

forstarchiv 80, 280-288
(2009)

DOI 10.237603004112-
80-280

© M. & H. Schaper
GmbH
ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:
m.zieverink@web.de

Eingegangen:
03.06.2009

Angenommen:
31.08.2009

Untersuchungen zum Keimungsverhalten seltener und gefährdeter Pflanzenarten von Bergwiesen des Osterzgebirges

Seed germination ecology of rare and threatened species of mountain meadows

MARITA ZIEVERINK¹, CLAUDIA WALCZAK² und PETER A. SCHMIDT¹

¹Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz, TU Dresden, Piener Straße 7, D-01737 Tharandt

²Talstraße 42, D-01723 Helbigsdorf

Kurzfassung

Der Fortbestand und die Ausbreitung seltener und gefährdeter Arten in kleinen und häufig isolierten Populationen bedürfen in der Regel einer generativen Verjüngung. Dabei spielt das Keimungsverhalten eine bedeutende Rolle um Reproduktionsmechanismen zu verstehen. Dies betrifft einerseits die Regeneration in bestehenden Populationen. Andererseits sind Kenntnisse der Keimungsbiologie bei dem Ausbringen von Diasporenmaterial zur Begründung neuer Bestände bedeutend.

An drei Arten erzgebirgischer Bergwiesen – *Arnica montana*, *Iris sibirica* und *Primula veris* – wurden Keimungsversuche *ex situ* und unter halbnatürlichen Bedingungen durchgeführt. Zur Bestimmung der Lebensdauer der Samenbank und von Dormanzzyklen dieser Arten wurden Vergrabungsversuche durchgeführt. Damit sollte die Reaktion der Arten auf Licht, Temperatur und das mögliche Vorhandensein einer Dormanz untersucht werden. Die untersuchten Arten zeigen ein hohes generatives Regenerationspotenzial mit einer hohen Rate der Lebensfähigkeit der Samen sowie hohen Keimungsraten. Dabei besetzen sie verschiedene Zeitfenster bei Keimung im Jahresverlauf. Die Achänen von *Arnica montana* sind sofort keimungsfähig, d. h., sie unterliegen keiner Dormanz, sodass die Samen einer Vegetationsperiode nach einem Jahr aufgebraucht sind. Der Schwerpunkt der Keimung von *Primula veris* liegt im Frühling, was der Art einen Wachstumsvorsprung gegenüber konkurrierenden Arten bietet. Vermutlich liegt eine Dormanz der Samen vor, die das Auflaufen der Samen im Herbst weitgehend verhindert und den Aufbau einer Samenbank, die zumindest mittelfristig ist, ermöglicht. *Iris sibirica* läuft im späten Frühjahr oder im Frühsommer auf. Die zumindest teilweise vorliegende und vermutlich zyklisch verlaufende Dormanz und die Lichtbedürftigkeit zur Keimung ermöglichen den Aufbau einer mindestens mittelfristigen Samenbank.

Schlüsselwörter: Keimung, Diasporenbank, Dormanz, Grünlandrenaturierung, *Arnica montana*, *Primula veris*, *Iris sibirica*

Abstract

The continued existence and dispersal of rare and threatened species in small and often isolated populations require a sexual reproduction. Seed germination ecology is a crucial issue for understanding reproduction traits that effects the regeneration of existing populations. Furthermore there is lack knowledge of seed germination process to disseminate seeds for the creation of new populations in restoration projects. By germination experiments *ex situ* and under semi-natural conditions we analysed germination traits of three species of meadows of the Eastern Ore Mountains (Osterzgebirge), i. e. *Arnica montana*, *Iris sibirica* and *Primula veris*. To estimate the seed bank persistence and dormancy cycles seeds were buried on the study site. Thereby we investigate the response of the species to light and temperature and the occurrence of dormancy. The species show a high generative regeneration potential that imply a high viability of the seeds and high rate of germination. They need different times for germination. The seeds of *Arnica montana* are immediately capable of germination and show no dormancy. Hence there is no seed bank and the seeds are exhausted after one year.

Due to *Primula veris* germinates mainly in springtime it provides an advance versus competitive species. Probably there is at least a partial dormancy at the seeds, wich prevent the complete germination of the seeds in autumn and allow the development of a leastwise short-term persistent soil seed bank. *Iris sibirica* germinates in last springtime or early summer. The observed and at least partly existing and dormancy cycles and the requirement of light for the germination allow the building of a leastwise short-term persistent soil seed bank.

Key words: germination, seed bank, dormancy, grassland restoration, *Arnica montana*, *Primula veris*, *Iris sibirica*

Einleitung

Der Fortbestand seltener Arten mit besonderen Habitatansprüchen kann oftmals vom Überleben kleiner isolierter Populationen in Habitatresten abhängen (Fischer 1998). Dies trifft auch für die seltenen und gefährdeten Pflanzenarten osterzgebirgischer Bergwiesen zu, da deren Populationen häufig nur noch kleine Reste ehemals ausgedehnter Bestände darstellen. Deren Situation ist besonders kritisch, da bei einzelnen Arten trotz der seit vielen Jahrzehnten durchgeführten Pflegemaßnahmen keine nennenswerte Ausdehnung der Bestände und zuweilen sogar ein Rückgang zu beobachten ist. Darüber hi-

naus konnte bei Arten wie *Arnica montana* im Untersuchungsgebiet bisher trotz der Bildung keimfähiger Samen kein eindeutiger Nachweis einer generativen Verjüngung erbracht werden (Zieverink und Hachmöller 2003). Dringender Handlungsbedarf besteht besonders bei kleinen und isolierten Populationen, da diese durch stochastische Prozesse wie auch durch einen Verlust genetischer Vielfalt gefährdet sind. So stellte Menges (1991) einen Zusammenhang zwischen der Größe sowie der Isolation der Population und der Keimungsfähigkeit von *Silene regia* fest, die durch Inzuchtdepression oder eine zu geringe Anzahl an Bestäubern verursacht werden kann (vgl. auch Kery et al. 2000). Auch wenn bei verschiedenen Arten kein signifi-

kanter Zusammenhang zwischen genetischer Diversität und der Populationsgröße oder der Isolation der Populationen besteht (Eckstein 2007), können in sehr kleinen Populationen demografische Stochastizität und umweltbedingte Stochastik zu einem Aussterben führen (Münzbergová 2006).

Eine wesentliche Voraussetzung für die Dauerhaftigkeit einer Population an einem Wuchsort ist die Überlebensfähigkeit von Keimlingskohorten (Abs 2002). Dabei stellen besonders der Übergang vom Samen zum Keimling und die darauf folgende Etablierung der Keimlinge eine kritische Phase im Lebenszyklus einer Pflanze dar (z. B. Pegtel 1988, Mückschel 2001, Abs 2002). Der Erfolg der Keimlingsetablierung steht im engen Zusammenhang mit der raschen Ausnutzung zeitweilig günstiger Bedingungen (Grime et al. 1981). Der Zeitpunkt der Keimung wird bestimmt durch Dormanz (Andersson und Milberg 1998), Temperatur, Licht und Feuchtigkeit (Schütz 2000), wobei zwischen diesen Faktoren Wechselwirkungen bestehen (Battla und Bench-Arnold 2005).

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Keimungs- und Regenerationsbiologie von Arten ist die Lebensdauer ihrer Samen, da deren Langlebigkeit einen hochsignifikanten Effekt gegen die Aussterberate von Populationen hat (Stöcklin und Fischer 1999). Eine dauerhafte Samenbank kann verhindern, dass in ungünstigen Jahren eine Population durch den Verlust aller Individuen ausstirbt (Adams et al. 2005 für *Helenium virginicum*).

Darüber hinaus spielt die Keimungsbiologie auch bei der Besiedlung neuer Habitats eine entscheidende Rolle, da die Samenphase einer Generation in besonderer Weise der Fernausbreitung der Art dient (Fenner 1985).

Maßnahmen, die auf den Erhalt und die Vergrößerung der Populationen oder eine Wiederansiedlung seltener und gefährdeter Arten auf extensivierten Standorten zielen, müssen daher zunächst Voraussetzungen für eine generative Regeneration schaffen. Hier kommt dem Keimungsverhalten von Samen eine Schlüsselstellung zu. Sind die keimungsbiologischen Ansprüche bekannt, kann der Standort so behandelt werden, dass das Auflaufen der Keimlinge begünstigt wird (Patzelt und Pfadenhauer 1998). In zahlreichen Aussaatversuchen im Gelände wurden hohe Mortalitätsraten bei den Keimlingen nach der Aussaat im Gelände festgestellt (z. B. Jackel und Poschlod 1996).

Um die zahlreichen Einflüsse, die auf ein Habitat einwirken (Witterung, Konkurrenz, Prädatoren etc.) zu kontrollieren oder auszuschließen, wurden zunächst Laborversuche und Versuche unter halb-natürlichen Bedingungen durchgeführt.

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse von Untersuchungen zum Keimungsverhalten der Samen von *Arnica montana*, *Iris sibirica* und *Primula veris* vorgestellt. Mittels Keimungsversuchen *ex situ* und Vergrabungsversuchen sollten zunächst grundlegende Kenntnisse zum Keimungsverhalten dieser Arten gewonnen werden und als erster Ansatz für die Ableitung von modifizierten/optimierten Maßnahmevorschlägen Verwendung finden. Im Vordergrund standen folgende Fragen:

- Besitzen die Arten im Untersuchungsgebiet das Potenzial zu einer generativen Regeneration?
- Zu welchem Zeitpunkt laufen die Arten auf?
- Verfügen die Arten über langlebige Samen?

Material und Methoden

Untersuchte Arten

Arnica montana

Arnica montana ist nach BArtSchV (1999) besonders geschützt und deutschlandweit gefährdet (RL 3, BfN 1996), in Sachsen stark gefährdet (RL 2, LfUG 1999). Die Art gilt als Charakterart der *Nardetalia*, ihr Verbreitungsschwerpunkt liegt in Deutschland in den

Borstgrasrasen-Gesellschaften (Raabe und Saxen 1955, Hundt 1980, Pepler 1992). In Anpassung an unterschiedliche Nutzungsformen kann die Rhizomstaude verschiedene Lebensmuster entwickeln (Schwabe 1990). Die Ausbreitung der zylindrischen bis spindelförmigen, ca. 6-7 mm langen Achänen erfolgt anemochor (Müller-Schneider 1986), wobei die erreichten Entfernungen eher gering sind (Strykstra et al. 1998). Eine erzwungene Selbstbestäubung ergibt keinen Samenansatz (Bomme und Daniel 1994). Es wird eine temporäre Samenbank ausgebildet (Oberdorfer 2001). Neben den für viele Grünlandarten zutreffenden Rückgangsursachen wie beispielsweise Biotopverlust, intensive Nutzung oder Auffassung kann in den Populationen im Osterzgebirge eine weitere Gefährdung von *Arnica montana* von der geringen Größe der Bestände ausgehen, die unterhalb der für den langfristigen Erhalt nötigen Populationsgröße liegt (Zieverink und Hachmöller 2003).

Iris sibirica

Deutschlandweit gilt *Iris sibirica* als gefährdet (RL 3+, BfN 1996), in Sachsen als stark gefährdet (RL 2, LfUG 1999) und ist gesetzlich besonders geschützt (BArtSchV 1999).

Die Art tritt an wechselfeuchten bis nassen Standorten auf, z. B. in Pfeifengraswiesen (*Molinion caeruleae*, *Cnidion dubii*), in moorigen Waldwiesen und an Gräben. Die ausdauernden, geophytischen Pflanzen bilden dichte Horste, zuweilen auch durch Rhizome ausge-dehnte, fast reine Bestände aus. Die halbkreisförmigen, ca. 4-5 mm großen Samen reifen in den aufrechten Kapseln, die sich bei Benetzung vollständig schließen (Müller-Schneider 1986). Es handelt sich um einen Wintersteher, dessen Samen über Stoß (Schüttelausbreitung) oder durch Menschen verbreitet werden (Müller-Schneider 1986, Rothmaler et al. 2005). Im Untersuchungsgebiet waren in der Vergangenheit besonders die Trockenlegung der Wuchsorte und die Umwandlung von Grünland in Acker sowie Erstaufforstungen für den starken Standortverlust verantwortlich (Hachmöller und Terne 1999).

Primula veris

Primula veris gehört in Sachsen zu den stark gefährdeten Arten (RL 2, LfUG 1999) und ist nach der BArtSchV (1999) besonders geschützt. *Primula veris* kommt vor allem in Halbtrockenrasen (*Mesobromion*, hier schwache Verbandskennart), in mageren Glatthaferwiesen (*Arrhenatherion*), in mageren Wiesen der Kalkgebiete sowie in lichten Wäldern über Kalk vor. *Primula veris* ist ein ausdauernder Hemikryptophyt mit kurzem Rhizom. Die langlebigen Blätter bilden eine basale Rosette aus. Die heterostylen Zwitterblüten blühen im April bis Mai, dabei werden beträchtliche Mengen an Samen produziert (Grime et al. 1988). Trotz der Heterostylie führt Selbstbestäubung zu einem, wenn auch geringeren Samenansatz (Wedderburn und Richards 1990).

Die stark warzigen, ca. 1,5-2 mm großen Samen werden boleo-chor verbreitet (Müller-Schneider 1986). Nach Angaben von Rothmaler et al. (2005) handelt es sich um einen Kältekeimer. Kery et al. (2000) stellten in kleinen Populationen von *Primula veris* eine stark reduzierte Reproduktion fest.

Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen fanden auf Bergwiesen im Osterzgebirge statt. Das Untersuchungsgebiet um die Gemeinde Oelsen (Landkreis Sächsische Schweiz/Osterzgebirge) liegt am Ostrand des Naturraumes Osterzgebirge, im Übergang von submontaner zu montaner Stufe in einer Höhenlage von 550 m ü. NN. Den geologischen Untergrund bilden überwiegend Gneise, darüber hinaus beeinflussen basenhaltige Gesteine im Bereich des tschechischen Sattelberges (Spičák) das Gebiet. Die Eigenart des Gebietes ergibt sich durch ein subkontinental getöntes Klima sowie die unmittelbare Nähe zu den wärmebegünstigten Lagen des Elbtales und des böhmischen Mittelgebirges.

Die pflanzengeografische Besonderheit beruht auf dem Nebeneinander submontaner und Wärme liebender Arten, subkontinentaler und subatlantischer Florenelemente (Schmidt et al. 2008).

Datenerfassung

Samenernte

Die Samen wurden jeweils zum Zeitpunkt der Samenreife, d. h. zum Beginn des Ausstreuens, (vgl. Baskin und Baskin 2001) in drei aufeinander folgenden Jahren geerntet. Bis zu ihrer Verwendung wurden die Samen bei Raumtemperatur und unter Lichtabschluss gelagert. Es wurden die individuenreichsten Bestände der jeweiligen Art im Untersuchungsgebiet beerntet, um nachteilige Effekte, wie reduzierte Fitness in verkleinerten Populationen, zu vermeiden (vgl. Menges 1991, Kery et al. 2000). *Arnica montana* wurde 2003 nicht beerntet, da die für die Ernte geeigneten Flächen in jenem Jahr nicht zur Verfügung standen. Um dennoch eine lückenlose Versuchsreihe zu gewährleisten, wurden als Ersatz Achänen der Herkunft Südschwarzwald verwendet. Die Samen der übrigen Arten entstammen Populationen des Untersuchungsgebietes. Es wurden verschiedene Populationen beerntet und Mischproben hergestellt.

Keimungsversuche unter standardisierten Bedingungen

Die Keimungsversuche in der Klimakammer wurden unter den in Tabelle 1 dargestellten Bedingungen, jeweils mit unbehandelten und mit stratifizierten Samen durchgeführt. Es wurden jeweils die Samen der vorangegangenen Vegetationsperiode für die Versuche verwendet.

Die Stratifizierung erfolgte bei +3 °C für 4 Wochen und anschließend eine Woche bei -18 °C. In allen Varianten wurden jeweils fünf Replikationen mit je 50 Samen (*Arnica montana*, *Iris sibirica*) bzw. 30 Samen (*Primula veris*) untersucht. Die Samen wurden in Petrischalen (Polystyrol, 9 cm Durchmesser bzw. 14,5 cm Durchmesser bei *Iris sibirica*) auf Filterpapier gebracht und mit destilliertem Wasser angefeuchtet. Die Kontrolle der Samen erfolgte wöchentlich, dabei wurden die gekeimten Samen entfernt. Als Keimung wurde der Durchbruch der Radicula angesehen. Die Überprüfung der Keimungsrate der Dunkelvarianten wurde zur Vermeidung einer Keiminduktion bei Grünlicht durchgeführt.

TTC-Test

Nach Beendigung der Keimungsversuche wurde die Lebensfähigkeit der Samen, die nicht gekeimt waren, mit dem Tetrazolium-Test geprüft. Hierzu wurden die Samen mit einem Skalpell so zertrennt, dass der Embryo angeschnitten wurde. Anschließend wurden die Samen in eine 1 %ige 2,3,5-Triphenyltetrazoliumchlorid-Lösung (TTC) gebracht (Baskin und Baskin 2001), nach 48 Stunden Einwirkzeit wurden die angefärbten Samen ausgezählt.

Stratifikationstest

Um die Auswirkungen einer feuchten Stratifizierung auf die Keimfähigkeit der Samen zu überprüfen, wurde ein Stratifikationstest

durchgeführt. Die Stratifizierung erfolgte bei +5 °C für 12 Wochen und anschließend eine Woche bei -18 °C. Für alle Arten wurden jeweils 5 Parallelen bei trockener und feuchter sowie ohne Vorbehandlung mit jeweils 50 Samen (*Primula veris*) bzw. 30 Samen (*Arnica montana*, *Iris sibirica*) untersucht.

Keimungsversuche unter kontrollierten Bedingungen im Freiland

Die Aussaat erfolgte in Keimschalen mit den Maßen 4,5 cm x 16 cm x 20 cm. Als Substrat diente Floragard®-Aussaat- und -Anzuchterde. Es wurden jeweils 5 x 50 Samen (*Iris sibirica*, *Primula veris*) bzw. 5 x 30 Samen (*Arnica montana*) ausgesät. Die Samen wurden auf dem Substrat verteilt, mit einer dünnen Mulchschicht abgedeckt und angegossen. Die Kontrolle erfolgte 14-tägig. Neu auftretende überlebende und abgestorbene Keimlinge wurden unterschiedlich markiert und getrennt erfasst. Zur Kontrolle der Keimfähigkeit der Samen wurden Keimungsversuche in der Klimakammer durchgeführt. Da besonders bei *Arnica montana* Schäden durch Schneckenfraß festgestellt wurden, erfolgte hier Ende September eine erneute Anlage des Versuches. Zur Kontrolle der Keimungsfähigkeit der Samen wurden parallel zur Aussaat im Freiland Keimungsversuche in der Klimakammer durchgeführt.

Vergrabungsversuche

Im November 2003 wurden jeweils 50 (*Arnica montana*, *Iris sibirica*) bzw. 30 Samen (*Crepis mollis*) in Gazesäckchen in 5 cm Tiefe in den Boden verbracht. Hierzu wurden die Säckchen in Teichpflanzkörbe aus Kunststoff (23 cm) gelegt, die auf der eingezäunten Versuchsfläche vergraben wurden. Pro Art und Ausgrabungstermin liegen fünf Replikationen vor (vgl. Gibson 2002). Im ersten Untersuchungsjahr (12/2003-11/2004) wurden die Proben in 5 cm Vergrabungstiefe monatlich entnommen, 2005-2007 erfolgte die Entnahme viermal jährlich. Im Oktober 2004 wurde eine weitere Variante mit einer Vergrabungstiefe von 25 cm ausgebracht, es wurden jeweils 5 x 50 Samen vergraben. Die Entnahme von Proben dieser Serie erfolgte halbjährlich.

Die Kontrolle der Keimungsfähigkeit der ausgegrabenen Samen wurde analog zu den vorangegangenen Keimungsversuchen in der Klimakammer bei einem Tag/Nacht- und Temperaturwechsel 14 h/20 °C hell/10 h/8 °C dunkel durchgeführt. Nach Beendigung der Keimung wurde mit den nicht gekeimten Samen der Tetrazolium-Test durchgeführt.

Datenanalyse

Die Datenanalyse erfolgte mit den Programmen SPSS 11.5 für Windows und Excel. Für den Test auf signifikante Unterschiede der Keimungsraten in den Labortests mit bzw. ohne Stratifizierung wurde als nicht parametrischer Rangsummentest der U-Test von Mann-Whitney gewählt. Die nachgeschaltete Analyse der Auswirkungen von Temperatur und Licht auf die Keimungsrate erfolgte mit einer univariaten Varianzanalyse.

Tab. 1. Versuchsbedingungen der Keimversuche in der Klimakammer. Hellvariante mit Temperatur- und Lichtwechsel, Dunkelvariante mit Temperaturwechsel. Conditions during the germination experiment in the climatic chamber. Treatments at light with changes of temperature and light, and at darkness with changes of temperature.

Kaltvariante		Warmvariante	
Hellvariante	Dunkelvariante	Hellvariante	Dunkelvariante
14 h/8 °C hell//	14 h/8 °C dunkel//	14 h/20 °C hell//	14 h/20 °C dunkel//
10 h/5 °C dunkel	10 h/5 °C dunkel	10 h/8 °C dunkel	10 h/8 °C dunkel

Ergebnisse

Keimungsversuche

Bei den untersuchten Arten wurde nach Abschluss der Keimungsversuche eine hohe Lebensfähigkeit der Samen festgestellt (Abbildung 1). Allerdings besteht bei *Arnica montana* ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Versuchsdauer und dem Rückgang der Lebensrate der nicht gekeimten Samen.

Die Samen von *Arnica montana* scheinen bei der Keimung nicht an spezifische Bedingungen gebunden zu sein und erreichen in allen Versuchsvarianten eine hohe Keimungsrate (Abbildung 1). Eine vorhergehende trockene Stratifizierung hat keinen signifikanten Einfluss auf die Keimungsrate, eine Dormanz wurde nicht beobachtet. Wie aus der Darstellung des Keimungsverlaufes hervorgeht (Abbildung 2), setzte die Keimung in der Warmvariante schneller ein und verlief zügiger als in der Kaltvariante. Auf die am Ende des Versuches erreichte Keimungsrate haben jedoch weder Licht noch Temperatur einen signifikanten Einfluss.

Iris sibirica lief ausschließlich in der Warmvariante auf, dabei war die Keimungsrate unter Lichtabschluss deutlich reduziert (Abbildung 1). Sowohl Licht als auch Temperatur haben einen signifikanten Einfluss auf die Keimungsraten, ebenso wie die Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren. Innerhalb der Dunkelvariante waren die Keimungsraten nach Stratifizierung (exakte 2-seitige Signifikanz 0,024) signifikant höher als bei den unbehandelten Samen. Die Keimung setzt in der Variante warm/hell erst nach 5 Wochen ein, die Hauptkeimungsphase erstreckt sich über 16 Wochen, in der Variante warm/dunkel liefen die ersten Samen nach 3 Monaten auf (Abbildung 2).

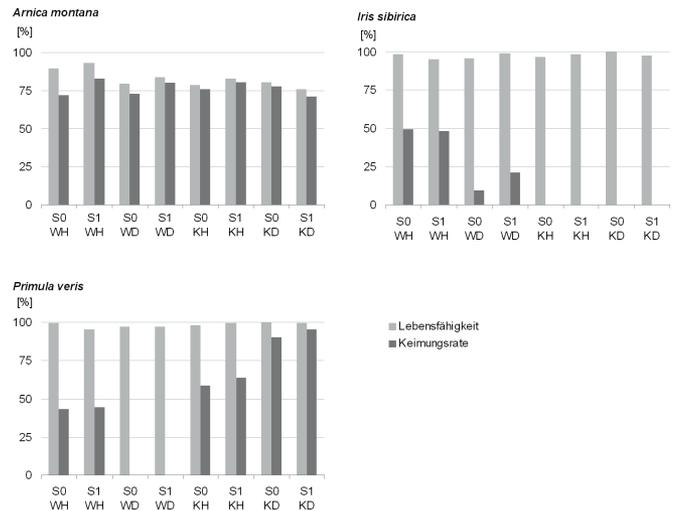


Abb. 1. Keimungsraten und Lebensfähigkeit (Keimrate + TTC positiv) der Samen von *Arnica montana*, *Iris sibirica* und *Primula veris* unter verschiedenen Versuchsbedingungen (SO = ohne Stratifizierung, S1 = mit Stratifizierung, W = Warmvariante, K = Kaltvariante, H = Hellvariante, D = Dunkelvariante). Mittelwerte in % aus 5 Wiederholungen, n = 50 bzw. 30 (*Primula veris*). Mean relative germination and viability (germination level + TTC positiv) from seeds of *Arnica montana*, *Iris sibirica* and *Primula veris* at different treatments (SO = without stratification, S1 = with stratification, W = warm, K = cold, H = light, D = darkness). Averages of 5 replications, n = 50 bzw. 30 (*Primula veris*).

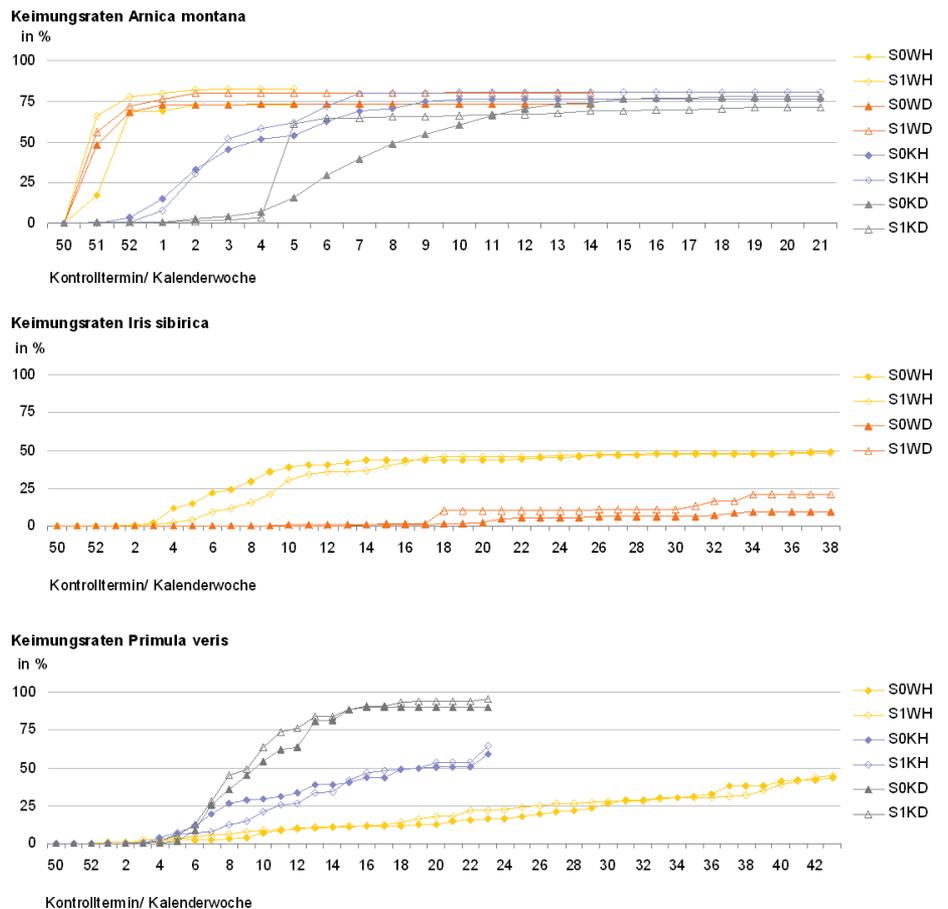


Abb. 2. Keimungsverlauf von *Arnica montana*, *Iris sibirica* und *Primula veris* unter verschiedenen Versuchsbedingungen (SO = ohne Stratifizierung, S1 = mit Stratifizierung, W = Warmvariante, K = Kaltvariante, H = Hellvariante, D = Dunkelvariante). Mittelwerte in % aus 5 Wiederholungen, n = 50 bzw. 30 (*Primula veris*). Process of germination from seeds of *Arnica montana*, *Iris sibirica* and *Primula veris* at different treatments (SO = without stratification, S1 = with stratification, W = warm, K = cold, H = light, D = darkness). Averages of 5 replications, n = 50 bzw. 30 (*Primula veris*).

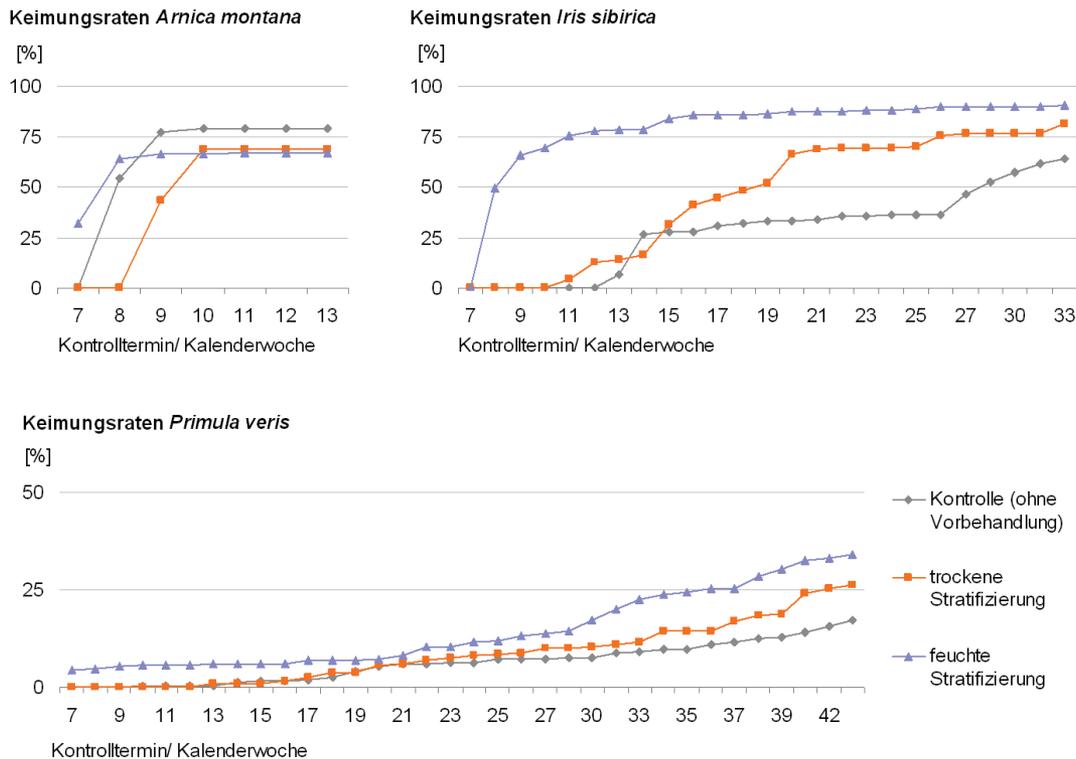


Abb. 3. Keimungsverlauf der Samengeneration 2005 ohne Vorbehandlung (S0) und mit vorübergehender trockener (St) und feuchter (Sf) Stratifizierung. Variante warm/hell. Mittelwerte aus 5 Wdh., n = 50 bzw. n = 30 (*Arnica montana*). Process of germination from the seed generation 2005 without (S0) and with previous dry (St) and moist (Sf) stratification. Test variant warm/light. Average from 5 replications, n = 50 bzw. n = 30 (*Arnica montana*).

Bei *Primula veris* wurde eine geringe spontane Keimung in der Warmvariante nach 4 Wochen erreicht. Dabei kamen nur Samen unter Licht zur Keimung, hier verhinderte Dunkelheit vollständig das Auflaufen der Samen. Nach 46 Wochen wurde der Versuch beendet, bis dahin keimten kontinuierlich Samen aus. Die höchsten Keimungsraten erzielten die Samen von *Primula veris* in der Kaltvariante unter Lichtausschluss (Abbildung 1). Auch unter Licht wurden noch Keimungsraten von etwa 60 % bis 65 % erreicht.

Die statistische Analyse ergab einen signifikanten Einfluss von Temperatur auf die Keimungsraten und eine signifikante Interaktion zwischen Licht und Temperatur. In der Kaltvariante setzte die Keimung nach 6 Wochen ein und erreichte nach 22 Wochen ein Maximum (Abbildung 2). Unter Licht verlief die Keimung deutlich langsamer als in der Dunkelvariante.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Keimungsversuche von 2003-2005 mit den Samen der jeweiligen Vegetationsperiode gegenübergestellt. Dabei liegen in den Jahren 2004 und 2005 die Keimraten

für *Arnica montana* und *Iris sibirica* höher als 2003. Keimungsversuche mit Samen, die 2005 geerntet wurden, aber erst im Februar 2006 durchgeführt wurden, ergaben niedrigere Keimungsraten, als die Versuche, die mit derselben Samengeneration bereits im August/September 2005 durchgeführt wurden.

Stratifikationsversuch

Eine vorübergehende feuchte Stratifizierung der Samen führte zu einem im Vergleich mit der unbehandelten Variante schnelleren Auflaufen der Samen (Abbildung 3), was sich durch den vorweggenommenen Quellvorgang erklären lässt.

Im Stratifizierungsversuch bestätigt sich die Annahme auch für das aus dem Untersuchungsgebiet stammende Saatgut, dass die Samen von *Arnica montana* keiner Dormanz unterliegen (Abbildung 3). Auch hier scheint sich der Einfluss von Feuchtigkeit und Wärme negativ auf die Lebensfähigkeit der Samen auszuwirken.

Tab. 2. Vergleich der Keimungsraten von *Arnica montana*, *Iris sibirica* und *Primula veris* der Samengenerationen 2003, 2004 und 2005. Mittelwerte aus 5 Wiederholungen, Versuchsvariante warm/hell ohne Stratifizierung.

Comparison of the germination rate of *Arnica montana*, *Iris sibirica* and *Primula veris* at the seed generations 2003, 2004 and 2005. Averages of 5 replications, treatment warm/light without stratification.

Diasporen- generation	2003		2004		2005		2005 Kontrolle Stratifikationstest	
	Dauer (Wochen)	Keimrate (%)	Dauer (Wochen)	Keimrate (%)	Dauer (Wochen)	Keimrate (%)	Dauer (Wochen)	Keimrate (%)
Art	Ansatz		Ansatz		Ansatz		Ansatz	
<i>Arnica montana</i>	8	72,4	7	91,6	7	90,0	7	78,7
	12/2003		08/2004		08/2005		02/2006	
<i>Iris sibirica</i>	41	49,2	33	88,7	59	88,4	25	64,0
	12/2003		10/2004		09/2005		02/2006	
<i>Primula veris</i>	46	43,3	-	-	58	37,6	34	17,6
	12/2003				08/2005		02/2006	

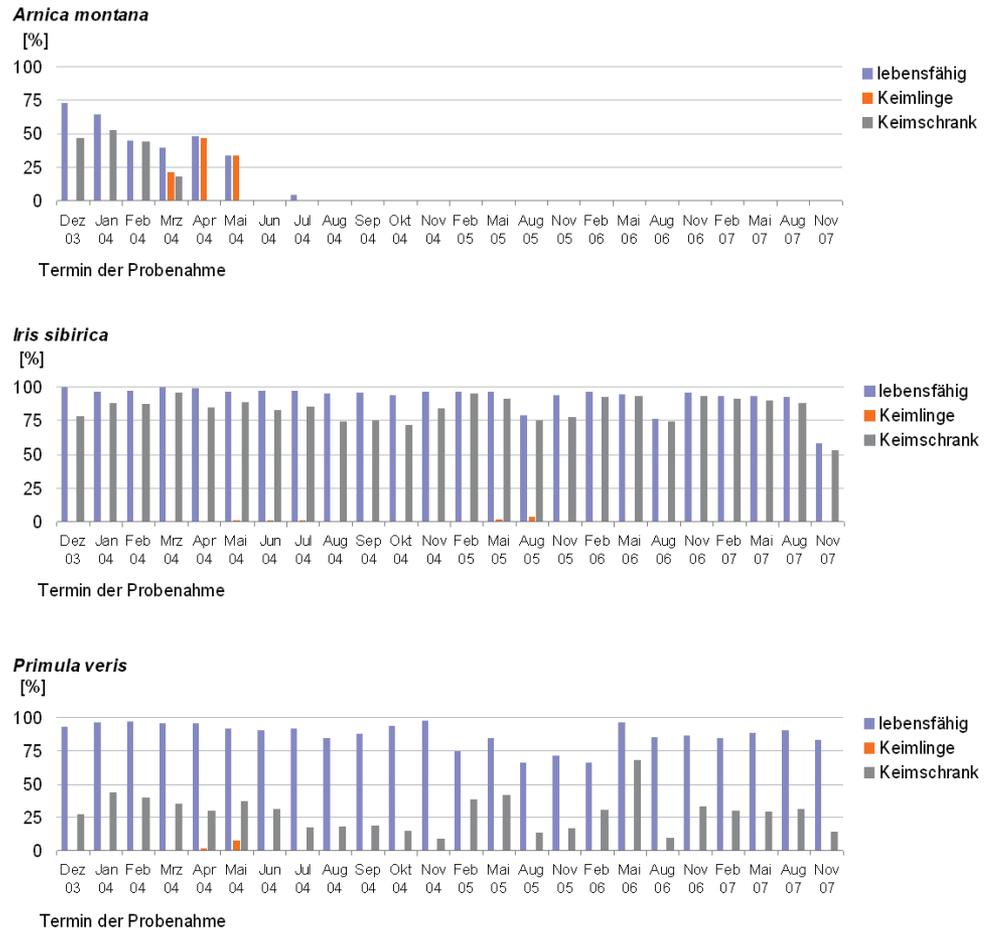


Abb. 4. Ergebnisse Vergrabungsversuch in 5 cm Vergrabungstiefe. Anteile lebensfähiger Diasporen (TTC positiv + Keimrate in Klimakammer), Keimrate in der Klimakammer (Keimbedingungen warm/hell) und Keimlinge in den Säckchen nach Ausgrabung. Mittelwerte aus 5 Wiederholungen, n = 50 bzw. 30 (*Primula veris*).

Mean relative number of viable seeds after burial in a depth of 5 cm (TTC positive + germination in the climatic chamber), germination at climatic chamber (treatment warm/light) and seedlings found in the bags after exhumed. Averages of 5 replications, n = 50 bzw. 30 (*Primula veris*).

Die Keimungsrate der Samen von *Iris sibirica* liegt bei den stratifizierten Samen etwas über der Keimungsrate der unbehandelten Samen. Von Bedeutung ist jedoch der schnelle Keimungsverlauf, der bereits nach wenigen Wochen ein erstes Maximum erreicht. Nach erfolgter feuchter Stratifizierung wurden bei *Primula veris* höhere Keimungsraten ermittelt als nach trockener Stratifizierung bzw. ohne Vorbehandlung (Abbildung 3).

Keimungsversuche unter kontrollierten Bedingungen im Freiland

Drei Wochen nach der Aussaat im September 2005 keimten Ende Oktober bis Anfang November über 40 % der ausgestreuten Samen von *Arnica montana* aus. Die Art kann als deutlicher Herbstkeimer eingestuft werden. Ende März 2006 wurden 6 Monate nach der Aussaat Verluste durch Ausfrieren der Pflanzen, wodurch die Wurzeln bloßgelegt wurden, verursacht. Zum Versuchsende im September 2006 betrug der Anteil überlebender Individuen bezogen auf die Anzahl ausgestreuter Samen 2 %. Bei *Iris sibirica* traten die ersten Keimlinge im April 2006 auf. Im weiteren Verlauf keimten nur noch vereinzelte Samen aus. Damit stellt sich die Art als obligater Frühjahrskeimer dar. Bis zum Versuchsende im September 2006 überlebten 44 % der ausgebrachten Samen die 12-monatige Versuchsdauer. Im Herbst 2005 liefen bereits erste Samen von *Primula veris* auf. Die Hauptkeimung verlief im April 2006, damit scheint *Primula veris* zu den Frühjahrskeimern zu gehören. Die Überlebensrate nach einem Jahr lag bezogen auf die Anzahl ausgesäter Samen bei 70,8 %.

Vergrabungsversuche

Die Samen von *Arnica montana* bilden weder in 5 cm noch in 25 cm Bodentiefe eine Samenbank aus. Bei den im Winter ausgegrabenen Proben von *Arnica montana* lag die in der Klimakammer ermittelte Keimungsrate zwischen 40 % und 50 % (Abbildung 4). Im Verlauf des Frühjahrs reduzierte sich sowohl die Keimungsrate als auch die Rate der Lebensfähigkeit der Samen, und es wurden Keimlinge in den Säckchen gefunden. Nach einer Vergrabungsdauer von ca. 8 Monaten konnten bei *Arnica montana* keine lebensfähigen Samen mehr nachgewiesen werden. Bei den Proben in 25 cm Bodentiefe, die bereits im Oktober ausgebracht wurden, betrug der Anteil lebensfähiger Samen nach dem ersten Winter unter 1 %.

Die Lebensfähigkeit der Samen von *Iris sibirica* lag bis auf wenige Ausnahmen innerhalb der vierjährigen Versuchslaufzeit bei über 90 %, im November 2007 bei über 50 % (Abbildung 4). Jeweils im Frühjahr bis Sommer wurden hier vereinzelte Keimlinge in den Säckchen gefunden. Nach der Lagerung der Samen über den Winter im Boden keimte im Frühjahr im Labor ein höherer Anteil der lebensfähigen Samen aus, als dies im vorhergehenden Herbst und im darauf folgenden Sommer beobachtet wurde. Auch bei einer Vergrabungstiefe von 25 cm bewahrten die Samen von *Iris sibirica* nach dreijähriger Versuchsdauer annähernd 100 % ihrer Lebensfähigkeit. Die Keimraten in der Klimakammer lagen hier zwischen 80 % und 95 %.

Vier Jahre nach dem Vergraben zeigen die Samen von *Primula veris* eine Lebensfähigkeit von etwa 80 % bis 90 % (Abbildung 4). Die Keimungsrate der entnommenen Samen variierte in der Klimakam-

mer zwischen 10 % und 70 %. Auch die aus einer Vergrabungstiefe von 25 cm entnommenen Samen zeigten nach dreijähriger Vergrabung eine Lebensfähigkeit von ca. 80 %.

Diskussion

Die Samen aller drei untersuchten Arten zeigen im Laborversuch in mindestens einer Versuchsvariante hohe Keimungsraten sowie eine hohe Lebensfähigkeit und damit ein hohes generatives Regenerationspotenzial. Eine fehlende Keimungs- oder Lebensfähigkeit der Samen können demzufolge eindeutig als Ursache für eine ausbleibende generative Regeneration ausgeschlossen werden. Die 2003 ermittelte niedrigere Keimrate wurde möglicherweise durch den extrem trockenen Sommer 2003 verursacht. So stellte Schopp-Guth (1993) eine erhebliche Wirkung klimatischer Faktoren auf die Keimrate von Streuwiesenpflanzen fest.

Die Versuchsergebnisse bestätigen die Angaben anderer Autoren (z. B. Schütz 2000), dass Temperatur und Licht sowie Dormanz einen entscheidenden Einfluss auf den Zeitpunkt der Keimung und die Lebensdauer der Samen ausüben.

Keimungszeitpunkt

Die Samen von *Arnica montana*, *Iris sibirica* und *Primula veris* zeigen in den Versuchen deutlich unterschiedliche Zeitfenster der Keimung.

Die unspezifischen Keimungsbedingungen, unter denen *Arnica montana* in den Laborversuchen zur Keimung gelangte (vgl. auch Pegtel 1988, Kahmen 1998, Zieverink und Hachmöller 2003), ermöglichen eine direkte Keimung der Samen nach der natürlichen Ausstreu im Herbst. Arten, die bereits im Herbst keimen, besitzen gegenüber Frühjahrskeimern einen Etablierungsvorteil, da vorhandene Lücken besetzt werden und die Etablierung erfolgt, bevor andere Arten auflaufen können. *Primula veris* erwies sich im Freiland als deutlicher Frühjahrskeimer. Auch eine Keimung im zeitigen Frühjahr ermöglicht in der noch lückigen und niedrigen Vegetation einen zeitlichen Wachstumsvorsprung, der zu höheren Etablierungschancen führt (Abs 2002).

Iris sibirica keimte nur in der Warmvariante aus und zeigte dementsprechend im Freilandversuch eine Keimung erst im späten Frühling. Aufgrund der großen Samen ist diese Art vermutlich nicht zwingend auf offene Bodenstellen angewiesen, und die Keimlinge können sich auch bei Konkurrenz etablieren (vgl. Hitchmough 2003, Jensen und Gutekunst 2003, Bissels et al. 2006).

Im Nachweis saisonaler Keimungsschwerpunkte, wie dies bei den hier untersuchten Arten beobachtet wurde, sieht Schütz (2000) eine Reaktion auf das temporäre Erscheinen von Regenerationsnischen („safe-sites“). Mechanismen, Lücken in der Vegetation zu nutzen, kommen bei Arten vor, deren Regeneration an das Auftreten derartiger Lücken im Frühjahr gebunden ist.

Dormanz und Samenbankdauer

Mittels Dormanz wird eine Keimung zu einem Zeitpunkt verhindert, wenn diese zwar möglich wäre, aber die Voraussetzungen für das Überleben und das Wachstum des Keimlings ungünstig sind (Fenner und Thompson 2005). Darüber hinaus wird durch eine Hemmung der Keimung der Aufbau einer Samenbank ermöglicht. Grime et al. (1981) sehen einen möglichen Zusammenhang zwischen Mechanismen einer verzögerten Keimung und der Bildung einer Diasporenbank.

Thompson et al. (1997) definieren drei Typen von Diasporenbanken: a) *transient* (kurzlebig) – die Diasporen überleben im Boden weniger als 1 Jahr, b) *short term persistent* (mittellebig) – die Diasporen

überleben im Boden 1-5 Jahre und c) *long term persistent* (langlebig) – die Diasporen überleben im Boden länger als 5 Jahre.

Eine langlebige Diasporenbank kann Populationen gegen einen Verlust in ungünstigen Jahren abpuffern (Fischer und Matthies 1998). Adams et al. (2005) betrachten das Überleben von Arten in Form von Samen als eine wesentliche Voraussetzung für das Wachstum von Populationen. Damit ist die Lebensdauer von Samen, die durch Dormanz reguliert wird, ein bedeutender Aspekt der Keimungs- und Regenerationsbiologie von Arten.

Die Samen von *Arnica montana* unterliegen keiner Dormanz. Aufgrund dieser Eigenschaft und der unspezifischen Ansprüche an die Keimungsbedingungen laufen die Samen unmittelbar nach der natürlichen Ausstreu bereits im Herbst auf. Die Samen sind nur kurzlebig, unter feuchten Bedingungen verlieren sie ihre Lebensfähigkeit, nach 22 Wochen waren weniger als 20 % der nicht gekeimten Samen vital. Daher bauen die Samen von *Arnica montana* nach der Definition von Thompson et al. (1997) nur eine kurzlebige Samenbank auf, und die gesamte Samenproduktion einer Vegetationsperiode ist bis zur nächsten Vegetationsperiode aufgebraucht. Besonders bei den Samen, die in 25 cm Tiefe vergraben wurden, blieben nur 1 % nach dem ersten Winter vital. Hier bewirkte der frühere Vergrabungstermin im Oktober möglicherweise die Keimung der Samen bereits im Herbst.

Im Unterschied dazu unterliegen die Samen von *Iris sibirica* zumindest teilweise einer Dormanz. Hierfür sprechen die ausbleibende Keimung bei Kälte sowie die erst nach 6 bzw. 20 Wochen einsetzende Keimung in der Warmvariante und die hier über einen langen Zeitraum verlaufende Keimung. Möglicherweise hatte das Ausbringen der Samen in den Keimschrank eine stratifizierende Wirkung, die kontinuierlich zur Keimung einzelner Samen führte. Dies wird durch die Ergebnisse des Stratifikationsversuchs untermauert.

Anhand der geringen Zahl an Keimlingen in den Säckchen und der geringen Keimungsrate im Dunkeln im Laborversuch kann vermutet werden, dass eine Hemmung der Keimung bei Dunkelheit den Aufbau einer Samenbank ermöglicht.

Grime et al. (1981) beschreiben für viele Arten, die eine Diasporenbank bilden, eine Keimungshemmung bei Dunkelheit. Wie die Vergrabungsversuche zeigen, baut *Iris sibirica* mit einem hohen Anteil der Samen zumindest eine mittellebige Samenbank auf. Bei Untersuchungen in Stromtalwiesen des Oberrheins baute *Iris sibirica* eine transiente oder kurzfristig persistente Samenbank auf (Hölzel et al. 2006). Bei den Beständen im Osterzgebirge besteht jedoch aufgrund des hohen Anteils an Samen, welche eine vierjährige Vergrabungsdauer überlebt haben, das Potenzial für eine langlebige Samenbank. Die jeweils im Frühjahr beobachteten höheren Keimungsraten der ausgegrabenen Samen sind ein Hinweis auf einen zyklischen Verlauf der Dormanz. Die Lagerung im Boden führte hier vermutlich zu einer Stratifizierung der Samen, die jedoch im Verlauf des Sommers wieder eine Dormanz erlangten.

Zunächst erscheint es, dass die Samen von *Primula veris* sofort keimungsfähig sind, da im Keimungsversuch zwischen den Varianten stratifiziert/nicht stratifiziert keine deutlichen Unterschiede in der Keimungsrate zu erkennen sind. Für eine zumindest teilweise Dormanz der Samen von *Primula veris* sprechen aber verschiedene Beobachtungen: Die hohe Keimungsrate von *Primula veris* in der Kaltvariante wurde über einen Zeitraum von 22 Wochen erzielt, wobei die Keimung erst nach 6 Wochen einsetzte und die Samen dann kontinuierlich keimten. Möglicherweise wirkten die Versuchsbedingungen in den Petrischalen bei einem Wechsel von 8 °C/5 °C stratifizierend auf die Samen, was zu einem schnelleren Keimverlauf führte und eine Keimung bei Dunkelheit ermöglichte. Baskin und Baskin (2001) schlagen daher vor, Keimungsversuche nach maximal 4 Wochen zu beenden. Auch die Untersuchungen von Milberg (1994) deuten darauf hin, dass die Samen von *Primula veris* bei der Samenausbreitung dormant sind und die Dormanz durch Kältestra-

tifikation gebrochen werden kann. Untersuchungen zur Nachreife-fähigkeit von Samen zeigten mit Verschiebung des Erntetermins in den Hochsommer eine deutliche Abnahme der spontanen Keimung (Daten unveröffentlicht).

Die in den Keimungsversuchen beobachtete Fähigkeit, bei Kälte und Dunkelheit zu keimen, widerspricht außerdem zunächst dem Aufbau einer Samenbank. Das Auskeimen der Samen in den vergrabenen Säckchen muss daher durch eine Dormanz der Samen unterbunden worden sein. Dies ermöglicht den Samen von *Primula veris* die Bildung einer Samenbank, die zumindest mittellegig ist. Auch besteht das Potenzial für den Aufbau einer dauerhaften Samenbank. Die insgesamt nach dem Ausgraben geringe Keimungsrate der Samen in der Klimakammer im Vergleich zu deren Lebensfähigkeit kann ein Hinweis auf eine sekundäre Dormanz sein. Diese verläuft möglicherweise zyklisch, da besonders bei den in den Sommermonaten bis zum Herbst ausgegrabenen Samen der Anteil keimfähiger Samen geringer zu sein scheint, und würde damit die Annahmen von Milberg (1994) bestätigen.

Da die Populationen der untersuchten Arten im Untersuchungsgebiet ein hohes generatives Reproduktionspotenzial besitzen, sind für den Erhalt und die Vergrößerung der noch vorhandenen Populationen die nötigen Keimungs- und Schutzstellen herzustellen. So sehen Ehrlén et al. (2005) in der Etablierung von Keimlingen die Schlüsselphase im Lebenszyklus von *Primula veris*. In zahlreichen Untersuchungen wurde belegt, dass die Keimung von Diasporen am natürlichen Standort durch die Schaffung offener Bereiche gefördert werden kann (z. B. Kotorova und Leps 1999, Isselstein et al. 2002, Stammel et al. 2006). Sollen Samen ausgesät werden oder die Keimungsbedingungen durch Keimungs- und Schutzstellen verbessert werden, sind die individuellen Zeitfenster der Keimung zu berücksichtigen. Wird der Zeitpunkt der natürlichen Ausstreu für das Ausbringen der Samen gewählt, kann damit eine Dormanz der Samen durch den Einfluss natürlicher Umweltbedingungen aufgehoben werden und die Keimung zu dem für die jeweilige Art günstigen Zeitpunkt erfolgen.

Die aus Experimenten *ex situ* und unter halbnatürlichen Bedingungen gewonnenen Ergebnisse stellen einen ersten Schritt beim Erkenntnisgewinn zum Erhalt und zur Förderung seltener und gefährdeter Pflanzenarten und deren Populationen in den Bergwiesen dar. Diese können nun aufgegriffen und an die im Lebensraum gegebenen Bedingungen angepasst werden.

Danksagung

Gedankt wird dem BfN für die Finanzierung des E+E-Vorhabens „Grünlandverbund Osterzgebirge am Beispiel des Oelsener Gebietes“, innerhalb dessen die Arbeit entstand. Die Erstautorin bedankt sich für die Förderung durch die Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e. V. Ein herzliches Dankeschön gilt Frau Prof. Dr. Birgit Felink für die wertvollen Diskussionen und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

- Abs C. 2002. Lebensfähigkeitsanalyse der gefährdeten Quellflurarten *Cochlearia bavaria* Vogt und *Cochlearia pyrenaica* DC. Diss. Bot. 367
- Adams V.M., Marsh D.M., Knox J.S. 2005. Importance of the seed bank for population viability and population monitoring in a threatened wetland herb. *Biol. Conservation* 124, 425-436
- Andersson L., Milberg P. 1998. Variation in seed dormancy among mother plants, populations and years of collection. *Seed Science Research* 8, 29-38
- BArtSchV (Bundesartenschutzverordnung) 1999. Verordnung zum Schutz wild lebender Tier- und Pflanzenarten vom 14. Oktober 1999, geändert durch Verordnung vom 21. Dezember 1999. Bonn
- Baskin C.C., Baskin J.M. 2001. Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, London
- Bartla D., Benesch-Arnold R.L. 2005. Changes in the light sensitivity of buried *Polygonum aviculare* seeds in relation to cold-induced dormancy loss: Development of a predictive model. *New Phytol.* 165, 445-452
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.) 1996. Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schr.-R. Vegetationsk., Heft 28
- Bissels S., Donath T.W., Hölzel N., Otte A. 2006. Effects of different mowing regimes on seedling recruitment in alluvial grasslands. *Basic Appl. Ecol.* 7, 433-442
- Bomme U., Daniel G. 1994. Erste Untersuchungsergebnisse zur Auslesezüchtung bei *Arnica montana* L. *Gartenbauwissenschaft* 59, 67
- Eckstein L. 2007. Populationsbiologie seltener Pflanzenarten: Effekte ökologischer und genetischer Prozesse für das Wachstum und die Vitalität von Populationen dreier gefährdeter Stromtalveilchen. Habilitationsschrift Justus-Liebig-Universität Gießen
- Ehrlén J., Syrjänen K., Leimu R., Garcia M.B., Lehtila K. 2005. Land use and population growth of *Primula veris*: an experimental demographic approach. *Journal of Applied Ecology* 42, 317-326
- Fenner M. 1985. Seed ecology. Chapman and Hall, London
- Fenner M., Thompson K. 2005. The ecology of seeds. Cambridge University Press, UK
- Fischer M. 1998. Über die Ursachen der Gefährdung lokaler Pflanzenpopulationen. *Bauhinia* 12, 9-21
- Fischer M., Matthies D. 1998. Experimental demography of the rare *Gentianella germanica*: seed bank formation and microsite effects on seedling establishment. *Ecography* 21, 269-278
- Gibson D.J. 2002. Methods in comparative plant population ecology. Oxford University Press, New York
- Grime J.P., Mason G., Curtis A.V., Rodman J., Band S.R., Mowforth M.A.G., Neal A.M., Shaw S. 1981. A comparative study of germination characteristics in a local flora. *J. Ecol.* 69, 1017-1059
- Grime J.P., Hogson J.G., Hunt R. 1988. Comparative plant ecology: A functional approach to common British species. Unwin Hyman, London
- Hachmöller B., Terne F. 1999. Entwicklung der Vorkommen ausgewählter Pflanzenarten der submontanen und montanen Grünlandgesellschaften im Raum Oelsen seit 1920. *Ber. AG Sächsischer Botaniker NF* 17, 139-169
- Hitchmough J.D. 2003. Effects of sward height, gap size, and slug grazing on emergence and establishment of *Trollius europaeus* (Globeflower). *Restoration Ecology* 11, 20-28
- Hölzel N., Bissels S., Donath T.W., Handke K., Harnisch M., Otte A. 2006. Renaturierung von Stromtalwiesen am hessischen Oberrhein. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 31, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn-Bad Godesberg
- Hundt R. 1980. Die Bergwiesen des herzynischen niederösterreichischen Waldviertels in vergleichender Betrachtung mit der Wiesenvegetation der herzynischen Mittelgebirge der DDR. *Phytocoenologia* 7 (Festband Tüxen), 364-391
- Isselstein J., Tallwin J.R.B., Smith R.E.N. 2002. *Restoration Ecology* 10/2, 173-84
- Jackel A.K., Poschlod P. 1996. Why are some plant species of fragmented continental dry grasslands frequent and some rare? – The role of germination and establishment. In: Settele J., Margules C., Poschlod P., Henle K. (eds.) *Species survival in fragmented landscapes*. Kluwer, Dordrecht, 204-208
- Jensen K., Gutekunst K. 2003. Effects of litter on establishment of grassland plant species: The role of seed size and successional status. *Basic Appl. Ecol.* 4, 579-587
- Kahmen S. 1998. Gefährdungsanalyse von *Arnica montana* L. im Biosphärenreservat Rhön unter besonderer Berücksichtigung populationsgenetischer Fragestellungen. Diplomarbeit Philipps-Universität Marburg, unveröff.
- Kery M., Matthies D., Spillmann H.-H. 2000. Reduced fecundity and offspring performance in small populations of the declining grassland plants *Primula veris* and *Gentiana lutea*. *Journal of Ecology* 88, 17-30
- Kotorova L., Leps J. 1999. Comparative ecology of seedling recruitment in an oligotrophic wet meadow. *J. Veg. Sci.* 10, 175-186
- LfUG (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (Hrsg.) 1999. Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen. Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege. Dresden
- Menges E.S. 1991. Seed germination percentage increases with the population size in a fragmented prairie species. *Conservation Biol.* 5, 158-164
- Milberg P. 1994. Germination ecology of the polycarpic grassland perennials *Primula veris* and *Trollius europaeus*. *Ecography* 17, 3-8
- Mückschel C. 2001. Zur Plastizität populationsbiologischer Merkmale aus-

- gewählter Magerrasenarten Südthüringens unter Beweidungseinfluss. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen
- Müller-Schneider P. 1986. Verbreitungsbiologie der Blütenpflanzen Graubündens. Veröff. Geobot. Inst. ETH Zürich 85
- Münzbergová Z. 2006. Effect of population size on the prospect of species survival. *Folia Geobotanica* 41, 137-150
- Oberdorfer E. 2001. Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8. Auflage, Stuttgart
- Patzelt A., Pfadenhauer J. 1998: Keimungsbiologie und Etablierung von Niedermoor-Arten bei Ansaat durch Mähgutübertragung. *Z. Ökologie u. Naturschutz* 7, 1-13
- Pegtel D.M. 1988. Germination in declining and common herbaceous plant populations co-occurring in an acid peaty heathland. *Acta Bot. Neerl.* 37 (2), 215-223
- Peppler C. 1992. Die Borstgrasrasen (Nardetalia) Westdeutschlands. *Diss. Bot.* 193
- Raabe E.-W., Saxen W. 1955. Über *Arnica montana* und den Nardus-Rasen. *Mitt. Arbeitsgem. Flor. Schleswig-Holstein, Hamburg* 5, 185-210
- Rothmaler W. (Begr.), Jäger E.J., Werner K. 2005. Exkursionsflora von Deutschland. Bd. 4 Gefäßpflanzen: Kritischer Band. 10. Aufl. München
- Schmidt P.A., Wilhelm E.-G., Eisenhauer D.-R. (Red.) 2008. Waldbehandlung, Waldmehrung und Auengestaltung unter Berücksichtigung von Hochwasservorsorge und Naturschutz im Osterzgebirge. Abschlussbericht zum DBU-Projekt. Landesverein Sächsischer Heimatschutz, Dresden
- Schopp-Guth A. 1993. Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftung auf populationsbiologische Merkmale von Streuwiesenpflanzen und das Samenpotential im Boden. *Diss. Bot.* 204
- Schütz W. 2000. The importance of seed regeneration strategies for the persistence of species in the changing landscape of Central Europe. *Z. Ökologie u. Naturschutz* 9, 73-83
- Schwabe A. 1990. Syndynamische Prozesse in Borstgrasrasen: Reaktionsmuster von Brachen nach erneuter Rinderbeweidung und Lebensrhythmus von *Arnica montana* L. *Carolinea* 48, 45-68
- Stammel B., Kiehl K., Pfadenhauer J. 2006. Effects of experimental and real land use on seedling recruitment of six fen species. *Basic Appl. Ecol.* 7, 334-346
- Stöcklin J., Fischer M. 1999. Plants with longer-lived seeds have lower local extinction rates in grassland remnants 1950-1985. *Oecologia* 120, 539-543
- Strykstra R.J., Pegtel D.M., Bergsma A. 1998. Dipersal distance and achene quality of the rare anemochorous species *Arnica montana* L.: Implications for conservation. *Acta Bot. Neerl.* 47(1), 45-56
- Thompson K., Bakker J.P., Bekker R.M. 1997. The soil seed banks of North West Europe. Methodology, density and longevity. Cambridge University Press
- Wedderburn F., Richards A.J. 1990. Variation in within-morph incompatibility inhibition sites in heteromorphic *Primula* L. *New Phytol.* 116, 149-162
- Zieverink M., Hachmöller B. 2003. Populationsökologische Untersuchungen an ausgewählten Zielarten des Osterzgebirges als Grundlage für Schutzmaßnahmen. *Hercynia N. F.* 36, 75-89