeln und zugleich eine genetisch diverse Population repräsentieren.

5.1 Angepasstes Material verwenden

Unzählige Studien zeigen, dass die Pflanzen an ihre abiotischen und biotischen Bedingungen angepasst sind.

- Das verwendete Material soll aus Populationen mit ähnlichem Klima, Umweltbedingungen, und ähnlichen Habitaten stammen. Oft trifft dies auf benachbarte Populationen zu.
- Vermutet man sehr starke lokale Anpassung, zum Beispiel an Schwermetalle im Boden, empfiehlt es sich nur lokales Material zu verwenden.

5.2 Diverses Material verwenden

Eine hohe genetische Variation des auszupflanzenden Materials ist wichtig um eine rasche Anpassung an die lokalen und zukünftigen Bedingungen zu garantieren. Deshalb sollte möglichst der gesamte Genpool einer besammelten Population im Ansiedlungsmaterial vertreten sein (siehe auch die Empfehlungen zum Sammeln von Samen).

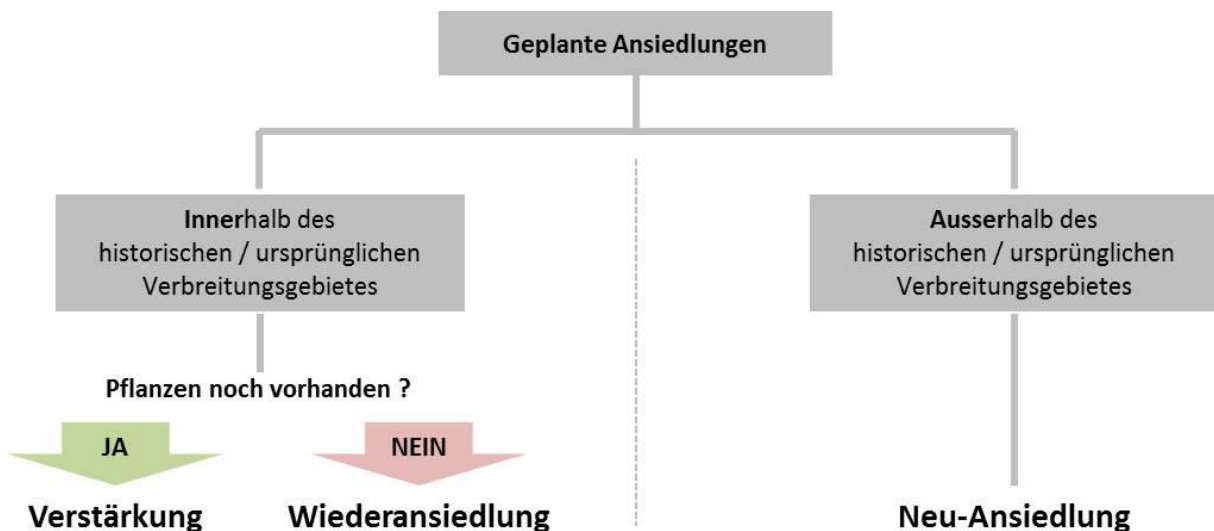
Traditionellerweise wurde bisher empfohlen bei Ansiedlungen nur Material einer Population zu verwenden sofern keine Informationen über das Fortpflanzungssystem, Ausbreitung und genetische Struktur bekannt sind welche ein Mischen verschiedener Populationen rechtfertigen würden. **Neue Studien weisen allerdings darauf hin, dass eine möglichst grosse genetische Variation von Pflanzen verschiedener Populationen zu besseren Ansiedlungserfolgen führt.** Obschon ebenfalls Beispiele für eine höhere Erfolgsrate durch die Verwendung lokalen Materials existieren, scheint im Hinblick auf den Einfluss des Klimawandels und die damit eintretenden Veränderungen ein Mischen von Herkünften von Vorteil, um der angesiedelten Population eine Möglichkeit zur Anpassung an zukünftige Bedingungen zugeben. Die Einbringung von Pflanzenmaterial aus mehreren benachbarten Populationen, **welche aus ähnlichen Habitaten stammen**, scheint demzufolge sinnvoll zu sein.

5.3 Weitere praktische Tipps bei Ansiedlungen

- Bei mehrjährigen Arten ist die Erfolgsquote höher, wenn Pflanzen anstelle von Samen ausgebracht werden.
- Bei langlebigen Arten sollten Individuen unterschiedlicher Grösse und Lebenszyklus, also Keimlinge, juvenile und adulte Pflanzen ausgebracht werden.
- Sind nur wenige Samen vorhanden, empfiehlt sich unbedingt das Vorziehen der Pflanzen und eventuell das Vervielfachen der Individuen in einem zweiten Vermehrungszyklus. Diese sollten möglichst als adulte Pflanzen ausgebracht werden, da somit die Überlebenschancen gesteigert werden.
- Bei annuellen Pflanzen (oder sehr kurzlebigen Pflanzen) ist die Ausbringung von Samen sinnvoll.
- Idealerweise sollten Ansiedlungen in mehreren hintereinanderliegenden Jahren durchgeführt werden um möglichst viel ausgebrachte genetischen Variation zu erhalten – Jahresschwankungen in klimatischen Bedingungen fördern jeweils unterschiedliche Genotypen.
- Generell empfiehlt sich eine Bewässerung der Pflanzen nach der Ausbringung bis sich diese etabliert haben. Werden Samen ausgebracht (z.B. bei annuellen Pflanzen) empfiehlt sich eine zusätzliche Bewässerung in der Keimungsphase und ein Bewässerungsprotokoll, um die Erfolgsquote für zukünftige Ansiedlungen zu optimieren.

6. Die Empfehlungen der IUCN

Die IUCN oder Weltnaturschutzunion, hat ihre Empfehlungen zu Ansiedlungen – Guidelines for reintroductions and other conservation translocations – im 2013 überarbeitet. Ansiedlungen lassen sich in drei Bereiche unterteilen: Verstärkungen, Wiederansiedlungen und Neu-Ansiedlungen.



Bei den geplanten Ansiedlungen (=conservation translocation) von Arten, welche das Ziel verfolgen den Gefährdungsgrad der Art zu mindern oder die Funktionen des Lebensraumes wiederherzustellen, unterscheidet man zwischen Ansiedlungen **innerhalb** des historischen Verbreitungsgebietes

(=population restoration) und **ausserhalb** des historischen Verbreitungsgebietes (=conservation introduction).

Die geplanten Ansiedlungen innerhalb des historischen Verbreitungsgebietes werden unterteilt in **Verstärkungen** (=reinforcement) und **Wiederansiedlungen** (=reintroduction). Bei Verstärkungen wird eine bestehende Population mit zusätzlichen Individuen verstärkt, bei Wiederansiedlungen wird eine neue Population im ursprünglichen Verbreitungsgebiet gegründet.

Neu-Ansiedlungen oder geplante Ansiedlungen ausserhalb des historischen Verbreitungsgebietes werden in zwei Bereiche unterteilt. Man spricht von "**assisted colonisation**" oder "begleitender Kolonisation" wenn die Neu-Ansiedlung das Aussterben der Art verhindert, und von "**ecological replacement**" oder "ökologischer Ersatz" wenn die Neu-Ansiedlung eine ökologische Funktion wiederherstellt.

Wichtige Links

<https://www.cbd.int/gspc/>

<https://www.cbd.int/>

<https://www.iucn.org/theme/species/publications/guidelines>

<https://www.bgci.org/resources/article/0683/>

<https://www.bgci.org/plant-conservation/seedconservation/>

Literaturhinweise

Evaluation der eigenen Ex situ-Kulturen:

Cavender N, Westwood M, Bechtoldt C et al. (2015) Strengthening the conservation value of ex situ tree collections. *Oryx*, 1–9.

Cibrian-Jaramillo A, Hird A, Oleas N, Ma H, Meerow AW, Francisco-Ortega J, Griffith MP (2013) What is the Conservation Value of a Plant in a Botanic Garden? Using Indicators to Improve Management of Ex Situ Collections. *The Botanical Review*, 79, 559–577.

Havens K, Vitt P, Maunder M, Guerrant, E.O.G., Dixon K (2006) Ex Situ Plant Conservation and Beyond. *BioScience*, 56, 525–532.

Auswahl der Arten für ex-situ Erhaltung:

Cires E, De Smet Y, Cuesta C et al. (2013) Gap analyses to support ex situ conservation of genetic diversity in Magnolia, a flagship group. *Biodiversity and Conservation*, 22, 567–590.

Farnsworth EJ, Klionsky S, Brumback WE, Havens K (2006) A set of simple decision matrices for prioritizing collection of rare plant species for ex situ conservation. *Biological Conservation*, 128, 1–12.

Griffiths KE, Balding ST, Dickie JB, Lewis GP, Pearce TR, Grenyer R (2014) Maximizing the Phylogenetic Diversity of Seed Banks. *Conservation Biology*, 29,70-81.

Sammeldesign von Wildsammlungen für ex situ-Erhaltungen

Bower AD, Clair B St., Erickson V (2014) Generalized provisional seed zones for native plants. *Ecological Applications*, 23, 515–522.

Breed MF, Stead MG, Ottewell KM, Gardner MG, Lowe AJ (2012) Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conservation Genetics*, 14, 1–10.

Broadhurst LM, Lowe A, Coates DJ, Cunningham S a., McDonald M, Veski P a., Yates C (2008) Seed supply for broadscale restoration: maximizing evolutionary potential. *Evolutionary Applications*, 587–597.

Caujapé-Castells J, Pedrola-Monfort J (2004) Designing ex-situ conservation strategies through the assessment of neutral genetic markers : Application to the endangered *Androcymbium gramineum*. *Conservation Genetics*, 5, 131–144.

Guerrant EO, Fiedler PL, Havens K, Maunder M (2004) Revised genetic sampling guidelines for conservation collections of rare and endangered plants. In: *Ex Situ Plant Conservation: Supporting Species Survival in the Wild*, pp. 419–441. Island Press, Washington.

Guerrant EO, Havens K, Vitt P (2014) Sampling for Effective Ex Situ Plant Conservation. *International Journal of Plant Sciences*, 175, 11–20.

Havens K, Vitt P, Still S, Kramer AT, Fant JB, Schatz K (2015) Seed sourcing for restoration in an era of climate change. *Natural Areas Journal*, 35, 122–133.

Hoban S, Schlarbaum S (2014) Optimal sampling of seeds from plant populations for ex-situ conservation of genetic biodiversity, considering realistic population structure. *Biological Conservation*, 177, 90–99.

Malaval S, Lauga B, Regnault-Roger C, Largier G (2010) Combined definition of seed transfer guidelines for ecological restoration in the French Pyrenees. *Applied Vegetation Science*, 13, 113–124.

Vander Mijnsbrugge K, Bischoff A, Smith B (2010) A question of origin: Where and how to collect seed for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology*, 11, 300–311.

Prasse R, Kunzmann D, Schröder R (2010) Entwicklung und praktische Umsetzung naturschutzfachlicher Mindestanforderungen an einen Herkunftsnachweis für gebietseigenes Wildpflanzensaatgut krautiger Pflanzen. Abschluss Bericht: DBU Projekt 23931, Leibniz Universität Hannover.

Saura M, Perez-Figueroa, Fernandez J, Caballero A (2008) Preserving population allele frequencies in ex situ programs. *Conservation Biology*, 22, 1277–1287.

Vitt P, Havens K, Kramer AT, Sollenberger D, Yates E (2010) Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biological Conservation*, 143, 18–27.

Zippel E (2009) ENSCONET Protokolle und & Empfehlungen für Saatgutbanken (Deutsche Fassung des ENSCONET Curation Protocols & Recommendations), Royal Botanic Garden Kew, London.

Fallbeispiele Genetische Variabilität in Ex-situ Kulturen und Samenbanken

Borner A, Chebotar S, Korzun V (2000) Molecular characterization of the genetic integrity of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm after long-term maintenance. *Theoretical and Applied Genetics*, 100, 494–497.

Brütting C, Hensen I, Wesche K (2012) Ex situ cultivation affects genetic structure and diversity in arable plants. *Plant Biology*, 15, 1–9.

Chebotar S, Röder MS, Korzun V, Saal B, Weber WE, Börner A (2003) Molecular studies on genetic integrity of open-pollinating species rye (*Secale cereale* L.) after long-term genebank maintenance. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 1469–76.

Christe C, Kozłowski G, Frey D et al. (2014) Do living ex situ collections capture the genetic variation of wild populations? A molecular analysis of two relict tree species, *Zelkova abelica* and *Zelkova carpinifolia*. *Biodiversity and Conservation*, 23, 2945-2959.

Ensslin A, Sandner TM, Matthies D (2011) Consequences of ex situ cultivation of plants: Genetic diversity, fitness and adaptation of the monocarpic *Cynoglossum officinale* L. in botanic gardens. *Biological Conservation*, 144, 272–278.

Gómez OJ, Blair MW, Frankow-Lindberg BE, Gullberg U (2005) Comparative Study of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces Conserved ex situ in Genebanks and in situ by Farmers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52, 371–380.

Greene SL, Kisha TJ, Yu L-X, Parra-Quijano M (2014) Conserving plants in gene banks and nature: investigating complementarity with *Trifolium thompsonii* Morton. *PloS one*, 9, e105145.

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). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 168, 64–75.

Li Q, Xu Z, He T (2002) Ex situ genetic conservation of endangered *Vatica guangxiensis* (Dipterocarpaceae) in China. *Biological Conservation*, 106, 151–156.

Miao Y, Su J, Zhang Z, Lang X, Liu W, Li S (2015) Microsatellite markers indicate genetic differences between cultivated and natural populations of endangered *Taxus yunnanensis*. *Botanical Journal of the Linnean Society*.

Namoff S, Husby CE, Francisco-ortega J, Noblick LR, Lewis CE, Griffith MP (2010) How well does a botanical garden collection of a rare palm capture the genetic variation in a wild population? *Biological Conservation*, 143, 1110–1117.

Del Rio AH, Bamberg JB, Huamann Z, Salas A, Vega SE (1997) Assessing changes in the genetic diversity of potato gene banks . 2 . In situ vs ex situ. *Theoretical and Applied Genetics (TAG)*, 199–204.

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. *Biodiversity and Conservation*, 20, 401–413.

Yokogawa M, Kaneko S, Takahashi Y, Isagi Y (2013) Genetic consequences of rapid population decline and restoration of the critically endangered herb *Polemonium kiushianum*. *Biological Conservation*, 157, 401–408.

Management von Ex-situ Kulturen

Basey A, Fant JB, Kramer A (2015) Producing native plant materials for restoration: ten rules to maximize genetic diversity. *Native Plants Journal*, 16, 37–52.

Ensslin, A, Tschöpe, O, Burkart, M & Joshi, J (2015) Fitness decline and adaptation to novel environments in ex situ plant collections: Current knowledge and future perspectives. *Biological Conservation*, 192, 394–401.

Guerrant EO, Fiedler PL (2004) Accounting for sample decline during ex situ storage and reintroduction. In: *Ex Situ Plant Conservation: Supporting Species Survival in the Wild* (eds Guerrant EO, Havens K, Maunder M), pp. 365–386. Island Press, Washington.

Hamilton NRS, Chorlton KH (1996) Regeneration of accessions in seed collections: a decision guide. *Handbook for Genebanks No. 5*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

Havens K, Guerrant EO, Maunder M, Vitt P (2004) Guidelines for ex situ conservation collection management. Minimizing risks. In: *Ex Situ Plant Conservation: Supporting Species Survival in the Wild* (eds Guerrant EO, Havens K, Maunder M), pp. 454–473. Island Press, Washington.

Lauterbach D (2013) Ex situ-Kulturen gefährdeter Wildpflanzen – Populationsgenetische Aspekte und Empfehlungen für Besammlungen, Kultivierung und Wiederausbringung. *Anliegen Natur*, 35, 32–39.

Lawrence MJ (2002) A comprehensive collection and regeneration strategy for ex situ conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59576, 1–11.

Fallbeispiele Auswirkungen von Ex-situ Erhaltung auf Fitness und Phänotyp

Ensslin A, Sandner TM, Matthies D (2011) Consequences of ex situ cultivation of plants: Genetic diversity, fitness and adaptation of the monocarpic *Cynoglossum officinale* L. in botanic gardens. *Biological Conservation*, 144, 272–278.

Schröder R, Prasse R (2013) From nursery into nature: A study on performance of cultivated varieties of native plants used in re-vegetation, their wild relatives and evolving wild × cultivar hybrids. *Ecological Engineering*, 60, 428–437.

Schröder R, Graf MD, Jochum J, Rode G, Schemmel J (2013) Testing the Effects of a Regionalized Seed Production on the Germination Behavior of Wild Plant Species. *Ecological Restoration*, 31, 295–301.

Populationsgenetische Risiken bei Ex-situ Erhaltung

Ensslin, A, Tschöpe, O, Burkart, M & Joshi, J (2015) Fitness decline and adaptation to novel environments in ex situ plant collections: Current knowledge and future perspectives. *Biological Conservation*, 192, 394–401.

Frankham R (2008) Genetic adaptation to captivity in species conservation programs. *Molecular ecology*, 17, 325–33.

Frankham R, Manning H, Margan SH, Briscoe DA (2000) Does equalization of family sizes reduce genetic adaptation to captivity? *Heredity*, 357–363.

Hamilton MB (1994) Ex situ conservation of wild plant species: Time to reassess the genetic assumptions and implications of seed banks. *Conservation Biology*, 8, 39–49.

Havens K, Guerrant EO, Maunder M, Vitt P (2004) Guidelines for ex situ conservation collection management. Minimizing risks. In: Ex Situ Plant Conservation: Supporting Species Survival in the Wild (eds Guerrant EO, Havens K, Maunder M), pp. 454–473. Island Press, Washington.

Hufford KM, Mazer SJ (2003) Plant ecotypes: Genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 18, 147–155.

Hurka H, Neuffer B, Friesen N (2004) Plant genetic resources in botanical gardens. *Acta Horticulturae*, 651, 35–44.

Husband BC, Campbell LG (2004) Population responses to novel environments; implications for ex situ plant conservation. In: Ex Situ Plant Conservation: Supporting Species Survival in the Wild (eds Guerrant EO, Havens K, Maunder M), pp. 231–285. Island Press, Washington.

Lauterbach D (2013) Ex situ-Kulturen gefährdeter Wildpflanzen – Populationsgenetische Aspekte und Empfehlungen für Besammlungen, Kultivierung und Wiederausbringung. *Anliegen Natur*, 35, 32–39.

Lesica P, Allendorf FW (1999) Ecological genetics and the restoration of plant communities: Mix or match? *Restoration Ecology*, 7, 42–50.

McKay JK, Christian CE, Harrison S, Rice KJ (2005) “How Local Is Local?”-A review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. *Restoration Ecology*, 13, 432–440.

Montalvo AM, Williams SL, Rice KJ et al. (1997) Restoration Biology: A population biology perspective. *Restoration Ecology*, 5, 277–290.

Schaal BB, Leverich WJ (2004) Population genetic issues in ex situ conservation. In: *Ex Situ Plant Conservation: Supporting Species Survival in the Wild* (eds Guerrant EO, Havens K, Maunder M), pp. 267–285. Island Press, Washington.

Schoen DJ, Brown AHD (2001) The conservation of wild plant species in seed banks. *BioScience*, 51, 960–966.

Schoen DJ, David JL, Bataillon TM (1998) Deleterious mutation accumulation and the regeneration of genetic resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 394–399.

Vitt P, Havens K (2004) Integrating quantitative genetics into ex situ conservation and restoration practices. In: *Ex Situ Plant Conservation: Supporting Species Survival in the Wild* (eds Guerrant EO, Havens K, Maunder M), pp. 286–304. Island Press, Washington.

Weeks AR, Sgro CM, Young AG et al. (2011) Assessing the benefits and risks of translocations in changing environments: a genetic perspective. *Evolutionary Applications*, 4, 709–725.

Empfehlungen für Wiederansiedlungen:

Albrecht MA, Maschinski J (2012) Influence of founder population size, propagule stages, and life history on the survival of reintroduced plant populations. In: *Plant Reintroduction in a Changing Climate: Promises and Perils* (eds Maschinski J, Haskins KE). Island Press, Washington.

Bischoff A, Steinger T, Müller-Schärer H (2010) The importance of plant provenance and genotypic diversity of seed material used for ecological restoration. *Restoration Ecology*, 18, 338–348.

Dalrymple SE, Stewart GB, Pullin AS (2011) Are re-introductions an effective way of mitigating against plant extinctions? *CEE Review*, 07-008, (SR32).

Dalrymple SE, Banks E, Stewart GB, Pullin AS (2012) A meta-analysis of threatened plant reintroductions from across the globe. In: *Plant Reintroduction in a Changing Climate: Promises and Perils* (eds Maschinski J, Haskins KE). Island Press, Washington.

Dorner J (2002) An introduction to using native plants in restoration projects. Plant Conservation Alliance, U.S. Environmental Protection Agency.

Frankham R (2015) Genetic rescue of small inbred populations: meta-analysis reveals large and consistent benefits of gene flow. *Molecular Ecology*, 24, 2610–1618.

Frankham R, Bradshaw CJA, Brook BW (2014) Genetics in conservation management: Revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, 170, 56–63.

Godefroid S, Piazza C, Rossi G et al. (2011) How successful are plant species reintroductions? *Biological Conservation*, 144, 672–682.

Guerrant EO (2013) The value and propriety of reintroduction as a conservation tool for rare plants. *Botany*, 91, v–x.

Hufford KM, Mazer SJ (2003) Plant ecotypes: Genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 18, 147–155.

Kephart SR (2004) Inbreeding and reintroduction: Progeny success in rare *Silene* populations of varied density. *Conservation Genetics*, 5, 49–61.

Knight TM (2012) Using population viability analyses to plan reintroductions. In: *Plant Reintroduction in a Changing Climate: Promises and Perils* (eds Maschinski J, Haskins KE). Island Press, Washington.

Lauterbach D (2013) Ex situ-Kulturen gefährdeter Wildpflanzen – Populationsgenetische Aspekte und Empfehlungen für Besammlungen, Kultivierung und Wiederausbringung. *Anliegen Natur*, 35, 32–39.

Maschinski J, Falk DA, Wright SJ, Possley J, Roncal J, Wendelberger KS (2012) Optimal locations for plant reintroductions in a changing world. In: *Plant Reintroduction in a Changing Climate: Promises and Perils* (eds Maschinski J, Haskins KE). Island Press, Washington.

Maschinski J, Albrecht MA, Monks L, Haskins CE (2012b) Center for plant conservation best reintroduction practice guidelines. In: *Plant Reintroduction in a Changing Climate: Promises and Perils* (eds Maschinski J, Haskins CE), pp. 277–307. Island Press, Washington.

Maschinski J, Wright SJ, Koptur S, Pinto-Torres EC (2013) When is local the best paradigm? Breeding history influences conservation reintroduction survival and population trajectories in times of extreme climate events. *Biological Conservation*, 159, 277–284.

Maunder M (1992) Plant reintroduction : an overview. *Biodiversity and Conservation*, 61, 51–61.

Menges ES (2008) TURNER REVIEW No. 16. Restoration demography and genetics of plants: When is a translocation successful? *Australian Journal of Botany*, 56, 187.

Prasse R, Kunzmann D, Schröder R (2010) Entwicklung und praktische Umsetzung naturschutzfachlicher Mindestanforderungen an einen Herkunftsnachweis für gebietseigenes Wildpflanzensaatgut krautiger Pflanzen. Abschluss Bericht: DBU Projekt 23931, Leibniz Universität Hannover.

Ramp Neale J (2012) Genetic considerations in rare plant reintroduction: Practical Applications (or How are we doing?). In: *Plant Reintroduction in a Changing Climate: Promises and Perils* (eds Maschinski J, Haskins KE), pp. 71–88. Island Press, Washington.

Vergeer P, Sonderen E, Ouborg NJ (2004) Introduction Strategies Put to the Test : Local Adaptation versus Heterosis. *Conservation Biology*, 18, 812–821.

Vergeer P, van den Berg LJJ, Roelofs JGM, Ouborg NJ (2005) Single-family versus multi-family introductions. *Plant Biology*, 7, 509–15.

Vitt P, Havens K, Kramer AT, Sollenberger D, Yates E (2010) Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biological Conservation*, 143, 18–27.

Weeks AR, Sgro CM, Young AG et al. (2011) Assessing the benefits and risks of translocations in changing environments: a genetic perspective. *Evolutionary Applications*, 4, 709–725.

Fallbeispiele Ansiedlungen

Aavik T, Edwards PJ, Holderegger R, Graf R, Billeter R (2012) Genetic consequences of using seed mixtures in restoration: A case study of a wetland plant *Lychnis flos-cuculi*. *Biological Conservation*, 145, 195–204.

Aavik T, Bosshard D, Edwards PJ, Holderegger R, Billeter R (2014) Fitness in Naturally Occurring and Restored Populations of a Grassland Plant *Lychnis flos-cuculi* in a Swiss Agricultural Landscape. *Restoration Ecology*, 22, 98–106.

Baer SG, Gibson DJ, Gustafson DJ et al. (2013) No effect of seed source on multiple aspects of ecosystem functioning during ecological restoration: cultivars compared to local ecotypes of dominant grasses. *Evolutionary Applications*, n/a–n/a.

Baker K, Lambdon P, Jones E et al. (2014) Rescue , ecology and conservation of a rediscovered island endemic fern (*Anogramma ascensionis*): ex situ methodologies and a road map for species reintroduction and habitat restoration. 461–477.

Betz C, Scheuerer M, Reisch C (2013) Population reinforcement – A glimmer of hope for the conservation of the highly endangered Spring Pasque flower (*Pulsatilla vernalis*). *Biological Conservation*, 168, 161–167.

Bischoff A, Vonlanthen B, Steinger T, Müller-Schärer H (2006) Seed provenance matters — Effects on germination of four plant species used for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology*, 7, 347–359.

Bischoff A, Steinger T, Müller-Schärer H (2010) The importance of plant provenance and genotypic diversity of seed material used for ecological restoration. *Restoration Ecology*, 18, 338–348.

Crémieux L, Bischoff A, Müller-Schärer H, Steinger T (2010) Gene flow from foreign provenances into local plant populations: Fitness consequences and implications for biodiversity restoration. *American journal of botany*, 97, 94–100.

Drayton B, Primack RB (2012) Success rates for reintroductions of eight perennial plant species after 15 years. *Restoration Ecology*, 20, 299–303.

Hufford KM, Mazer SJ (2003) Plant ecotypes: Genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 18, 147–155.

Kephart SR (2004) Inbreeding and reintroduction: Progeny success in rare *Silene* populations of varied density. *Conservation Genetics*, 5, 49–61.

Krauss SL, Dixon BOB, Dixon KW (2002) Rapid Genetic Decline in a Translocated Population of the Endangered Plant *Grevillea scapigera*. *Conservation Biology*, 16, 986–994.

Lofflin DL, Kephart SR (2005) Outbreeding, seedling establishment, and maladaptation in natural and reintroduced populations of rare and common *Silene douglasii* (Caryophyllaceae). *American Journal of Botany*, 92, 1691–1700.

Maschinski J, Wright SJ, Koptur S, Pinto-Torres EC (2013) When is local the best paradigm? Breeding history influences conservation reintroduction survival and population trajectories in times of extreme climate events. *Biological Conservation*, 159, 277–284.

Maurice A-C, Abdelkrim J, Cisel M et al. (2013) Mixing plants from different origins to restore a declining population: ecological outcomes and local perceptions 10 years later. *PLoS one*, 8, e50934.

Noël F, Prati D, van Kleunen M, Gyax A, Moser D, Fischer M (2011) Establishment success of 25 rare wetland species introduced into restored habitats is best predicted by ecological distance to source habitats. *Biological Conservation*, 144, 602–609.

Raabová J, Münzbergová Z, Fischer M (2007) Ecological rather than geographic or genetic distance affects local adaptation of the rare perennial herb, *Aster amellus*. *Biological Conservation*, 139, 348–357.

Schröder R, Prasse R (2013) From nursery into nature: A study on performance of cultivated varieties of native plants used in re-vegetation, their wild relatives and evolving wild × cultivar hybrids. *Ecological Engineering*, 60, 428–437.

Vergeer P, Sonderen E, Ouborg NJ (2004) Introduction Strategies Put to the Test : Local Adaptation versus Heterosis. *Conservation Biology*, 18, 812–821.

Vergeer P, van den Berg LJJ, Roelofs JGM, Ouborg NJ (2005) Single-family versus multi-family introductions. *Plant Biology*, 7, 509–15.

Internationale Dokumente

Wyse Jackson PS, Sutherland LA (2000) International Agenda for Botanic Gardens in Conservation. Botanic Gardens Conservation International (BGCI), Richmond, UK.

BGCI (2012) International Agenda for Botanic Gardens in Conservation: 2nd edition. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, UK.

BGCI (2014) Building living plant collections to support conservation: A guide for public gardens. 1-4 pp.

CBD (2011) Decisions adopted by the conference of the parties to the convention of biological diversity at its tenth meeting. 82–353.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD) (2002) Global Strategy for Plant Conservation. <http://www.cbd.int/doc/publications/pc-brochure-en.pdf> (accessed January 2010).

Populationsgenetische Grundlagen

Brown A.D.H. (1992) Human Impact on Plant Gene Pools and Sampling for Their Conservation Human impact on plant gene pools and sampling for their conservation. *OIKOS*, 63, 109–118.

Ellstrand NC, Elam DR (1993) Population genetic consequences of small population size: Implications for plant conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24, 217–242.

Falk DA, Holsinger KE (1991) Genetics and the conservation of rare plants. Oxford University Press, Oxford.

Frankham R (1999) Quantitative genetics in conservation biology. *Genetical Research*, 74, 237–44.

Kawecki TJ, Ebert D (2004) Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, 7, 1225–1241.

Leimu R, Fischer M (2008) A meta-analysis of local adaptation in plants. *PLoS One*, 3, 1–8.

Leimu R, Mutikainen PIA, Koricheva J, Fischer M (2006) How general are positive relationships between plant population size, fitness and genetic variation? *Journal of Ecology*, 94, 942–952.

Reed DH, Frankham R (2003) Correlation between Fitness and Genetic Diversity. *Conservation Biology*, 17, 230–237.

Willi Y, Van Buskirk J, Hoffmann AA (2006) Limits to the Adaptive Potential of Small Populations. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*.

Young A, Boyle T, Brown T (1996) The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 5347, 413–418.