©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen
Band 33/34, S. 177 – 195, 2008

Schutz und Erhalt pflanzengenetischer Vielfalt: In situ- und Ex situ-Maßnahmen

Herbert Hurka, Nikolai Friesen, Peter Borgmann und Barbara Neuffer

Kurzfassung: Die ökologische, ökonomische und kulturelle Bedeutung von Wildpflanzenarten und deren Potential an genetischen Ressourcen werden immer offensichtlicher. Aber unsere Biosphäre verändert sich zunehmend drastischer, wodurch die natürliche Artenvielfalt stark bedroht ist. Die „Convention on Biological Diversity" (CBD) hat sich ein Aufhalten des Biodiversitätsverlustes zum Ziel gesetzt. In situ-Maßnahmen wird dabei eine hohe Priorität zugesprochen, aber Ex situ-Maßnahmen werden immer dringender und dies insbesondere hinsichtlich des Erhalts genetischer Variabilität auf Populationsebene. Botanische Gärten sind durch ihre traditionell großen Sammlungen und Ausstellungen als Standardinstitutionen für eine Ex situ-Erhaltung prädestiniert. Aber der Wert und die Bedeutung dieser Sammlungen für den Erhalt der natürlichen genetischen Variabilität bleibt de facto beschränkt. Wir plädieren daher mit Nachdruck für Saatgutgenbanken für Wildpflanzen. Diese Vorgehensweise wird in mehreren Ländern bereits herangezogen - in Deutschland aber nicht. Saatgutgenbanken sind die einfachste und preisgünstigste Ex situ-Strategie zum Erhalt der pflanzengenetischen Vielfalt. Saatgutgenbanken für Wildpflanzen haben das Ziel, natürliche pflanzengenetische Ressourcen zu schützen und zu erhalten. In Kombination mit In situ-Maßnahmen haben sie große Bedeutung für den Naturschutz, z.B. im Rahmen von Wiederbesiedlungsmaßnahmen.

Summary: The world is facing a dramatic change of the biosphere. Habitat loss, climate change, pollution, and biological invasions are regarded as greatest threat for biodiversity. To stop the current loss of biodiversity is a matter of worldwide concern, and is the goal of the Convention on Biological Diversity (CBD, 1992). Priority is given to in situ measures against species decline, however should be supported by ex situ conservation, and in the light of the ever increasing loss of biodiversity, ex situ measures are becoming more and more urgent, especially when protecting genetic variation at the population level. There is growing awareness of the ecological, economic and cultural significance of wild plant species and their potential as genetic resources. Botanic gardens are the standard institutions for ex situ conservation. With their huge collections on display botanical gardens are the most effective multipliers for increasing public awareness of the value of biodiversity and conservation needs. However, there are limitations which reduce the value of the collections of the botanical gardens for conservation of genetic variability. We therefore strongly argue for seed gene banks of wild plants, a strategy which has been already adopted in several countries but not in Germany. Seed gene banks are the easiest and least expensive way for preserving plant genetic variability. The aim of seed gene banks for indigenous wild plants are protection and conservation of natural plant genetic resources and promoting integrated ex situ and in situ conservation efforts e.g. for reintroduction strategies.

Keywords: in situ conservation, ex situ conservation, wild crop relatives (CWR), seed gene bank, plant genetic resources, conservation strategies.

Autoren:
Herbert Hurka, Nikolai Friesen, Peter Borgmann, Botanischer Garten der Universität Osnabrück, Albrechtstr. 29. 49076 Osnabrück; E-Mail: hurka@biologie.uni-osnabrueck.de
Barbara Neuffer, Spezielle Botanik, Universität Osnabrück, Barbarastr.11, 49076 Osnabrück, E-Mail: neuffer@biologie.uni-osnabrueck.de

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

1 Einleitung

Die Begriffe „Biodiversität" und „Nachhaltigkeit" sind heute Schlüsselbegriffe – aber auch Modeworte - in Wissenschaft und Politik. Der derzeitige Umbau der Biosphäre ist mit einem erheblichen Schwund der unverzichtbaren aber begrenzten Ressource Biodiversität verbunden. Hohe Aussterberaten und die Zerstörung ganzer Ökosysteme gefährden die Funktionsfähigkeit der Biosphäre. Als größte Bedrohung für die Artenvielfalt in den nächsten 100 Jahren gelten Habitatsveränderungen durch Landnutzung, gefolgt vom Klimawandel (zu letzterem Walther 2008). Stickstoffüberdüngung und invasive Arten sind weitere Hauptfaktoren für den Verlust der biologischen Vielfalt (Stuart Chapin et al. 2000). Maßnahmen zur Erhaltung der Biodiversität sind angesichts der fortschreitenden Zerstörung unserer Umwelt unumgänglich und Diskussionen hierüber von besonders hoher Aktualität. Niemand wird widersprechen, dass Biodiversität in ihrer Gesamtheit in situ, durch den Schutz von Habitaten und Ökosystemen, erhalten werden sollte. Daher genießen In situ – Maßnahmen im Naturschutz höchste Priorität. Das ist auch die Botschaft der Biodiversitätskonvention (Übereinkommen über die biologische Vielfalt – Convention on Biological Diversity, CBD 1992). Dort heißt es in Artikel 9, dass Ex situ -Maßnahmen in erster Linie zur Ergänzung der In situ-Maßnahmen zu ergreifen sind. Der Schwerpunkt wird eindeutig auf In situ-Maßnahmen gelegt. Wie realistisch ist dieses Szenario aber? Umweltbedingungen und das politische Umfeld für einen erfolgreichen In situ-Schutz haben sich in den letzten Jahren rapide verschlechtert. Den Verlust der Artenvielfalt aufzuhalten, wird extrem schwierig sein. Der traditionelle Ansatz, einfach Schutzgebiete auszuweisen, reicht nicht mehr aus. Dynamischere Strategien müssen entwickelt werden und mit angemessenen Ex situ-Erhaltungsmaßnahmen kombiniert werden. Den Ex situ-Maßnahmen kommt daher zunehmend größere Bedeutung zu. Im Naturschutz und zur Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen wird daher heute ein integrativer Ansatz verfolgt, der In situ- und Ex situ-Maßnahmen beinhaltet (GSPC 2002; BMVEL 2002; Guerrant et al. 2004; Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt 2007).

Ziel des vorliegenden Aufsatzes ist es, insbesondere die Rolle der Botanischen Gärten und von Saatgut-Genbanken für Schutz und Erhalt der pflanzlichen Diversität aufzuzeigen.

2 Hauptteil

2.1 In situ- und Ex situ-Maßnahmen

Nach Schätzungen der FAO sind im Laufe des letzten Jahrhunderts weltweit etwa 75% der genetischen Variabilität der Kulturpflanzen verloren gegangen, und auch der Verlust der Wildarten ist erschreckend. Zwar sind verlässliche Schätzungen über die Geschwindigkeit, mit der die biologische Vielfalt auf unserem Planeten abnimmt, nicht möglich, aber es herrscht Übereinstimmung, dass die Aussterberate heute Hunderte, wenn nicht gar Tausende Mal höher liegt als die natürliche Aussterberate der letzen 600 Millionen Jahre. Der derzeitige Artenverlust geht mit einer Geschwindigkeit vor sich, wie sie in der Erdgeschichte bisher ohne Beispiel war (Gerhardt-Dircksen & Hurka 2005).

Zum Schutz und Erhalt der biologischen Vielfalt und ihrer genetischen Ressourcen dienen Ex situ- und In situ-Maßnahmen. In situ-Erhaltung wird in der CBD (1992) definiert als„die Erhaltung von Ökosystemen und natürlichen Lebensräumen sowie die Bewahrung und Wiederherstellung lebensfähiger Populationen von Arten in ihrer natürlichen Umgebung und – im Falle domestizierter oder gezüchteter Arten – in der Umgebung, in der sie ihre besonderen Eigenschaften entwickelt haben". Unter Ex situ-Erhaltung wird die „Erhaltung von Bestandteilen der biologischen Vielfalt außerhalb ihrer natürlichen Lebensräume" verstanden (CBD 1992). In

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Tab. 1 sind verschiedene Ex situ- und In situ-Maßnahmen aufgeführt.

In Bezug auf Pflanzen ist die Kultivierung in Botanischen Gärten eine klassische und sicherlich einer der ältesten Ex situ-Strategien überhaupt. Für den Ex situ-Erhalt der pflanzengenetischen Vielfalt sind Saatgut-Genbanken wohl die wichtigste Ex situ-Erhaltungsmaßnahme. Unter dem Stichwort „DNA banking" ziehen neuerdings auch DNA-Genbanken Aufmerksamkeit auf sich, haben aber eine andere Zielsetzung (s. Gemeinholzer 2008).

2.2 Biodiversität und pflanzengenetische Ressourcen

Die biologische Vielfalt oder Biodiversität weist verschiedene Ebenen auf. Im einfachsten Falle wird Biodiversität durch die Anzahl der Arten auf einer ausgewiesenen Fläche oder in einem bestimmten Areal beschrieben. Zur Biodiversität zählen aber auch die Vielfalt der Habitate, die Vielfalt der Ökosysteme und die Komplexität ökologischer Wechselwirkungen. Entsprechend den Definitionen im „Übereinkommen über die Biologische Vielfalt" (CBD 1992) umfasst Biodiversität die Gesamtheit der Gene, der Organismen und der Arten sowie die Vielfalt in den Populationen, Lebensgemeinschaften, Habitaten und Ökosystemen. Funktionen und Nutzungspotentiale der Biodiversität sind angesichts des fortscheitenden Verlustes von Arten und ihren Lebensräumen sowie des gegenwärtigen globalen Wandels („global change") zu einer zentralen Frage weit über die Biologie hinaus geworden. Der Verlust der biologischen Vielfalt stellt eine ernste Bedrohung für die menschliche Entwicklung dar, wobei der Verlust genetisch unterschiedliche Populationen innerhalb einzelner Arten ein ebenso wichtiges Problem darstellt wie das Aussterben der ganzen Art.

Die natürliche Artenvielfalt enthält genetische Ressourcen, die ökologische, wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung haben. Die CBD definiert genetische Ressourcen als „genetisches Material von tatsächlichem oder potentiellen Wert". Genetisches Material wird definiert als „jedes Material pflanzlichen, tierischen, mikrobiellen oder sonstigen Ursprungs, das funktionale Erbeinheiten enthält" (CBD 1992, Artikel 2). Pflanzengenetische Ressourcen (PGR) werden von der FAO definiert als Pflanzen oder Teile von Pflanzen, die generativ oder vegetativ vermehrt werden können und einen tatsächlichen oder potentiellen ökonomischen und/oder sozialen Wert besitzen (FAO 1994). Der „Wert" ist hierbei vom Standpunkt des Menschen aus

Tab. 1: Erhaltungsmaßnahmen für Pflanzenarten und pflanzengenetische Ressourcen (modifiziert nach Hawkes et al. 2000).

Maßnahmen	Methoden	Erläuterung
ex situ Erhaltung	Saatgutgenbanken	Lagerung unter tiefen Temperaturen
	in vitro	sterile Gewebekulturen
	Freiland-Genbank	gezielter Anbau in einem Ersatzbiotop
	Botanische Gärten/Arboreten	Kultivierung in Gärten
	DNA-Genbank/Pollenlagerung/ Kryokonservierung	Aufbewahrung unter optimalen Bedingungen
in situ Erhaltung	Naturreservate/ Genetisches Reservat	Erhaltung der Lebensräume/Management natürlicher Populationen innerhalb langfristig ausgewiesener Schutzgebiete
	on farm Kultivierung, Feldkollektionen	Kultivierung von alten Landsorten unter traditioneller Anbaumethode

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

definiert. Bei Pflanzen mit genetischen Ressourcen handelt es sich also um solche Pflanzen, die dem Menschen in irgendeiner Form von Nutzen sind (ökologisch, ökonomisch oder kulturell), also um Pflanzen, die in der Vergangenheit oder heute genutzt werden oder potentiell nutzbar sind. Gemäß dem „Nationalen Fachprogramm zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen" (BMVEL 2002) erschließt sich die ökonomische Bedeutung aus einem realen und einem potentiellen ökonomischen Wert. Der reale Wert lässt sich aus dem Beitrag zur Wertschöpfung in der Landwirtschaft selbst als auch in Züchtung, Verarbeitung und Handel abschätzen. Auch Gesichtspunkte wie Umweltschutz, Wasserhaushalt und Erholungswert sind dabei zu berücksichtigen. Der potentielle ökonomische Wert von PGR ergibt sich aus ihrem möglichen Beitrag für die zukünftige Anpassung an veränderte Markt-, Produktions- und Umweltbedingungen, z.B. Erschließung neuer Resistenzquellen oder Inhaltsstoffe. „Die Erhaltung von PGR ist schließlich auch aus ethischer Sicht aufgrund ihrer Funktion als nachhaltige Lebensgrundlage für derzeitige und zukünftige Generationen geboten" heißt es abschließend im „Nationalen Fachprogramm" zur Bedeutung pflanzengenetischer Ressourcen. Der Biodiversität kommt damit auch ein Eigenwert zu. Die Betonung dieses Aspektes ist zwar weniger populär, hat aber in der Präambel der Biodiversitäts-Konvention (CBD 1992) erfreulicherweise Erwähnung gefunden. Auch in der Systematics Agenda 2000 (1994) werden ausdrücklich ebenfalls die ethischen Werte der Artenvielfalt aufgeführt.

Pflanzengenetische Ressourcen kann man entsprechend ihrer Verwendung in verschiedene Kategorien einteilen, z.B. nach Keller et al. (2002) in Agrikulturpflanzen (Ernährung, Futter, nachwachsende Rohstoffe); Wiesen- und Weidepflanzen; Gemüse; Früchte (Bäume und Sträucher); Spezielle Pflanzen (Medizinpflanzen, Gewürze, Aroma- und Färbepflanzen); Zierpflanzen (Blumen, Ziersträucher, Zierbäume); Forstpflanzen; Wildpflanzen. Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) unterscheidet (neben weiteren Hauptkategorien) zwischen Landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, Gartenbaulichen Kulturpflanzen und Forstpflanzen, während die Sortimentseinteilung an der Genbank des IPK Gatersleben wieder einer etwas anderen Systematik folgt (s. u.).

2.3 Nutzung von pflanzengenetischen Ressourcen

Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Erhaltung und Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen werden auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene durch eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen geregelt. Bis 1992 gab es keine solche Regelungen. In der Sichtweise der FAO und der meisten Genbanken wurden die PGR als Weltkulturerbe betrachtet, welches treuhänderisch verwaltet wird (Graner 2005). Genetische Ressourcen waren somit weitgehend frei verfügbar. Mit der Ratifizierung der CBD hat sich der Status genetischer Ressourcen entscheidend geändert. Dies wird bereits in den drei Hauptzielen der CBD ersichtlich: die Erhaltung der biologischen Vielfalt; die nachhaltige Nutzung der Bestandteile der biologischen Vielfalt; und die gerechte Aufteilung der Vorteile. In der Präambel der aus der CBD hervorgegangenen Agenda 21 (1992) werden ausdrücklich die souveränen Rechte der Staaten hinsichtlich ihrer genetischen Ressourcen angeführt und jedem Staat das verbindliche Recht zugesprochen, gesetzliche Regelungen zum Zugang zu den genetischen Ressourcen innerhalb seines Hoheitsgebiets zu erlassen. Der Zugang zu genetischem Material auf bilateraler Ebene muss in beiderseitigem Einverständnis erfolgen (Artikel 15 der Agenda 21). Im Einklang mit der CBD und der Agenda 21 hat die FAO Conference 2001 den Vertrag „The International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture"

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

(ITPGR) verabschiedet (FAO 2001), der 2004 rechtsverbindlich wurde. Der Anhang zum ITPGR beinhaltet ein „Standard Material Transfer Agreement" (Materialübertragungsvereinbarung). Hierbei handelt es sich um einen privatrechtlichen Vertrag, welcher innerhalb des multilateralen Systems des ITPGR den Zugang zu genetischen Ressourcen und die Aufteilung der sich aus deren Nutzung ergebenden Vorteile festlegt. Der Wortlaut der jeweiligen Verträge für die Abgabe von Material aus den verschiedenen Genbanken kann unterschiedlich sein (http: //www.genres.de/). Diese Entwicklungen haben gegenüber den bis 1992 praktizierten Verfahrensweisen weitgehende Folgen für die Abgabe von PGR durch die Genbanken aber auch für das Sammeln von Material vom Wildstandort. Auch für die Botanischen Gärten ergeben sich hieraus erhebliche rechtliche Konsequenzen. Die meisten Botanischen Gärten Deutschlands haben sich einer einheitlichen Vereinbarung zur Weitergabe von lebendem Pflanzenmaterial und Saatgut angeschlossen (Wortlaut ebenfalls unter voriger Internet-Adresse).

2.4 Wildarten und Crop Wild Relatives (CWR)

Genetische Ressourcen sind in wildlebenden und in domestizierten oder gezüchteten Arten zu finden, wobei domestizierte Arten in der CBD (1992) definiert werden als „Arten, deren Evolutionsprozesse der Mensch beeinflusst hat, um sie seinen Bedürfnissen anzupassen". Mit dem fortschreitenden Verlust der Artenvielfalt und der innerartlichen genetischen Variabilität gehen auch genetische Ressourcen verloren. Insbesondere die mit den Kultur- und Nutzpflanzen verwandten Wildarten (crop wild relatives, CWR) sind eine wichtige Quelle für pflanzengenetische Ressourcen. Ihr Genpool wird seit Jahrtausenden von der Menschheit genutzt, und spontane Kreuzungen zwischen Kulturpflanze und ihren verwandten Wildarten haben von Beginn des Ackerbaues an eine bedeutende Rolle gespielt. Im 19. Jahrhundert entwickelte sich die Pflanzenzüchtung zu einer wissenschaftlichen Disziplin, und verbunden damit war das Interesse an der genetischen Vielfalt als Quelle hochwertiger Kulturpflanzen. Somit gewannen auch die CWR ganz gezielt einen hohen Stellenwert. Der russische Genetiker N. I. Vavilov hat in den 1920er Jahren Sammelexpeditionen in wichtige „Genzentren" der Erde organisiert. Heute weiß man zwar, dass es die „Genzentren" im Sinne Vavilovs nicht gibt (s. hierzu z.B. Brücher 1969; Harlan 1971 und 1995). Dies ist aber für Vavilovs Leistungen und den Erfolg seiner Arbeiten ohne Bedeutung. Vavilov hat umfangreiche Sammlungen von CWR geschaffen und für Züchtungsprogramme genutzt. Er war einer der ersten, der die Notwendigkeit des Erhaltes der genetischen Variabilität von Kulturpflanzen und ihrer verwandten Wildarten als pflanzengenetische Ressourcen erkannte.

Von den ca. 3200 wildwachsenden Blütenpflanzen in Deutschland werden bereits jetzt etwa 1000 als genetische Ressourcen gewertet (BMVEL 2002). Wildarten verfügen über noch unbekannte ökologische, wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung. Viele Arten können in Zukunft z.B. Nahrungsmittel und Arzneistoffe liefern sowie neue, für das Überleben des Menschen wichtige Rohstoffe. In Wildpflanzen können Resistenzgene gegen Schädlinge und Krankheiten erhalten bleiben, deren Vielfalt durch Züchtung häufig verloren gehen. Der natürliche Genpool an Resistenzgenen ist für die Auffrischung des verarmten Reservoirs der Kulturpflanzen unabdingbar. Variabilität in Populationen ist auch allein deshalb notwendigerweise zu erhalten, damit die Populationen auf sich ändernde Klimabedingungen reagieren können, was ja gerade heutzutage besonders wichtig ist. Weitere Zielgene von hohem züchterischen Interesse sind Toleranzgene für Stressfaktoren wie Temperatur, Wasser, Salz

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

und Schwermetalle und Gene für quantitative Eigenschaften von hohem züchterischen Interesse wie Blühbeginn oder Pflanzenhöhe.

Der Begriff „verwandte Wildart" einer Kulturpflanze erscheint sehr eingängig. Doch wie weit soll man den Begriff „verwandte Wildart" fassen, was genau soll man unter „crop wild relative" (CWR) verstehen? Im Rahmen des„European Crop Wild Relative Diversity Assessment and Conservation Forum" (www.pgrforum.org) wurde folgende Definition vorgeschlagen (Maxted et al. 2006, S. 2680):„A crop wild relative is a wild taxon that has an indirect use derived from its relatively close genetic relationship to a crop; this relationship is defined in terms of the CWR belonging to gene pools 1 or 2, or taxon groups 1 to 4 of the crop". Hierbei wird bei dem Hinweis auf "gene pools" auf das Gene Pool Concept von Harlan & de Wet (1971) zurückgegriffen. Dieses fußt auf der Kreuzbarkeit zwischen Kulturpflanze und ihren nicht domestizierten Verwandten. Harlan & de Wet (1971) unterscheiden drei Genpool – Kategorien. Der Primäre Genpool (GP-1) umfasst sowohl die kultivierten als auch die Wild- und Unkrautformen einer Kulturpflanze. Alle Taxa sind untereinander ohne Schwierigkeiten voll kreuzbar. Der Sekundäre Genpool (GP-2) betrifft die weniger nahe verwandten Taxa („Coenospecies"). Ein Gentransfer von diesem Formenkreis zur Kulturpflanze ist mit Hilfe konventioneller Züchtungsmethoden möglich, wenn auch schwierig. Gentransfer vom Tertiären Genpool (GP-3) zur Kulturpflanze ist mit den klassischen Züchtungsmethoden nicht möglich sondern erfordert komplizierte Methoden wie„embryo rescue", Protoplasmaverschmelzung (somatic fusion) oder Gentechnik. Da oft keine Erkenntnisse über Kreuzbarkeit vorliegen, schlagen Maxted et al. (2006) vor, in solchen Fällen die existierenden taxonomischen Einteilungen heranzuziehen. Folgende taxonomische Gruppen werden gebildet. Taxongruppe 1: Die Kulturpflanze und zur selben Art gehörige infraspezifische Taxa, z.B. Varietäten. Taxongruppe 2: Mitglieder derselben Serie oder Section innerhalb der Gattung der betreffenden Kulturpflanze. Taxongruppe 3: Mitglieder derselben Untergattung, zu der die Kulturpflanze gehört. Taxongruppe 4: Mitglieder derselben Gattung, zu der die Kulturpflanze gehört. Taxongruppe 5: Gattungen derselben Tribus innerhalb einer Familie, zu der die Kulturpflanze gehört. (Nicht alle Familien sind aber taxonomisch untergliedert; Anmerkung der Autoren). Die Taxongruppe 5 wird wahrscheinlich nur entfernt Verwandte der betreffenden Kulturpflanze aufweisen. Maxted et al. (2006) zeigen, dass da, wo genügend genetische Daten vorliegen, das Taxongruppen-Konzept gut mit dem Genpool-Konzept korreliert, und gehen daher von einem Vorhersagewert des Taxongruppen-Konzeptes für die Kreuzbarkeit mit der Kulturpflanze aus.

Wendet man die Definition von Maxted et al. (2006) auf die Euro-Mediterrane Flora an (Pflanzen der Gruppen GP-1 und GP-2 sowie Taxongruppen 1 bis 4), dann sind mehr als Dreiviertel der Pflanzen in Europa und dem Mittelmeerraum (ca. 24.000 von 30.000) als aktuelle oder potentielle pflanzengenetische Ressourcen einzustufen und sollten daher im Focus von Schutzprogrammen stehen. Die Definition von Maxted et al. (2006) für Crop Wild Relatives, CWR, ist aber nicht unumstritten. Auf nationaler (deutscher) Ebene wird derzeit ein anderer Kriterienkatalog für die Einstufung als CWR erarbeitet.

2.5 Botanische Gärten

Kultivierung in Botanischen Gärten ist die älteste aller Ex situ-Maßnahmen, liegen doch die Wurzeln der Botanischen Gärten in den mittelalterlichen Klöstergärten und reichen bis zur Antike zurück. In Europa wurden die ersten Botanischen Gärten im 16. Jahrhundert in Italien gegründet. Im 19. Jahrhundert entstanden viele Botanische Gärten in den

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

ehemaligen europäischen Kolonien. In Deutschland gibt es heute ca. 100 Botanische Gärten, etwa die Hälfte davon sind Universitätsgärten. Weltweit sind ungefähr 1.800 Botanische Gärten registriert. Deren geographische Verbreitung ist unausgewogen. Allein 60 % der Botanischen Gärten befinden sich in Europa, den Ländern der ehemaligen Sowjetunion und in Nordamerika, während Afrika und Südamerika nur sehr wenige Botanische Gärten aufweisen. Die geographische Verteilung der Gärten deckt sich auch nicht mit der globalen Verteilung der pflanzlichen Biodiversität. Allein in den Botanischen Gärten und Arboreten Europas und Nordamerikas werden ungefähr 75 % aller weltweit in Botanischen Gärten gehaltenen Pflanzen kultiviert. Die Botanischen Gärten in den temperierten Zonen der Nordhalbkugel weisen mehr Arten auf als die entsprechende natürliche Pflanzenvielfalt. In den Tropen und auf der Südhalbkugel ist es genau umgekehrt (Abb. 1).

Man schätzt, dass insgesamt 80.000 – 100.000 höhere Pflanzenarten weltweit in Botanischen Gärten kultiviert werden (Heywood & Watson 1995). Das sind annähernd ein Drittel aller ca. 270.000 beschriebenen höheren Pflanzen. Allein die Royal Botanic Gardens at Kew, London, beherbergen mit 34.000 Arten mehr Arten als die meisten Länder in ihrer jeweiligen Flora aufzuweisen haben. In der Globalen Strategie zur Erhaltung der Pflanzen (GSPC 2002) werden 34.000 höhere Pflanzenarten weltweit als vom Aussterben bedroht angegeben. Diese Schätzung fußt aber noch nicht auf den IUCN Kriterien von 2001 (s. unten). Wirklich verlässliche Schätzungen über den derzeitigen Verlust der globalen biologischen Vielfalt sind aber aus vielerlei Gründen nicht möglich. Einer der Gründe ist die Tatsache, dass die Zahl der Arten auf unserem Planeten noch nicht einmal auf eine Zehnerpotenz genau bekannt ist. Als verlässlichstes Datenmaterial gelten heute die IUCN Red Lists. Die IUCN hat 2001 einen

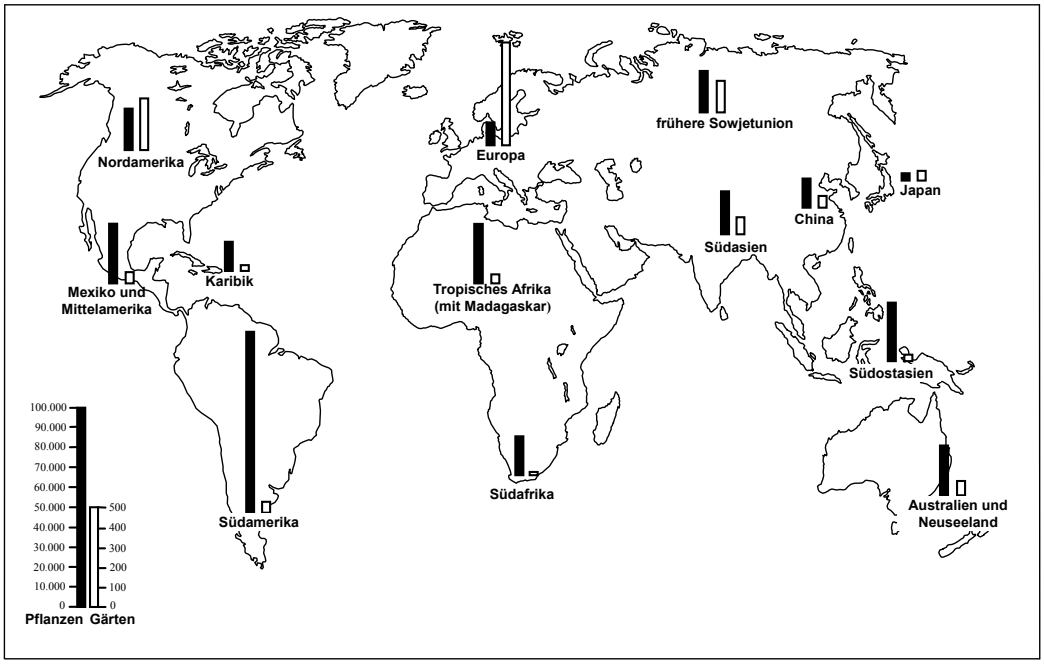


Abb.1: Weltweite Verteilung von Pflanzenarten und Botanischen Gärten (modifiziert nach Botanic Gardens Conservation Strategy 1989).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

ausführlichen Kriterienkatalog definiert, um die Objektivität bei der Ermittlung von Gefährdungskategorien zu erhöhen und vergleichbare Bewertungen zu ermöglichen. Dieses System ist auf unterschiedlichste Taxa anwendbar (aber nur auf makroskopische Organismen; die größte Vielfalt weisen aber die Mikroorganismen auf!). Die neueste IUCN Red List von 2007 stuft ca. drei Prozent aller höheren Pflanzen als bedroht ein, genau 8.447 von 297.326 taxonomisch akzeptierten und zugrunde gelegten Arten. Hiervon konnten aber nur 12.043 Arten entsprechend den IUCN Kriterien evaluiert werden, d.h. gerade einmal vier Prozent der Gesamtartenzahl. Bezogen auf die evaluierten Arten beträgt der Bedrohungsgrad fast 70 %. Wie dem auch sei, Einigkeit herrscht, dass ungefähr ein Drittel der bedrohten oder gefährdeten Arten in Botanischen Gärten kultiviert werden. Sie zeugen von einem bemerkenswerten Potential der Botanischen Gärten für Artenschutzbelange (Rauer et al. 2000). Diese beeindruckenden Zahlen bedürfen aber einer näheren Betrachtung. Die Sammlungen in den Botanischen Gärten spiegeln weder die natürliche pflanzliche Vielfalt proportional wider noch die innerartliche genetische Vielfalt. Pflanzen der temperierten nördlichen Vegetationszonen sind überproportional vertreten, was angesichts der geographischen Verteilung der Botanischen Gärten nicht verwundert (Abb. 1). Einige taxonomische Gruppen und Lebensformen sind gut repräsentiert, andere schlecht oder kaum (Barthlott et al. 1999; Klingenstein et al. 2002; WCMC 1992). Gut vertreten sind Orchideen, Bromelien, Sukkulenten, Epiphyten, Zwiebel- und Knollenpflanzen, Insektivoren, Wasserpflanzen sowie Bäume der temperierten Klimazonen, letztere mit mehr als 90 % aller Arten. Dagegen sind Bäume aus tropischen Regionen noch nicht einmal zu 10 % in den Sammlungen der Botanischen Gärten zu finden. Eine auffallende Unausgewogenheit ist bei den taxonomischen Gruppen zu verzeichnen: Z.B. sind von den beiden umfangreichsten Familien der Angiospermen die Orchidaceae mit ca. 19.000 Arten zu mehr als 25 % vertreten, dagegen die Asteraceen mit ihren etwa 23.000 Arten mit weniger als 10% der Artenvielfalt.

Die Formenmannigfaltigkeit in den Botanischen Gärten darf aber nicht mit dem Erhalt von genetischer Diversität gleichgesetzt werden. Für die Erhaltung der genetischen Vielfalt innerhalb der Arten haben die Lebendsammlungen der Botanischen Gärten meist nur eingeschränkte Bedeutung, da sie stark von genetischer Verarmung und von genetischen Drifteffekten betroffen sind. Gründe hierfür sind: (1) In einem Botanischen Garten sind die meisten Arten nur mit wenigen, manchmal sogar nur mit einem Individuum pro Taxon vertreten. (2) Die Akzessionen sind oft nicht dokumentiert, d.h. man kann ihre ursprüngliche Herkunft und das nachfolgende Schicksal nicht rekonstruieren. Allerdings nehmen viele Botanische Gärten neuerdings nur noch dokumentierte Akzessionen in ihre Sammlungen auf. (3) Lebendsammlungen werden seit Generationen in Botanischen Gärten vermehrt; Inzüchtung, Bastardierung und klonale Strukturen sind verbreitete Phänomene. Weiterhin besteht die Gefahr einer unbeabsichtigten und unbewussten Selektion (positive Massenauslese) auf z.B. Blütenschauapparat, Wuchsformen, Blühzeitpunkte. (4) Die Austauschsysteme zwischen den Botanischen Gärten führen zusätzlich zur genetischen Verarmung der Sammlungen; so werden z.B. die Bildung und Verbreitung von Klonen gefördert. (5) Der starke finanzielle Druck auf die Botanischen Gärten erlaubt es meist nicht, sich um schwierig zu kultivierende Sammlungen zu kümmern. (6) Ein ernsthaftes Problem stellt der Mangel an erfahrenen und gut ausgebildeten Taxonomen dar gekoppelt mit der Tatsache, dass in vielen Botanischen Gärten die wenigen, wenn überhaupt vorhandenen Wissenschaftlerstellen fachfremd besetzt werden oder das

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Primat nicht mehr auf die originäre systematisch-botanische Aufgabenstellung gelegt wird.

Dennoch stellen die Sammlungen der Botanischen Gärten in ihrer Gesamtheit weltweit die größte Ex situ-Demonstration der globalen pflanzlichen Vielfalt dar. In dieser Funktion haben sie unschätzbare Bedeutung für Forschung und Lehre und Bildungsprogramme aller Art und zeugen vom Potential der Botanischen Gärten für den Arten- und Naturschutz. Die Botanischen Gärten haben allein in den EU-Ländern jährlich über 20 Millionen Besucher und sind somit wichtige Multiplikatoren der öffentlichen Bewusstseinsschärfung für den Verlust der Biodiversität. Sie appellieren auch an die ästhetischen und ethischen Werte der pflanzlichen Vielfalt (Hurka et al. 2005).

2.6 Saatgut-Genbanken für Kulturpflanzen

Saatgut- Genbanken entstanden Anfang des 20. Jahrhunderts im Bereich der Kulturpflanzen und ihrer verwandten Wildformen. Nach dem 2. Weltkrieg wuchs im Zuge der Intensivierung der Landwirtschaft weltweit die Aufmerksamkeit für pflanzengenetische Ressourcen, und internationale Organisationen beschäftigten sich mit der Problematik. Neben der Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) befasste sich auch die Europäische Gesellschaft für Züchtungsforschung (EUCARPIA) schon frühzeitig mit dem Thema der Erhaltung der genetischen Ressourcen. Anfang der 1970er Jahre wurde die FAO gebeten, ein internationales Programm für genetische Ressourcen zu etablieren. Es wurde das International Board for Plant Genetic Resources gegründet, dessen Nachfolgeorganisation seit 1994 das International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) mit Sitz in Rom ist. Es hatte maßgeblichen Anteil am Aufbau von Genbanken für Kulturpflanzen in heute über 100 Staaten. Seit Dezember 2006 operiert IPGRI unter dem Namen „Bioversity International", kurz „Bioversity".

Ziel der Kulturpflanzengenbanken ist es, genetische Ressourcen für Züchtungsprogramme zur Verfügung zu stellen. Dies bedeutet zum einen, dass möglichst viele der geschätzten 7000 Kulturpflanzenarten (Hammer 1998; Zier- und Forstpflanzen sind in dieser Schätzung nicht enthalten) erfasst und erhalten werden müssen. Es muss aber auch deren intraspezifischer genetischer Diversität ausreichend Rechnung getragen werden. Da dies aufgrund begrenzter finanzieller und technischer Ressourcen nicht für jede Kulturart gleichermaßen geschehen kann, konzentrieren sich die Ex situ-Erhaltungsaktivitäten in erster Linie auf wirtschaftlich wichtige Arten. Weltweit werden ca. 6 Millionen Muster in über 1.000 Sammlungen im wesentlichen als Samenproben erhalten (FAO 1996), wobei aufgrund von Redundanz der effektive Bestand sich jedoch auf nur etwa 2 Millionen Muster belaufen dürfte. Über ein Drittel des Gesamtbestandes entfallen auf Weizen, Reis, Gerste, Mais und Bohnen. Ein weiteres knappes Drittel stellen 25 weitere Fruchtarten, so dass die Aktivitäten der Kulturpflanzengenbanken sich im wesentlichen an der landwirtschaftlichen Bedeutung der Kulturpflanzen orientieren. Etwa ein Drittel aller PGR weltweit lagert in europäischen Genbanken und Ex situ-Sammlungen. In Deutschland befinden sich ca. 200.000 Muster in den Genbanken der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ, jetzt Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, JKI) und des IPK Gatersleben sowie in verschiedenen Spezialsammlungen. Die Genbank für Kulturpflanzen am IPK Gatersleben wurde vor über 60 Jahren gegründet (Hammer & Gäde 1993) und zählt heute mit über 2.800 Arten aus mehr als 700 Gattungen weltweit zu den komplexesten Ex situ-Genbanken. Seit 2003 trägt sie als bundeszentrale Genbank die nationale Verantwortung für die Ex situ-Konser-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

vierung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturpflanzen. Der Gesamtbestand umfasst gegenwärtig ca. 148.000 Akzessionen und ist in Sortimente untergliedert: Gräser und Getreide; Leguminosen; Gemüse; Öl- und Faserpflanzen; Arznei- und Gewürzpflanzen; Futterpflanzen; Kartoffeln. Weizen und Gerste stellen mit zusammen ca. 50.000 Akzessionen die größten Sortimente der Kulturpflanzengenbank Gatersleben dar (Graner 2005).

2.7 Saatgut-Genbanken für Wildpflanzen

Noch heute ist in Deutschland der Fokus von Genbanken auf Kulturpflanzen ausgerichtet (BMVEL 2002). Ihr Beitrag zur Erhaltung der natürlichen Artenvielfalt und deren genetischer Vielfalt ist beschränkt. Erst in den 1980er und 1990er Jahren wurden Genbanken auch für Wildpflanzen ernsthaft diskutiert. Das derzeit wohl bekannteste Projekt ist das Millenium Seed Bank Projekt des Royal Botanical Garden Kew, London. Es sollen 10 % der weltweiten Pflanzendiversität durch Tiefkühllagerung von Saatgut konserviert werden, und zwar vorwiegend von Saatgut aus den tropisch-subtropischen Trockenzonen der Erde und aller in Großbritannien heimischer höherer Pflanzenarten. Hierfür wurden 100 Millionen Euro aus einem „Millenium-Fund" zur Verfügung gestellt. Weitere entsprechende Projekte laufen in Nordamerika seit nunmehr fast 20 Jahren. Koordiniert vom Missouri Botanical Garden hat sich in den U.S.A. unter dem Namen „Center for Plant Conservation" (CPC) ein Netzwerk-Programm Botanischer Gärten und Arboreten etabliert (Thibodeau & Falk 1987). Sie beteiligen sich am Aufbau einer Ex situ-Lebendsammlung bedrohter Arten, der National Collection of Endangered Plants of the United States of America. Parallel wird eine Saatgut-Genbank aufgebaut, die vom National Germplasm System of the US Department of Agriculture, USDA, am National Seed Storage Laboratory in Ft. Collins, Colorado, unterhalten wird (Falk 1987 und 1990; Falk & Holsinger 1991; Guerrant et al. 2004). Auch in Australien gibt es ein Netzwerk zum Artenerhalt, in das Saatgut-Genbanken als Ex situ-Maßnahme integriert sind (Touchell et al. 1997). In der Europäischen Union hat sich im Rahmen des EU 6th Research Framework Programme ein Genbank-Netzwerk (European Native Seed Conservation Network, ENSCONET) gebildet, koordiniert von den Royal Botanic Gardens Kew, London. In dieses Netzwerk sind 24 Organisationen aus 17 Staaten (EU Mitgliedsstaaten bzw. mit der EU assoziierte Länder) eingebunden. Ziel der ENSCONET-Mitglieder ist die nachhaltige Langzeitlagerung von Samen der Europäischen Wildpflanzenpopulationen. In den Genbanken soll mit Hilfe repräsentativer Proben die genetische Vielfalt der heimischen Arten gesichert werden. Oberste Priorität haben dabei seltene und gefährdete Arten. Diese Samenproben dienen zum einen für Forschungszwecke, zum anderen können aus den Samen Pflanzen zur Wiederaussiedlung, zur Unterstützung schwacher Populationen oder zur Wiederherstellung von Habitaten gezogen werden (vgl. Bernhardt 2008).

Länderspezifische und regionale Initiativen zum Schutz und Erhalt der genetischen Vielfalt von Wildpflanzen gibt es in verschiedenen Ländern. In Spanien wurde bereits 1966 an der Universidad Politécnica de Madrid von Prof. César Gómez-Campo die weltweit wohl erste Saatgut-Genbank für Wildpflanzen gegründet. Hierauf aufbauend hat sich in Spanien ein Genbanknetzwerk für Wildarten entwickelt, in dem derzeit neun Botanische Gärten zusammenarbeiten (REDBAG). Davon sind wir in Deutschland leider immer noch weit entfernt, obwohl eine der engagiertesten und prominentesten Persönlichkeiten in Deutschland, Frau Prof. Dr. h.c. Loki Schmidt, bereits 1981 die Einrichtung von Saatgut-Genbanken für heimische Wildpflanzen angeregt hat (Stiftung zum Schutze Gefährdeter Pflanzen 1981).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

In Deutschland ist keine Genbank offiziell für die einheimischen Wildpflanzenarten zuständig. Am Botanischen Garten der Universität Osnabrück wurde aber im Jahre 2003 nach intensiver Überzeugungsarbeit und langjähriger Suche nach Geldgebern die „Loki Schmidt – Genbank für Wildpflanzen" als ein Pilotprojekt etabliert. Unter Beachtung der rechtlichen Bestimmungen und internationaler Standards für Saatgut-Genbanken wird Saatgut aus natürlichen Populationen von Wildpflanzen tiefkühlgelagert. Wir konzentrieren uns zunächst auf Nordwest Deutschland und speziell auf die Küstenregionen (vgl. Borgmann et al. 2008). Übergeordnetes Ziel unserer Initiativen ist der Aufbau eines dezentralen Netzwerkes regionaler Genbanken für Wildpflanzen in Deutschland (Hurka 2000; Hurka et al. 2004). Botanische Gärten erscheinen für diese Aufgaben prädestiniert, da sie über die fachliche Kompetenz für Phytodiversität verfügen und bereits große Sammlungen unterhalten.

Die wichtigsten Ziele von Saatgut-Genbanken für Wildpflanzen sind dabei Ex situ-Maßnahmen im Rahmen eines integrierten Naturschutzes sowie Schutz und Erhalt der pflanzengenetischen Ressourcen unserer Wildpflanzen. Dabei muss der genetischen Vielfalt auf Populationsebene Rechnung getragen werden. Auch für den Artenschutz insbesondere bedrohter Arten werden Saatgut-Genbanken immer wichtiger (Falk et al. 1996).

Entsprechend muss die Programmstellung folgende Aspekte berücksichtigen: (1) Erfassen und Dokumentieren der genetischen Vielfalt auf Populations- und Artebene; (2) Bereitstellung von Material für Wiederausbringungsprogramme einschließlich der Stabilisierung gefährdeter natürlicher Populationen durch Verstärkung mit geeigneten Genotypen aus der Genbank; und (3) Erhalt und Bereitstellung von Material für Forschungszwecke und Züchtungsprogramme.

2.8 Probleme bei Genbank-Erhaltungsmaßnahmen und Qualitätsstandards

Natürlich haben Saatgut-Genbanken ihre Grenzen und müssen, wenn sie erfolgreich sein wollen, bestimmte Qualitätskriterien beachten. Ein immer wieder vorgebrachtes Argument gegen Genbank-Erhaltungsmaßnahmen ist das „Einfrieren der Evolution", d.h. das Ex situ-Genmaterial kann nicht auf Veränderungen der In situ-Umwelt reagieren. Natürlich ist das richtig, und dennoch halten wir dieses Argument für vordergründig. Denn erstens können von derselben Population vom selben Habitat in beliebigen Zeitabständen Diasporen gesammelt und eingelagert werden. Man könnte mit diesen chronologischen Momentaufnahmen sogar eventuelle evolutionäre Veränderungen in ihrem Ablauf verfolgen und hätte Veränderungsphasen konserviert. Der vermeintliche Nachteil kann also leicht zu einem Vorteil werden. Zweitens könnte sich die Umwelt auch so zum Nachteil der In situ-Population gestalten, dass diese ausstirbt. So sind z.B. in Deutschland laut Bundesamt für Naturschutz 5 bis 30 Prozent aller Tier und Pflanzenarten allein durch die Erderwärmung bedroht (REGIERUNGonline – Mehr Schutz für Natur und

Tab. 2: Qualitätsstandards für Saatgut-Genbanken.

Strukturierung einer Genbank abhängig von Zielen und Ressourcen:
Dokumentation des Materials
Erfassen der genetischen Variabilität
Populationsgröße
Gefährdungsgrad
Fortpflanzungssysteme
Molekulare Marker (selektionsneutral)
Quantitative Merkmale (adaptiv)
Stichprobenentnahme, Sammelanleitungen (ENSCONET, CPC)
Saatgutlagerung (orthodoxe, recalcitrante Samen)
Datenverwaltung, Bioinformatik
Zentral oder dezentral

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Artenvielfalt vom 18.12.2006). Das Saatgut der Pflanzen aber ist in der Genbank konserviert. Wird durch menschliche Eingriffe oder Umweltkatastrophen das In situ-Habitat und damit die In situ-Population vernichtet, ist eine Ex situ-Sammlung unter Umständen eine Versicherung gegen das Aussterben. Wo also liegt das Problem? Ein weiteres Argument ist der Verlust der genetischen Variabilität durch Drifteffekte in der Genbank. Auch das ist nichts Neues, betrifft jegliche Sammlungen und hängt von der Stichprobennahme und der Saatgutlagerung ab (s.u.). Im übrigen sind genetische Drifteffekte auch im In situ-Habitat zu erwarten. Wenn eine Art auf einen kleinen Restbestand reduziert oder ihr Habitat stark fragmentiert wird, nimmt die genetische Vielfalt der Populationen meist stark ab und Drifteffekte können sich auswirken, während die Wahrscheinlichkeit des völligen Aussterbens deutlich zunimmt. Schließlich wird argumentiert, dass sich während der Ex situ-Haltung Mutationen akkumulieren können. Das ist aber nach derzeitigem Kenntnisstand zu vernachlässigen (Schoen & Brown 2001).

Inhalt und Strukturierung einer Genbank hängen von den Zielen und auch von den personellen und finanziellen Ressourcen ab. Unabhängig davon sind aber Standards einzuhalten, wobei die Qualitätsanforderungen sich sowohl mit den Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Technik als auch der Wissenschaft ändern können und entsprechend angepasst werden müssen. Wichtige Gesichtspunkte sind in Tab. 2 aufgeführt.

Auf einige Punkte sei kurz eingegangen. Generell sollten die geographischen Herkünfte der Akzessionen durch GPS dokumentiert sein, ältere Akzessionen sollten nachträglich georeferiert werden. Die Strategie der Stichprobenentnahme hängt vom Ziel der Genbank und auch vom zur Verfügung stehenden Lagerraum ab. Soll die genetische Diversität auf Populationsebene repräsentiert werden, sind die entsprechenden Parameter in Tab.2 zu berücksichtigen. Es ist bei Naturschutz-orientierten Populationsbiologen fast schon ein Axiom, dass man, um erfolgreiche Erhaltungsstrategien ergreifen zu können, Ausmaß und Organisation der genetischen Variabilität des zu schützenden Taxons kennen muss. Die Frage ist, wie und mit welchen Methoden die genetische Variabilität in den Populationen (und auch in den Stichproben) geschätzt werden soll. Sehr verbreitet ist heute der Einsatz molekularer Marker, und sie sind unverzichtbar, wenn es um die Populationsgeschichte und biogeographische Muster geht. Auch können mit ihrer Hilfe die Populationsstruktur und das Genflussgeschehen analysiert werden. Aber was sagen molekulare Marker über die Adaptation der Population an ihre Umwelt aus? Häufig werden molekular basierte Schätzwerte von genetischer Variabilität als stellvertretend für die genetische Variation der phänotypischen (quantitativen) Merkmale angesehen. Letztere sind für die Anpassung einer Population an ihre jeweilige Umwelt entscheidend, da die Darwinsche Selektion primär auf den Phänotyp wirkt, während molekulare Marker häufig selektionsneutral sind. Es hat sich gezeigt, dass die mit den üblichen molekularen Markern erfasste genetische Variabilität nur sehr begrenzt mit der Variabilität der quantitativen Merkmale korreliert, ihr Vorhersagewert für das Evolutionspotential bzw. die Adaptationsfähigkeit einer Population also begrenzt ist (Reed & Frankham 2001). Da die meisten quantitativen Merkmale zudem von mehreren Genen beeinflusst werden, ist es fraglich, inwieweit sich genetische Drifteffekte auf die Ausprägung quantitativer Merkmale auswirken. In der Tat konnten in mehreren Studien keine Unterschiede in der Variabilität quantitativer Merkmale zwischen großen und kleinen Populationen festgestellt werden (Husband & Campbell 2004; Vitt & Havens 2004).

Die Qualität einer Ex-situ-Sammlung hängt

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

entscheidend von der Stichprobennahme ab. 1991 hat das Center for Plant Conservation Anleitungen für das Sammeln von Saatgut veröffentlicht, die große Beachtung fanden (CPC 1991). Diesen Anleitungen liegen u.a. auch populationsgenetische Überlegungen zugrunde (Brown & Briggs 1991). Nach der Veröffentlichung der CPC Sammelanleitungen von 1991 haben Brown & Marshall (1995) neben den theoretischen auch praktische Gesichtspunkte stärker berücksichtigt. Zentrale Themen sind dabei die Stichprobengröße, die Zahl der zu beprobenden Populationen und deren Größe. Das Center for Plant Conservation hat unter Berücksichtigung dieser sowie weiterer Aspekte überarbeitete Sammelanleitungen herausgegeben (CPC 2004a). Auch das Europäische Genbank-Netzwerk (European Native Seed Conservation Network, ENSCONET) erarbeitet derzeit Anleitungen zum Sammeln von Wildpflanzen (deutsche Kurzfassung des ENSCONET Seed Collecting Manual: Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin, 2007). Wie bereits erwähnt, hängt die Strukturierung einer Genbank und damit auch die Sammelstrategie entscheidend von Ziel und Schwerpunktsetzung der Genbank ab, so dass die CPC und ENSCONET Sammelanleitungen, die primär auf gefährdete Arten und Wiederausbringungsprogramme abzielen, nicht a priori die ultima ratio sein müssen. Sind diese Schwerpunkte nicht oder nicht im alleinigen Focus, mögen andere Sammelstrategien praktikabler und zielorientierter sein.

Ein besonderes Problem stellen die optimalen Bedingungen für Langzeitlagerung von Saatgut dar. Untersuchungen über Saatgutlagerung sind zahlreich, was sich aus der Bedeutung optimaler Lagerbedingungen für Kulturpflanzen-Genbanken ergibt. Tiefkühllagerung (z.B. bei –18°C) und geringer Wassergehalt der Samen (4 – 7 % des Trockengewichtes) gelten als die günstigsten Bedingungen, dies aber nur für sog. „orthodoxe Samen". Nur diese lassen eine Entwässerung auf den genannten Wert zu, ohne ihre Viabilität zu verlieren. „Recalcitrante Samen" tolerieren eine derartige Trocknung nicht. Sie verlieren ihre Lebensfähigkeit, wenn der Wassergehalt unter 9 – 10 % sinkt oder noch früher. Es gibt aber sämtliche Übergangsformen. Für jeden in eine Genbank auf Langzeit eingelagerten Samen muss vorher der „Typ" bekannt sein. Zum Glück kann man davon ausgehen, dass in unseren temperierten Klimazonen (wie auch in den Trockenzonen der Tropen und Subtropen) die meisten Pflanzen orthodoxe Samen haben. In den feuchten Tropen dagegen herrschen die recalcitranten Samen vor. Das Center for Plant Conservation hat Anleitungen für Saatgutlagerung herausgegeben (CPC 2004b), in denen international allgemein akzeptierte Genbank-Standards (FAO/IPGRI 1994) zugrunde gelegt werden. Es gibt aber neuere Entwicklungen. Für orthodoxe Samen hat die Gruppe um Gómez-Campo von der Technischen Universität Madrid gezeigt, dass für Langzeitlagerung die „Ultra-Trocknung" der Samen über Silicagel (Entwässerung bis auf 1 – 3 % Wassergehalt) ein signifikanter Faktor ist und wichtiger als die Lagerung bei tiefen Temperaturen sein kann (Gómez-Campo 2006a und 2007). Brassicaceen-Samen keimten unter diesen Lagerbedingungen mit hohen Keimungsraten noch nach fast 40 Jahren (Pérez-García et al. 2007), Werte, die bisher keine der etablierten Genbanken für ihr Langzeit-gelagertes Saatgut aufzuweisen hat. Wichtig ist bei der Trocknung über Silicagel, dass bei Einlagerung in die Genbank die Aufbewahrungsbehälter für die Samen absolut undurchlässig für Feuchtigkeit sind. Diese Anforderung erfüllen nur wenige der gebräuchlichen Behälter (Gómez-Campo 2006b). Die Botanischen Gärten innerhalb des oben bereits erwähnten Genbanknetzwerkes für Wildpflanzen in Spanien haben die Methode der Ultra-Trocknung übernommen. Die Kulturpflanzengenbanken aber auch ENSCONET tun sich noch schwer damit.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

2.9 Erhaltungskulturen

In der Globalen Strategie zur Erhaltung der Pflanzen (GSPC 2002) werden insgesamt 16 Handlungsziele genannt, um das langfristige Ziel zu erreichen, den derzeitigen und anhaltenden Verlust an pflanzlicher Vielfalt zu stoppen. Die zeitliche Vorgabe zur Erfüllung der Handlungsziele ist das Jahr 2010. Sollte dies gelingen, dann wäre das ein immenser Fortschritt, und man sollte alles daran setzen, die GSPC konkret umzusetzen. Leider ist die GSPC aber über weite Passagen sehr vollmundig (wahrscheinlich ist sie deswegen bei vielen Akteuren aus Politik und Behörden so beliebt), und man kann bedauerlicherweise bereits jetzt - im Jahre 2008 - erkennen, dass die konkreten Umsetzungen der Handlungsziele weitgehend Makulatur sein werden. Als weltweites Handlungsziel 8 wird aufgeführt, dass 60 % der gefährdeten Pflanzenarten in zugänglichen Ex situ-Sammlungen enthalten sein sollen, vorzugsweise im Herkunftsland, und 10 % davon sollen in Wiederansiedlungs- und Wiederherstellungsprogramme einbezogen sein. Und das bis zum Jahre 2010! In der GSPC wird davon ausgegangen, dass derzeit über 10.000 bedrohte Arten in Sammlungen (Botanische Gärten, Genbanken) erhalten werden, was, so meint man, ungefähr 30 % aller bekannten gefährdeten Arten entspricht (s. auch oben). Eine entscheidende Frage hierbei ist, was man unter „gefährdeten Pflanzenarten" zu verstehen hat. Soll man die Kriterien der IUCN Red Lists (s.oben) zugrunde legen? Wenn man die IUCN Daten extrapoliert, sind mehr als die Hälfte aller Pflanzen weltweit gefährdet. Oder soll man in Deutschland z.B. die Roten Listen der einzelnen Bundesländer heranziehen? Danach gelten etwa ein Drittel aller Pflanzenarten in Deutschland als gefährdet. Mit anderen Worten, es gibt keinen Bezugspunkt, um einen Erfolg zu messen. Selbst wenn man dies außer Acht lässt, ist das formulierte Ziel, 30 % (oder noch mehr) aller Pflanzenarten bis 2010 ex situ zu erhalten, angesichts der Realität mehr als utopisch. Das weitere Teilziel, 10 % der gefährdeten Pflanzen in Restaurationsprogramme einzubeziehen, ist gänzlich ein Wunschdenken. Abgesehen von der Frage nach der „Gefährdung" spiegelt sich hier ein ziemlich von der Realität losgelöster und unangebrachter Optimismus (wenn nicht gar Nichtwissen) wider (vgl. auch die Schätzung in der GSPC, dass derzeit ungefähr 2 % aller gefährdeter Arten in Wiederansiedlungs- und Wiederherstellungsprogramme einbezogen sind). Wiederansiedlungsprogramme sind ausgesprochen schwierig. Der Erfolg hängt oft entscheidend von der Qualität der betreffenden Ex situ-Quelle ab, und selbst wenn die Ex situ-Sammlung als optimal erscheint, ist ein Erfolg keineswegs gesichert. Wiederansiedlung bedeutet die abrupte Besiedlung eines (neuen) In situ-Habitates. Dabei können mangelnde Adaptation an das neue Habitat und die Reaktionen der ausgebrachten Individuen gegenüber der neuen Umwelt zu Problemen werden. Genügend Beispiele aus der Praxis zeugen von den Schwierigkeiten, Fehlschlägen aber auch von Erfolgen (z.B. Husband & Campbell 2004).

Zwischen den Botanischen Gärten in Deutschland wird zur Zeit eine Initiative diskutiert, die Intentionen der GSPC bezüglich des Handlungszieles 8 (60 % der gefährdeten Pflanzenarten in Ex situ-Sammlungen) durch Erhaltungskulturen umzusetzen. Was aber sind Erhaltungskulturen? Es hat sich eine Arbeitsgemeinschaft „Erhaltungskulturen" gebildet, die eine Erhaltungskultur wie folgt definiert (mit dem Vorbehalt der Vorläufigkeit): „Eine Erhaltungskultur ist eine Population (mindestens ein lebendes Individuum, in der Regel aber mehrere) eines heimischen Pflanzentaxons regionaler Wildherkunft in einem Garten mit dem Ziel, sein (regionales oder globales) Aussterben zu verhindern." (Burkart & von den Driesch 2006). Zunächst soll eine Prioritätenliste der „bedürftigen heimischen Taxa" erstellt werden, die sich an

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

den Roten Listen orientieren soll und arealkundliche Gesichtspunkte berücksichtigt (z.B. endemisch in Deutschland oder nicht). Zwischen den Gärten wird zur Zeit besprochen, welcher Garten welche Taxa (es ist nicht klar, ob immer Arten oder auch innerartliche Einheiten gemeint sind) in Erhaltungskultur nimmt. Ein wichtiger Punkt ist das Konzept für die jeweiligen Erhaltungskulturen. Drei Qualitätsstufen sind vorgesehen, die sich kurz wie folgt beschreiben lassen: Als Stufe 1 (Standard, Basisstufe) wird die Erhaltung eines Taxons gesehen; eine dokumentierte heimische Wildherkunft soll im Botanischen Garten unter Sicherung ihrer Identität ex situ erhalten werden. Ob es sich hierbei angesichts obiger Definition, in der bereits ein Individuum die Kriterien einer Erhaltungskultur erfüllt, tatsächlich um „Erhaltungskulturen" im eigentlichen Sinne handeln kann, sei dahin gestellt. Kultur und Demonstration gefährdeter Arten in Botanischen Gärten sind für die Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen von Natur- und Artenschutzprogrammen sehr wichtig. Dieser „Standard" der sog. Qualitätsstufe 1 ist im Prinzip nichts Neues. Viele Botanische Gärten, so auch der Osnabrücker Botanische Garten, haben solche Abteilungen, in denen sie gefährdete heimische Pflanzen demonstrieren. Ihr Wert steht außer Zweifel. Qualitätsstufen 2 und 3 beinhalten die„generative Fortpflanzung/Vermehrung" und in unterschiedlicher Intensität den Erhalt der natürlichen genetischen Variabilität. Das ist insgesamt ein sehr ambitioniertes und vielleicht auch illusorisches Vorhaben. Unter Berücksichtigung der bereits diskutierten Probleme der Kultivierungen in Botanischen Gärten allgemein sowie der Probleme bei Ex situ-Sammlungen zum Schutz und Erhalt pflanzengenetischer Vielfalt inklusive der Stichprobenproblematik und der Wiederausbringungsprogramme im besonderen muss man ernsthaft überlegen, ob Botanische Gärten sich mit Erhaltungskulturen zur Bewahrung der natürlichen genetischen Vielfalt nicht überfordern. Selbst bei Beschränkung auf ein bis zwei Taxa pro Garten sind für die meisten Gärten die erforderlichen räumlichen, finanziellen und personellen Kapazitäten nicht gegeben. Steht die Ex situ-Erhaltung pflanzengenetischer Vielfalt im Focus, sind Saatgut-Genbanken die weitaus bessere Alternative (vgl. hierzu auch CPC 2004c). Erhaltungskulturen und Genbanken können sich aber sinnvoll ergänzen, wofür es gute Beispiele gibt (Cochrane 2004). Das wäre ganz im Sinne der „Global Mission" der Botanischen Gärten (BGCI 2000), deren wesentliche Elemente Conservation (Natur- und Artenschutz), Research (Forschung) und Education (Bildung und Schärfung des öffentliche Bewusstseins) sind.

3 Schlussbemerkungen

Zum Schutz und Erhalt der pflanzengenetischen Vielfalt sind Ex situ-Maßnahmen unumgänglich. Wie für die Kulturpflanzen sollten explizit auch Saatgut-Genbanken für Wildpflanzen eingerichtet werden sofern sie orthodoxe Samen aufweisen, was in unseren Klimazonen weitgehend der Fall ist (s.o.). Die Vorteile von Genbanken für den Erhalt der genetischen Biodiversität gegenüber allen anderen Ex situ-Maßnahmen sind offensichtlich. (i) Pro Akzession/Population können beliebig große Stichproben auf Einzelpflanzenbasis erhoben werden, wobei die durch sexuelle Fortpflanzungssysteme erzeugte Nachkommenschaft pro Mutterpflanze als separates Geschwistersaatgut zur Verfügung steht. (ii) Die Samen können platzsparend gelagert werden. (iii) Samen sind für eine Langzeitlagerung prädestiniert, da sie die natürlichen Ausbreitungs- und sexuellen Fortpflanzungseinheiten sind und sich durch mehr oder weniger lange Ruhephasen auszeichnen. (iv) Durch geeig-

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

nete Lagerbedingungen kann das natürliche Ruhestadium verlängert werden, ohne dass der Same seine Lebensfähigkeit verliert. (v) Eine Langzeitlagerung reduziert die Notwendigkeit von Vermehrungszyklen zur Erhaltung der Viabilität erheblich. Das ist kostengünstig und minimiert die mit jedem Vermehrungszyklus latente Gefahr von Drifteffekten und ungewollter Selektion während der Ex situ-Erhaltung. (vi) Insgesamt sind Saatgut-Genbanken platzsparend, relativ kostengünstig und langfristig. Warum sonst gibt es Saatgut-Genbanken für Kulturpflanzen? Noch immer aber herrscht im Natur- und Artenschutz Skepsis gegenüber Genbanken für Wildpflanzen. Vielleicht beruht dies auf einem Missverständnis, denn Genbanken für Wildpflanzen sollen und können auch gar nicht In situ-Erhaltungsmaßnahmen ersetzen. Die wichtigsten Ziele von Saatgut-Genbanken für Wildpflanzen sind im Rahmen eines integrierten Naturschutzes sowie zu Schutz und Erhalt der pflanzengenetischen Ressourcen unserer Wildpflanzen zu sehen. Wir plädieren zum wiederholten Male für den Aufbau eines dezentralen Netzwerkes regionaler Genbanken für die Wildpflanzen in Deutschland. Die Botanischen Gärten in Zusammenarbeit mit Naturschutzorganisationen sind mit ihrer Kompetenz und ihren bereits vorhandenen Sammlungen hierfür prädestiniert. Die Flächenverteilung der Botanischen Gärten deckt die einzelnen Naturräume in Deutschland gut ab, so dass ein entsprechend ausgelegtes regionales Netzwerk die geographische und ökologische Bandbreite der genetischen Variabilität der Wildarten gut erfassen kann. Wir erkennen keine ernsthaften Argumente gegen Saatgut-Genbanken für Wildpflanzen auch in Deutschland. Es ist eher ein vielseitiges und vielschichtiges „In situ" Beharrungsvermögen, das es zu überwinden gilt. Geschieht dies nicht, verspielt der Naturschutz eine Chance und verliert den internationalen Anschluß.

Literatur

Agenda 21 (1992): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente. Deutsche Übersetzung. Informationsschrift des Bundesumweltministeriums, Bonn.

Barthlott, W., Rauer, G., Ibisch, P.L., von den Driesch, M. & Lobin, W., Hrsg. (1999): Botanische Gärten und Biodiversität. Bundesamt für Naturschutz, BfN, Hrsg. Landwirtschaftsverlag, Münster.

Bernhardt, K.-G. (2008): Beitrag in diesem Heft

BGCI (2000): International Agenda for Botanic Gardens in Conservation. Botanic Gardens Conservation International, Richmond, U.K.

BMVEL (2002): Nationales Fachprogramm zur Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturpflanzen. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.

Borgmann, P., Neuffer, B., Hurka, H. & Friesen, N. (2008): Beitrag in diesem Heft.

Botanic Gardens Conservation Strategy (1989). IUCN Botanic Gardens Conservation Secretariat, Richmond, U.K., WWF and IUCN, Gland, Schweiz.

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., Hrsg.: Genetics and conservation of rare plants. Pp. 99 – 122. Oxford Univ. Press, New York.

Brown, A.H.D. & Marshall, D.L. (1995): A basic sampling strategy: theory and practice. In: Guarino, V., Ramanatha Rao, V. & Reid, R., Hrsg.: Collecting plant diversity: Technical guidelines. Pp 75 – 92. CAB International, Wallingford, U.K.

Brücher, H. (1969): Gibt es Genzentren? Naturwissenschaften 56, 77 – 84.

Burkart, M. & von den Driesch, M. (2006): Global denken, regional handeln: Schutz der heimischen Wildpflanzen in botanischen Gärten. Der Palmengarten 70/2, 146 – 157.

CBD, Convention on Biological Diversity (1992). United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro 1992. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. (Deutsche Übersetzung 1992: Übereinkommen über die biologische Vielfalt. BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bonn).

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Cochrane, A. (2004): Western Australia's ex situ program for threatened species: A model integrated strategy for conservation. In: Guerrant, E.O., Havens, K. & Maunder, M., Hrsg.: Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild. Pp. 40 – 66. Island Press, Washington.

CPC, Center for Plant Conservation (1991): Genetic sampling guidelines for conservation collections of endangered plants. In: Falk, D.A. & Holsinger, K.E., Hrsg.: Genetics and conservation of rare plants. Pp. 225 – 238. Oxford Univ. Press, New York.

CPC, Center for Plant Conservation (2004a): Revised genetic sampling guidelines for conservation of rare and endangered plants. Appendix 1 In: Guerrant, E.O., Havens, K. & Maunder, M., Hrsg.: Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild. Pp. 419 – 441. Island Press, Washington.

CPC, Center for Plant Conservation (2004b): Guidelines for seed storage. Appendix 2 In: Guerrant, E.O., Havens, K., & Maunder, M., Hrsg.: Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild. Pp. 442 – 453. Island Press, Washington

CPC, Center for Plant Conservation (2004c): Guidelines for ex situ conservation collection management: minimizing risks. Appendix 3 In: Guerrant, E.O., Havens, K. & Maunder, M., Hrsg.: Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild. Pp. 454 – 473. Island Press, Washington

Falk, D.A. (1987): Integrated conservation strategies for endangered plants. Natural Areas Journal 7, 118 – 123.

Falk, D.A. (1990): Integrated conservation strategies for conserving plant genetic diversity. Annals of the Missouri Botanical Garden 77, 118 – 123.

Falk, D.A. & Holsinger, K.E., Hrsg. (1991): Genetics and conservation of rare plants. Oxford Univ. Press, New York.

Falk, D.A., Millar, C.I. & Olwell, M., Hrsg. (1996): Restoring diversity: Strategies for the reintroduction of endangered plants. Island Press, Washington D.C.

FAO (1994): Report of the Commission on Plant Genetic Resources. First Extraordinary Session. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom.

FAO (1996): The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom.

FAO (2001): International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom.

FAO/IPGRI (1994): Genebank standards. Food and Agriculture Organization of the United Nations/ International Plant Genetic Resources Institute, Rom.

Gemeinholzer, B. (2008): Beitrag in diesem Heft

Gerhardt-Dircksen, A. & Hurka, H. (2005): Das Biodiversitätsproblem. Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, Heft 4/54, 1 – 7. Aulis Verlag Deubner, Köln und Leipzig.

Gómez-Campo, C. (2006a): Long term seed preservation: updated standards are urgent. Monographs ETSIA, Univ. Politécnica de Madrid 168, 1 – 4.

Gómez-Campo, C. (2006b): Erosion of genetic resources within seed genebanks: the role of seed containers. Seed Science Research 16, 291 – 294.

Gómez-Campo, C. (2007): A guide to efficient long term seed preservation. Monographs ETSIA, Univ. Politécnica de Madrid 170, 1 – 17.

Graner, A. (2005): Genetische Ressourcen in der Pflanzenzüchtung. Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, Heft 4/54, 30 – 36. Aulis Verlag Deubner, Köln und Leipzig.

GSPC, Global Strategy for Plant Conservation (2002). Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal. (Deutschsprachige Fassung 2007, zu beziehen durch BGCI, Botanic Gardens Conservation International, Regionalbüro Deutschland, Botanische Gärten der Universität Bonn, Bonn.)

Guerrant, E.O., Havens, K. & Maunder, M., Hrsg. (2004): Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild. Island Press, Washington.

Hammer, K. (1998): Agrobiodiversität und pflanzengenetische Ressourcen – Herausforderungen und Lösungsansatz. Schriften zu Genetischen Ressourcen 10. Zentralstelle für Agrardokumentation und Agrarinformation (ZADI), Hrsg. Bonn.

Hammer, K. & Gäde, H. (1993): 50 Jahre Genbank Gatersleben. Biologie in unsere Zeit 23, 356 – 362.

Harlan, J.R. (1971): Agricultural origins: centers and noncenters. Science 174, 468 – 474.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Harlan, J.R. (1995): The living field. Our agricultural heritage. Cambrigde Univ. Press, Cambrigde.

Harlan, J. & de Wet, J. (1971): Towards a rational classification of cultivated plants. Taxon 20, 509 – 517.

Hawkes, J.G., Maxted, N. & Ford-Lloyd, B.V. (2000): The *ex situ* conservation of plant genetic resources. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.

Heywood, V.H. & Watson, R.T. (1995): Global biodiversity assessment. United Nations Environment Program UNEP. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Hurka, H. (2000): Die Rolle der Botanischen Gärten bei der Erhaltung der pflanzengenetischen Vielfalt. Schriftenreihe für Vegetationskunde 32, 101 – 110. BfN, Bundesamt für Naturschutz, Bonn.

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

Hurka, H., Neuffer, B. & Friesen, N. (2005): Botanische Gärten. Orte biologischer Vielfalt und pflanzengenetischer Ressourcen. Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule Heft 4/54, 26 – 29. Aulis Verlag Deubner, Köln und Leipzig.

Husband, B.C. & Campbell, L.G (2004): Population responses to novel environments: Implications for ex situ plant conservation. In: Guerrant, E.O., Havens, K. & Maunder, M., Hrsg.: Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild. Pp. 231 – 266. Island Press, Washington.

IUCN (2001): IUCN Red List of Threatened Species. Categories and Criteria (version 3.1). International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Schweiz, und Cambridge, U.K.

IUCN (2007): IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Schweiz, und Cambridge, U.K.

Keller, T., Korn, H., Schmid, H. & Weisser, Ch.F. (2002): Chances and limitations of „*ex situ*" conservation of species and genetic diversity on a global perspective. Bundesamt für Naturschutz, BfN, Hrsg.: Landwirtschaftsverlag Münster.

Klingenstein, F., von den Driesch, M. & Lobin, W. (2002): Pflanzensammlungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Ein erstes Verzeichnis bedeutender Lebendsammlungen. Bundesamt für Naturschutz, BfN, Hrsg.: Landwirtschaftsverlag, Münster.

Maxted, N., Ford-Lloyd, B.V., Jury, S.L., Kell, S.P. & Scholten, M.A. (2006): Towards a definition of a crop wild relative. Biodiversity and Conservation 15, 2673 – 2685.

Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt (2007). BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hrsg. Berlin.

Pérez-García, F., Gonzáles-Benito, M.E. & Gómez-Campo, C. (2007): High viability recorded in ultra-dry seeds of 37 species of Brassicaceae after almost 40 years of storage. Seed Science and Technology 35, 143 – 153.

Rauer, G., von den Driesch, M., Ibisch, P.L., Lobin, W. & Barthlott, W. (2000): Beitrag Deutscher Botanischer Gärten zur Erhaltung der biologischen Vielfalt und genetischer Ressourcen. Bestandsaufnahme und Entwicklungskonzept. Bundesamt für Naturschutz, BfN, Hrsg. Landwirtschaftsverlag Münster.

Reed, D.H. & Frankham; R. (2001): How closely correlated are molecular and quantitative measures of genetic variation? A meta-analysis. Evolution 55, 1095 – 1103.

Schoen, D.J. & Brown, A.H.D. (2001): The conservation of wild plant species in seed banks. BioScience 51, 960-966.

Stiftung zum Schutze Gefährdeter Pflanzen, Hrsg. (1981): Einrichtung einer Samenbank für heimische Gewächse. Seminar „Samenbank" am 5./6. Mai 1981 im Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Bonn. Aus Liebe zur Natur 2.

Stuart Chapin, F. et al. (2000): Consequences of changing biodiversity. Nature 405, 234 – 242.

Systematics Agenda 2000 (1994): A global initiative to discover, describe and classify the world's species. American Museum of Natural History New York and New York Botanical Garden. New York.

Thibodeau, F.R. & Falk, D.A. (1987): Building a national ex-situ conservation net work. In: Bramwell, D., Hamann, O., Heywood, V. & Synge, H., Hrsg.: Botanic gardens and the world conservation strategy, Pp. 285 – 294. Academic Press, London.

Touchell, D.H., Richardson, M. & Dixon, K.W., Hrsg. (1997): Germplasm conservation guidelines for Australia. An introduction to the principles and practices of seed and germplasm banking for

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Australian species. Australian Network for Plant Conservation. Canberra.
Vitt, P. & Havens, K. (2004): Integrating quantitative genetics into ex situ conservation and restoration practices. In: Guerrant, E.O., Havens, K. & Maunder, M., Hrsg.: Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild. Pp. 286 – 304. Island Press, Washington.
Walther, G.R. (2008): Beitrag in diesem Heft
WCMC, World Conservation Monitoring Centre (1992): Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources. Chapman and Hall, London.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: 33-34

Autor(en)/Author(s): Hurka Herbert, Friesen Nikolai W., Borgmann Peter, Neuffer Barbara

Artikel/Article: Schutz und Erhalt pflanzengenetischer Vielfalt: In situ- und Ex situ-Maßnahmen 177-195