

# Der Scheidige Gelbsterne (*Gagea spathacea*): Schutzstrategien für eine Verantwortungsart in Deutschland

## The Belgian Gagea (*Gagea spathacea*): Conservation strategies for a species of special responsibility in Germany

Andreas Fichtner, Doris Jansen, Werner Härdtle, Diethart Matthies,  
Volker Arnold, Alexandra Erfmeier, Tanja Hemke, Silke Lütt, Marcus Schmidt,  
Knut Sturm, Goddert von Oheimb, Cordelia Wiebe und Bettina Ohse

### Zusammenfassung

Die Studie untersuchte die Perspektiven für den Schutz der bundesdeutschen Verantwortungsart Scheidiger Gelbsterne (*Gagea spathacea*) im Rahmen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Hierzu wurden autökologische und populationsbiologische Untersuchungen in verschiedenen Wäldern Norddeutschlands durchgeführt. Das Stickstoff-Angebot im Boden und die Bodenfeuchte beeinflussten positiv die Blattlänge und die Blütenbildung der Art und ihr Potenzial Tochterzwiebeln zu bilden. Ein höheres Lichtangebot führte lediglich zu einer vermehrten Blütenbildung. Die Populationsdichte wird in erster Linie offenbar vom Alter eines Waldstandorts beeinflusst. Verpflanzungsexperimente zeigten, dass eine Neuansiedlung der Art selbst in Wäldern mit optimalen Standortbedingungen schwierig ist. Schutzmaßnahmen sollten daher in erster Linie auf eine Erhaltung der bestehenden Populationen abzielen. Dabei spielen Feuchtwälder (Alno-Ulmion) eine besondere Rolle, da *G. spathacea* in diesen Waldgesellschaften besonders vital ist und große Populationen aufweist. Da Feuchtwälder im Tiefland sehr artenreich sind, kann mit einem Schutz von *G. spathacea* zugleich der Schutz vieler weiterer lebensraumtypischer Waldarten erreicht werden.

Biologische Vielfalt – Verantwortungsart – *Gagea spathacea* – Habitatkontinuität – Waldbewirtschaftung – Artenschutz – Wiederansiedlung

### Abstract

The present study analysed the outlook for long-term conservation, within the framework of sustainable forest management, of the Belgian Gagea (*Gagea spathacea*), a species for which Germany has a special responsibility. We conducted autecological and population ecological experiments in different forest communities in northern Germany. Soil nitrogen supply and soil moisture positively affected leaf length and flower formation of the plants as well as their potential to form bulbils. Light availability only had a positive effect on flower formation. Population density appears to be primarily determined by the ecological continuity of a forest site. Transplant experiments showed that even in forests with optimal site conditions, the reintroduction of the species failed to a large extent. Thus, conservation measures should primarily aim at preserving the existing populations. This holds particularly for moist forests (Alno-Ulmion), as the species grows most vigorously there and develops large populations. Given that lowland moist forests harbour an extraordinarily high biodiversity, action taken to conserve *G. spathacea* may at the same time contribute to the protection of many other habitat-specific forest species.

Biodiversity – Responsibility for species conservation – *Gagea spathacea* – Habitat continuity – Forest management – Species conservation – Reintroduction

Manuskripteinreichung: 1.3.2021, Annahme: 16.11.2021

DOI: 10.19217/NuL2022-02-02

## 1 Einleitung

Der Scheidige Gelbsterne (*Gagea spathacea*; Abb. 1, S. 72) ist ein Frühjahrsgeophyt und eine bundesweit seltene Laubwaldart, die ihr weltweit größtes Vorkommen im norddeutschen Tiefland hat. Der Kern dieses kleinen Areals liegt in Schleswig-Holstein, im westlichen Mecklenburg-Vorpommern und im nördlichen Niedersachsen. Damit zählt *G. spathacea* zu den „Verantwortungsarten“ der Bundesrepublik Deutschland (Schnittler, Günther 1999; Ludwig et al. 2007).

Bisherige vegetationskundliche Studien lassen erkennen, dass *Gagea spathacea* eine ausgesprochen stenöke (in engen ökologischen Amplituden vorkommende) Art ist (Diekmann et al. 2014).

Demzufolge ist zu erwarten, dass sie auf Änderungen ihrer Standortbedingungen (z. B. der trophischen oder hydrologischen Verhältnisse) besonders sensibel reagiert. Zudem ist *G. spathacea*, wie viele andere Waldarten, extrem ausbreitungsschwach, da sie über keine wirksamen Mechanismen der Fernausbreitung verfügt und sich offenbar ausschließlich vegetativ durch sogenannte Bulbillen (Brutzwiebeln) vermehrt und ausbreitet (Schnittler et al. 2009). Eine Neubesiedlung geeigneter Habitats dürfte somit allenfalls über sehr lange Zeiträume erfolgen.

Eine Bewertung der langfristigen Überlebensperspektiven und eine Ausarbeitung geeigneter Schutzmaßnahmen für diese Verantwortungsart erfordern detaillierte Kenntnisse ihrer Autökologie, d. h. ihrer Beziehung zu verschiedenen Umweltfaktoren. Bisherige

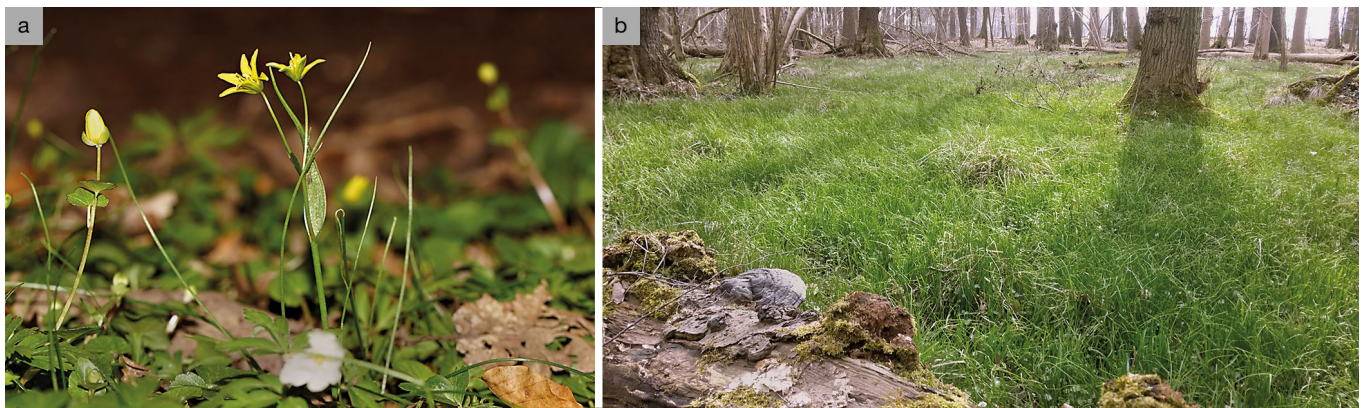


Abb. 1: a) Habitusbild von *Gagea spathacea* mit Grund- und Stängelblatt (mit namensgebender Spatha) und Blüte. b) *G. spathacea*-Rasen in einem Erlen-Eschenwald. (Fotos: a) Knut Sturm, b) Andreas Fichtner)

Fig. 1: a) Habitus of *Gagea spathacea* with basal and stem leaf (with characteristic spatha) and flower. b) Lawn-like population of *G. spathacea* in an alder-ash forest.

Untersuchungen widmeten sich in erster Linie der Genetik der Art, während Habitateignungsmodelle, die die Wirkung verschiedener Standortfaktoren auf das Vorkommen, das Wachstum und die Vitalität von *Gagea spathacea* bewerten, derzeit fehlen. Zudem ist unklar, ob (Wieder)ansiedlungen (durch aktive Verpflanzung) mit dem Ziel einer Vergrößerung oder Stabilisierung lokaler Populationen auf geeigneten Waldflächen langfristig erfolgreich sind.

Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens im Rahmen der Förderinitiative „Forschung zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (F & U NBS) mit dem Titel „Der Scheidige Gelbstern (*Gagea spathacea*) in Deutschland: Schutzstrategien im Rahmen einer nachhaltigen Waldnutzung in Zeiten globalen Wandels“ vorgestellt. Ziel der Studie war es,

- die Autökologie von *Gagea spathacea* besser zu verstehen sowie Standortansprüche und Gefährdungsfaktoren auf der Basis von Habitateignungsmodellen zu identifizieren;
- Perspektiven einer (Wieder)ansiedlung der Art an geeigneten (auch restituierten) Waldstandorten mithilfe von Verpflanzungsexperimenten („assisted migration“) zur Stabilisierung lokaler Populationen zu untersuchen;

- Empfehlungen für die Forstwirtschaft zu geben, um Populationen in Wirtschaftswäldern langfristig sichern zu können.

## 2 Methoden

Da *Gagea spathacea* die weltweit größten Vorkommen in Schleswig-Holstein aufweist, konzentrierten sich die Untersuchungen auf dieses Bundesland. Die Auswahl der Untersuchungsflächen fußt hier auf den Erhebungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg (Romahn et al. 2020). Zusätzlich wurde je eine Population in Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern untersucht.

### 2.1 Habitateignungsmodell

Zur Charakterisierung der Standortbedingungen und der Habitatansprüche von *Gagea spathacea* wurde ein Habitateignungsmodell erstellt; damit konnte die Bedeutung einzelner abiotischer Faktoren für die Vitalität, Abundanz und Blütenbildung der Art bewertet

Tab. 1: Einfluss der Waldgesellschaft (Fagion: Hordelymo-Fagetum und Galio-Fagetum; Carpinion: Stellario-Carpinetum; Alno-Ulmion: *Crepis paludosa-Fraxinus excelsior*-Gesellschaft) auf die Blattlänge, Dichte (Anzahl der Blätter pro Untersuchungsfläche) und die Blütenbildung (Wahrscheinlichkeit blühende Individuen auf einer Untersuchungsfläche anzutreffen) von *Gagea spathacea* sowie auf die Habitateigenschaften der Untersuchungsflächen (aus Fichtner et al. 2020). Angegeben sind Mittelwert und Standardfehler gemischter Modelle. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Waldgesellschaften ( $p \leq 0,05$ ; Tukey-Test). Daten aus Fichtner et al. (2020).

Table 1: Effect of forest community (Fagion: Hordelymo-Fagetum and Galio-Fagetum; Carpinion: Stellario-Carpinetum; Alno-Ulmion: *Crepis paludosa-Fraxinus excelsior* association) on leaf length, leaf density (number of leaves per study plot) and probability of flower formation of *Gagea spathacea* and on habitat characteristics of the investigated plots (taken from Fichtner et al. 2020). Means and standard errors were obtained from linear mixed-effects models. Different letters indicate significant differences among forest types ( $p \leq 0.05$ ; Tukey test). Data taken from Fichtner et al. (2020).

	Fagion (Buchenwälder)	Carpinion (Eichen-Hainbuchenwälder)	Alno-Ulmion (Feuchtwälder)
<b><i>Gagea spathacea</i></b>			
Blattlänge [cm]	8,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	8,8 ± 0,6 <sup>a</sup>	10,2 ± 0,4 <sup>b</sup>
Dichte (Anzahl der Blätter pro 0,25 m <sup>2</sup> )	255,0 ± 26,4 <sup>a</sup>	324,5 ± 41,0 <sup>ab</sup>	390,9 ± 24,0 <sup>b</sup>
Blütenbildung [%]	19,0 ± 6,7 <sup>a</sup>	16,0 ± 8,5 <sup>a</sup>	55,2 ± 7,8 <sup>b</sup>
<b>Habitateigenschaften</b>			
Mittlerer Ellenberg-Zeigerwert für Bodenfeuchte	5,50 (0,05) <sup>a</sup>	5,43 (0,06) <sup>a</sup>	6,11 (0,05) <sup>b</sup>
Lichtverfügbarkeit am Waldboden [%]	47,37 (1,31) <sup>a</sup>	46,26 (1,55) <sup>a</sup>	53,32 (0,78) <sup>b</sup>
pH-Wert in H <sub>2</sub> O	4,81 (0,09) <sup>ab</sup>	4,53 (0,09) <sup>a</sup>	4,93 (0,08) <sup>b</sup>
Kohlenstoffgehalt (C) [%]	5,54 (0,33) <sup>a</sup>	5,15 (0,34) <sup>a</sup>	7,45 (0,29) <sup>b</sup>
Stickstoffgehalt (N) [%]	0,40 (0,02) <sup>a</sup>	0,37 (0,02) <sup>a</sup>	0,57 (0,02) <sup>b</sup>
C/N-Verhältnis	13,54 (0,24) <sup>a</sup>	13,89 (0,21) <sup>a</sup>	12,87 (0,11) <sup>b</sup>
S-Wert [mval/100 cm <sup>3</sup> ]	8,52 (0,44) <sup>a</sup>	6,52 (0,47) <sup>a</sup>	10,55 (0,49) <sup>b</sup>
Basensättigung [%]	57,16 (2,30) <sup>a</sup>	53,06 (3,18) <sup>a</sup>	64,22 (2,30) <sup>b</sup>
Kationenaustauschkapazität [mval/100 cm <sup>3</sup> ]	15,24 (0,64) <sup>a</sup>	12,70 (0,68) <sup>b</sup>	16,81 (0,49) <sup>ab</sup>

werden. Hierzu wurden in den Jahren 2015 und 2016 von Mitte März bis Anfang April insgesamt 40 *G. spathacea*-Populationen in drei verschiedenen Waldtypen (Gesellschaften des Fagion = Buchenwälder, Gesellschaften des Carpinion = Eichen-Hainbuchenwälder und Gesellschaften des Alno-Ulmion = Feuchtwälder) untersucht, die sich auf insgesamt 29 Waldgebiete verteilen. In 0,5 m × 0,5 m großen Untersuchungsflächen wurden die folgenden Variablen erfasst:

- Blattlänge von mindestens 30 randomisiert ausgewählten Individuen; die Blattlänge von *G. spathacea* ist ein guter Indikator für die Vitalität eines Individuums, da sie eng mit der Größe der Mutterzwiebel und der Anzahl von Tochterzwiebeln, einem Maß für das vegetative Ausbreitungspotenzial, korreliert (Schnittler et al. 2009);
- Anzahl der Blätter („Dichte“);
- Anzahl blühender Individuen; aufgrund der geringen Blühfrequenz der Art (Diekmann et al. 2014) wurde das Vorkommen blühender Individuen in einer Untersuchungsfläche („Blütenbildung“) im Modell berücksichtigt.

Zur Charakterisierung der abiotischen Standortbedingungen wurden mehrere bodenchemische Eigenschaften des oberen Mineralbodens (0–5 cm) ermittelt: Kohlenstoff(C)- und Stickstoff(N)-Gehalt, C/N-Verhältnis, austauschbare Basen (S-Wert), Basensättigung (BS) und Kationenaustauschkapazität (KAK). Zudem wurde in 5 m × 5 m großen Untersuchungsflächen die Vegetation der Kraut- und Mooschicht aufgenommen und hieraus der Ellenberg-Indikatorwert für Bodenfeuchte berechnet (Ellenberg et al. 1991; Tab. 1). Die Lichtverfügbarkeit am Waldboden wurde mithilfe hemisphärischer Fotos quantifiziert. Mit einem Strukturgleichungsmodell wurden verschiedene Kausalzusammenhänge zwischen abiotischen Habitatbedingungen und morphologischen und populationsbiologischen Eigenschaften (s.o.) der Art getestet. Eine detaillierte Beschreibung des Versuchsdesigns findet sich bei Fichtner et al. (2020).

## 2.2 Verpflanzungsexperiment

Zur Beurteilung der Restituierbarkeit von Waldstandorten und der Chancen einer (Wieder)ansiedlung von *Gagea spathacea* wurden 2014 auf 42 eingezäunten Untersuchungsflächen in 11 Wäldern der Alt- und Jungmoräne Schleswig-Holsteins insgesamt 1.512 Individuen angepflanzt (36 Individuen pro Untersuchungsfläche in einem Abstand von 20 cm × 20 cm). Die Pflanzung erfolgte Mitte März innerhalb von 5 Tagen. Es wurden 3 verschiedene Untersuchungsvarianten mit je 14 Replikaten etabliert:

- Flächen in naturnahen, bodenfrischen bis -nassen, nährstoffreichen Laubmischwäldern mit rezemtem, großflächigem Vorkommen von *G. spathacea* (NB+; für naturnahe Waldbestände mit *Gagea*);
- Flächen in naturnahen, bodenfrischen bis -nassen, nährstoffreichen Laubmischwäldern ohne rezente Vorkommen von *G. spathacea* (NB-; für naturnahe Waldbestände ohne *Gagea*);
- Ehemalige, aber restituierte Nadelholzbestände (d. h. Überführung in Laubholzbestockung) auf potenziellen *G. spathacea*-Standorten, aber ohne rezente Vorkommen von *G. spathacea* (RB-; für restituierte Waldbestände ohne *Gagea*).

Die Pflanzen wurden jeweils mehreren großen Spenderpopulationen der Alt- und der Jungmoräne entnommen und Pflanzen beider Typen von Populationen wurden in jede Untersuchungsfläche gepflanzt. Zur Beurteilung des Etablierungserfolgs wurden die Untersuchungsflächen über vier Untersuchungsjahre (2015–2018) jeweils dreimal (am Anfang, in der Mitte und zum Ende der Vegetationsperiode von *Gagea spathacea*) aufgesucht und das Vorkommen bzw. das Überleben der verpflanzten Individuen wurde erfasst. Zur Analyse der jährlichen Überlebenswahrscheinlichkeit wurden verallgemeinerte lineare gemischte Modelle (GLMMs) mit einer Binomial-Verteilung der Fehler verwendet. Die Variationen

zwischen den Untersuchungsflächen und Wäldern wurden als zufällige Effekte berücksichtigt. Ein Individuum wurde als „lebend“ bewertet, wenn es an mindestens einem der drei jährlichen Erhebungstermine sichtbar war. Dies erlaubt es, den Etablierungserfolg unabhängig von phänologischen Effekten und stochastischen Prozessen zu beurteilen.

Zur Beurteilung des Einflusses der Standortbedingungen auf den Etablierungserfolg der Art wurde eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) durchgeführt, gefolgt von einem Post-hoc-Test (Bonferroni-Korrektur). Bei einer MANOVA wird der Einfluss einer unabhängigen Variablen auf mehrere abhängige Variablen gleichzeitig getestet. Als abhängige Variablen wurden bodenchemische Kenngrößen des Mineralbodens (0–5 cm; C/N-Verhältnis, pH- und S-Wert), die Bodentiefe des Auftretens hydromorpher Merkmale innerhalb der obersten 100 cm des Mineralbodens (als Proxy für die Wasserversorgung) sowie der Deckungsgrad der Krautschicht in der Mitte der Vegetationsperiode von *Gagea spathacea* (als Proxy für die Konkurrenzbedingungen) berücksichtigt. Die Untersuchungsvariante wurde als unabhängige Variable und der Wald als Fehlerterm berücksichtigt. Die Daten wurden im März 2015 erhoben. Die natürliche Entwicklung der Krautschicht auf den Untersuchungsflächen wurde im Verlauf des Experiments nicht gestört.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Habitatansprüche von *Gagea spathacea*

Wie das Strukturgleichungsmodell (Abb. 2, S. 74) zeigt, hatte das N-Angebot (N-Gehalt des oberen Mineralbodens; Tab. 1) einen signifikant positiven Einfluss auf die Blattlänge, die Blütenbildung und – in gewissem Ausmaß – auch auf die Populationsdichte von *Gagea spathacea*. Die Bodenfeuchte (mittlerer Ellenberg-Zeigerwert für die Bodenfeuchte; Tab. 1) beeinflusste positiv die Blattlänge und die Blütenbildung, während das Lichtangebot (Tab. 1) lediglich positiv auf die Blütenbildung wirkte. N-Angebot und Bodenfeuchte beeinflussen somit signifikant die Vitalität der Art wie auch ihr Potenzial, Tochterzwiebeln zu bilden (aufgrund der engen Korrelation mit der Blattlänge; Schnittler et al. 2009).

Da sich im norddeutschen Tiefland besonders Feuchtwälder des Alno-Ulmion durch eine hohe Bodenfeuchte wie auch ein hohes N-Angebot auszeichnen (im Vergleich zu Waldgesellschaften des Carpinion und des Fagion; Fichtner et al. 2020), erklären diese Befunde, warum *Gagea spathacea* in Feuchtwäldern die mit Abstand höchste Vitalität und Wüchsigkeit aufwies (Tab. 1). So hatten Individuen der Art in Alno-Ulmion-Gesellschaften mit durchschnittlich 10,2 cm signifikant längere Blätter als in Carpinion- oder Fagion-Gesellschaften. Zudem war in Alno-Ulmion-Gesellschaften die Wahrscheinlichkeit, blühende Individuen in einer Population anzutreffen, bei weitem am höchsten (55 %; Tab. 1). Der hohe N-Bedarf der Art spiegelt sich zudem in ihrem Vermögen wider, den in den Blättern gespeicherten Stickstoff vor deren Absterben effizient in die Zwiebel zu verlagern. Dabei wurde eine Rückverlagerungs-Effizienz von 68 % des gespeicherten Blattstickstoffs nachgewiesen (Fichtner et al. 2018).

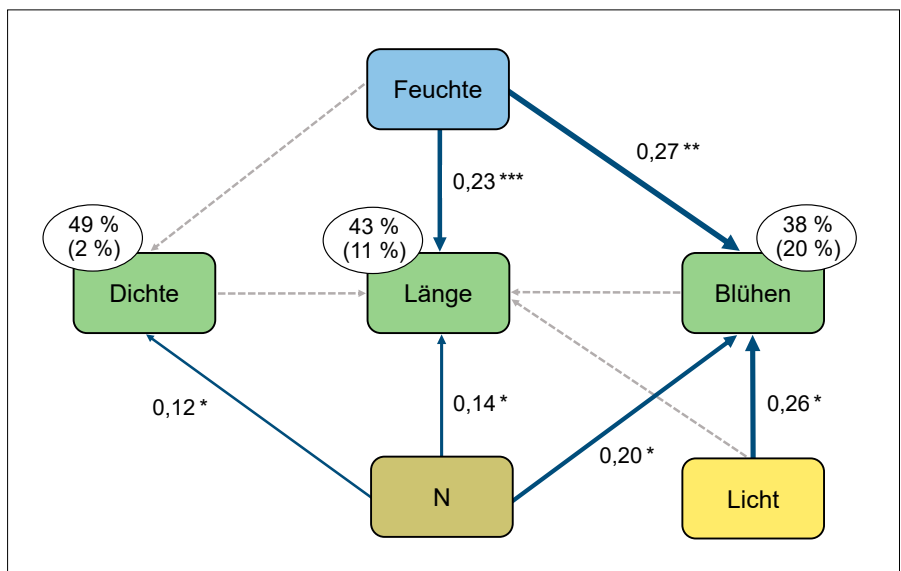
Während die abiotischen Standortbedingungen jedoch nur zu einem geringen Anteil die Populationsdichte beeinflussten (2 %), wurden 47 % der Variation in der Populationsdichte durch den Wald, in dem die Population wuchs (im Strukturgleichungsmodell als Zufallsvariable behandelt) erklärt. Dieser Befund deutet darauf hin, dass die Größe einer *Gagea spathacea*-Population bzw. ihre Populationsdichte weniger von den aktuell vorherrschenden Standortbedingungen als vielmehr vom Alter eines Waldstandorts bzw. der Habitatkontinuität bestimmt wird (Fichtner et al. 2020). Diese Schlussfolgerung ist primär auf das geringe Ausbreitungspotenzial der Art, die sich ausschließlich vegetativ durch Tochterzwiebeln vermehrt und ausbreitet (Pfeiffer et al. 2011), zurückzuführen. Tochterzwiebeln werden in der Regel nur über kurze Entfernungen,

beispielsweise durch Ameisen, ausgebreitet (Graae 2000). Denkbar wäre zudem, dass Bodentranslokationen (mit darin befindlichen Bulbillen) durch Maulwürfe oder Mäuse (Arnold, Fichtner 2018), durch die Grabtätigkeit von Schwarzwild (Schnittler et al. 2009) sowie durch prähistorische landwirtschaftliche Praktiken (Arnold, Fichtner 2018) oder durch forstliche Tätigkeiten (Wegbau, Grabenaushub, Fahrzeuge) bewirkt wurden bzw. werden (d.h. stochastische Ausbreitungsprozesse; Heinken et al. 2006). Obwohl die Bedeutung unterschiedlicher Ausbreitungsmechanismen bisher ungeklärt ist, unterstreichen die Ergebnisse die zentrale Bedeutung der „ökologischen Kontinuität“ für die Populationsdichte der Art (Fichtner et al. 2020).

Da sich Feuchtwälder des Tieflands durch eine hohe Diversität auszeichnen (auch in Bezug auf Moose, Flechten und Pilze; Härdtle et al. 2020) und *Gagea spathacea* in diesen Wäldern die höchste Stetigkeit und Vitalität aufweist, kann mit einem Schutz des Scheidigen Gelbsterns zugleich der Schutz vieler lebensraumtypischer und mitunter gefährdeter Waldarten erreicht werden. Häufige mit *G. spathacea* vorkommende Arten sind Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*), Scharbockskraut (*Ficaria verna*), Große Sternmiere (*Stellaria holostea*) und Echte Goldnessel (*Galeobdolon luteum*). Zu den bezeichnenden und teilweise seltenen (Feucht)waldarten, die in den untersuchten Wäldern vorkommen, zählen beispielsweise Wiesen-Schachtelhalm (*Equisetum pratense*), Wald-Bingelkraut (*Mercurialis perennis*), Einbeere (*Paris quadrifolia*), Hohe Primel (*Primula elatior*), Schaftlose Primel (*P. vulgaris*), Dunkles Lungenkraut (*Pulmonaria obscura*), Wolliger Hahnenfuß (*Ranunculus lanuginosus*), Wald-Sanikel (*Sanicula europaea*), Wald-Ziest (*Stachys sylvatica*), Berg-Ehrenpreis (*Veronica montana*) sowie Wald-Orchideen wie Fuchs' Knabenkraut (*Dactylorhiza fuchsii*), Großes Zweiblatt (*Listera ovata*) oder Grünlische Waldhyazinthe (*Platanthera chlorantha*) und Frühlingsgeophyten wie Moschuskraut (*Adoxa moschatellina*), Bärlauch (*Allium ursinum*), Gelbes Windröschen (*Anemone ranunculoides*), Gefleckter Aronstab (*Arum maculatum*), Hohler Lerchensporn (*Corydalis cava*) und Wald-Gelbstern (*G. lutea*). *G. spathacea* könnte daher als „Schirmart“ für die biologische Vielfalt in norddeutschen Laubwaldökosystemen dienen (Fichtner et al. 2020).

### 3.2 Chancen einer (Wieder)ansiedlung von *Gagea spathacea*

Die Ergebnisse des (Wieder)ansiedlungsexperiments zeigen, dass sowohl der Habitattyp als auch die Zeit nach der Ansiedlung einen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der Individuen besitzen. Innerhalb von vier Jahren nahm die Anzahl an Individuen in allen Varianten ab. Allerdings war die Abnahme der Anzahl überlebender Pflanzen in naturnahen (NB –)



**Abb. 2:** Strukturgleichungsmodell zu den Habitatansprüchen von *Gagea spathacea*, das die Reaktionen der Pflanze wie Blattdichte (Dichte), Blattlänge (Länge) und Wahrscheinlichkeit der Blütenbildung (Blüten) auf verschiedene Lebensraumbedingungen wie Bodenfeuchte (Feuchte), Stickstoffangebot (N) und Lichtverfügbarkeit am Waldboden (Licht) beschreibt. Durchgezogene Pfeile kennzeichnen signifikante Effekte mit Angabe der Effektstärke (Signifikanzniveaus: \*  $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$ ). Die Prozentzahlen beziehen sich auf die durch die Prädiktoren erklärte Varianz mit Berücksichtigung zufälliger Effekte (Untersuchungsfläche und Waldstandort) bzw. ohne Berücksichtigung dieser Effekte (in Klammern). Graphik verändert nach Fichtner et al. (2020).

**Fig. 2:** Path model of habitat requirements of *Gagea spathacea* linking plant performance in terms of leaf density, leaf length, probability of flower formation and local habitat conditions (soil moisture, soil nitrogen concentration and light availability on the forest floor). Solid arrows denote significant pathways for which effect sizes are given (level of significance: \*  $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$ ). Percentage values denote the proportion of variance explained by the predictors taking random effects (plot and site) into account and without considering random effects (in parentheses). Figure modified after Fichtner et al. (2020).

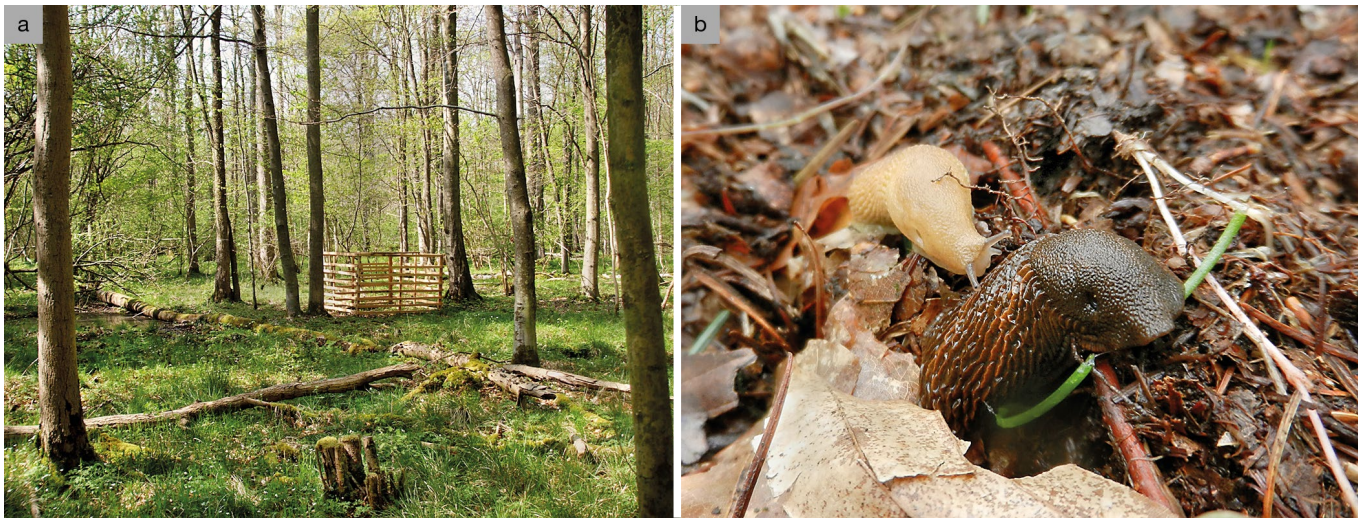
**Tab. 2:** Effekte des Habitattyps (Untersuchungsvariante) und der Zeit (Untersuchungsjahr) auf die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit (%) verpflanzter *Gagea spathacea*-Individuen. Angegeben sind Mittelwert und Standardfehler verallgemeinerter linearer gemischter Modelle (GLMMs). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Habitattypen ( $p < 0,001$ ; Tukey-Test).

Table 2: Effects of habitat type (treatment) and time (study year) on the predicted probability (%) of survival of *Gagea spathacea*. Means and standard errors were obtained from generalised linear mixed-effects models (GLMMs). Different letters indicate significant differences among treatments ( $p < 0,001$ ; Tukey test).

Jahr	NB +	NB –	RB –
2015	97,6 ± 2,1 <sup>a</sup>	81,2 ± 10,3 <sup>b</sup>	80,4 ± 10,9 <sup>b</sup>
2016	88,3 ± 7,8 <sup>a</sup>	27,3 ± 14,0 <sup>b</sup>	33,2 ± 15,4 <sup>b</sup>
2017	72,5 ± 14,5 <sup>a</sup>	12,5 ± 8,8 <sup>b</sup>	16,7 ± 10,4 <sup>b</sup>
2018	55,7 ± 20,4 <sup>a</sup>	3,1 ± 3,1 <sup>b</sup>	9,1 ± 7,6 <sup>b</sup>

NB + = naturnahe Waldbestände mit *Gagea spathacea*-Vorkommen, NB – = naturnahe Waldbestände ohne *G. spathacea*-Vorkommen, RB – = restituierte Waldbestände (vormals mit Nadelholz bestockt) ohne *G. spathacea*-Vorkommen

und restituierten (RB –) Beständen jeweils ohne rezente *Gagea spathacea*-Vorkommen deutlich stärker ausgeprägt als in naturnahen Beständen mit rezenten *G. spathacea*-Vorkommen (NB +; Abb. 3a). Während im ersten Jahr nach der Pflanzung die durchschnittliche Überlebenswahrscheinlichkeit der Individuen in allen drei Varianten vergleichsweise hoch war (NB +: 98 %, NB –: 81 %, RB –: 80 %), betrug sie nach 5 Jahren in den Varianten NB – und RB – weniger als 10 % (NB –: 3 %, RB –: 9 %; Tab. 2). Im Gegensatz dazu war in der Variante NB + am Ende des Untersuchungszeitraums im Mittel noch mehr als jedes zweite Individuum (56 %)



**Abb. 3:** a) Untersuchungsfläche in einem naturnahen, artenreichen Erlen-Eschenwald mit großen Vorkommen von *Gagea spathacea*. b) Eine Spanische Wegschnecke (*Arion vulgaris*) frisst an einem angepflanzten Individuum von *G. spathacea* auf einer der Restitutionsflächen. (Fotos: a) [Andreas Fichtner](#), b) [Doris Jansen](#))

Fig. 3: a) Study plot located in a near-natural, species-rich alder-ash forest with a large population of *Gagea spathacea*. b) Spanish slug (*Arion vulgaris*) browsing a transplanted individual of *G. spathacea* at a restored site.

vorhanden. Auffällig ist weiterhin, dass sich bereits im zweiten Jahr nach der Pflanzung die Mortalitätsraten in Beständen ohne rezente *G. spathacea*-Vorkommen mehr als verdreifacht hatten. Die Herkunft (Alt- versus Jungmoräne) des Pflanzmaterials hatte dagegen keinen statistisch nachweisbaren Einfluss auf den Etablierungserfolg der verpflanzten Individuen. Somit können (epi-)genetische Effekte ausgeschlossen werden.

Im Allgemeinen ist bei Wiederansiedlungsprojekten ein starker Rückgang der Etablierung mit zunehmender Zeit zu beobachten ([Godefroid et al. 2011](#)). Dies trifft vor allem auf Offenlandarten zu, die sich vorrangig über Samen vermehren bzw. ausgesät werden ([Godefroid et al. 2011](#)). Inwieweit sich langfristige Etablierungserfolge auf Waldarten – vor allem auf Zwiebel-Geophyten – übertragen lassen, ist bisher ungeklärt. Beispielsweise schwankte der Etablierungserfolg von Zwiebel-Geophyten, die außerhalb ihres Areals in Erlen-Eschenwäldern angepflanzt wurden, nach sieben Jahren im Mittel zwischen 98 % (Pyrenäen-Milchstern – *Ornithogalum pyrenaicum*) und 13 % (Zweiblättriger Blaustern – *Scilla bifolia*; [Van der Veken et al. 2012](#)). Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Überlebenschancen in der Variante NB+ in allen Jahren signifikant höher war als in NB–. Allerdings unterschieden sich beide Varianten nicht signifikant hinsichtlich ihrer Habitatsigenschaften (MANOVA:  $p = 0,72$ ).

Demgegenüber konnten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten NB+ und RB– (MANOVA:  $p_{\text{kor}} < 0,001$ ) sowie zwischen den Varianten NB– und RB– (MANOVA:  $p_{\text{kor}} < 0,01$ ) festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass Herbivorie (z. B. durch Schnecken oder Kleinsäuger; [Abb. 3b](#)) und weniger die Standortbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf den Etablierungserfolg der Art haben. Diese Schlussfolgerung deckt sich mit Befunden von [Ehrlén, Eriksson \(2000\)](#). Die Autoren konnten zeigen, dass der Etablierungserfolg ausgesäter Waldarten unabhängig von abiotischen Faktoren war.

Im Gegensatz dazu wurde in einem schwedischen Feuchtwald das Wald-Bingelkraut (*Mercurialis perennis*), eine typische Pflanze der Krautschicht in Wäldern mit *Gagea spathacea*-Vorkommen, ebenfalls in großem Umfang von der Spanischen Wegschnecke (*Arion vulgaris*) gefressen ([Brunet et al. 2016](#)). *G. spathacea* zählt zu den Frühjahrsgeophyten, die schon im zeitigen Frühjahr (Ende Februar – Anfang März) Blätter ausbilden können ([Diekmann et al. 2014](#)). In dieser Zeit weisen die Blätter einen Stickstoffgehalt von 5,4 % und ein C/N-Verhältnis von 7,7 auf

([Fichtner et al. 2018](#)). Somit ist die Art eine wichtige Nahrungsgrundlage für Schnecken in Zeiten, in denen am Waldboden, abgesehen von ersten zarten Blättern von *Ficaria verna*, meist nur wenig nahrhafte wintergrüne Arten (z. B. Echte Goldnessel – *Galeobdolon luteum* oder *Rubus*-Arten) zu finden sind. Da die Wahrscheinlichkeit, von Herbivoren befallen zu werden, mit zunehmender Abundanz der Art sinkt, liegt die Vermutung nahe, dass die verpflanzten Individuen auf Flächen ohne natürliche *G. spathacea*-Vorkommen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit gefressen werden.

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass eine (Wieder)ansiedlung von *Gagea spathacea* aus Sicht des Artenschutzes wenig Erfolg versprechend scheint. Somit ist der konsequente Schutz (großer) rezenter Populationen notwendig, um das Überleben der Art langfristig zu sichern. Solche Schutzmaßnahmen lassen sich beispielsweise durch eine naturnahe Waldbewirtschaftung (s. u.) und/oder eine Unterlassung der Waldnutzung realisieren. Inwieweit eine (Wieder)ansiedlung mit vielen hunderten (tausenden) Pflanzen (z. B. Pflanzung großer Plaggen) sinnvoll ist ([Godefroid et al. 2011](#)), konnte im Rahmen dieses Experiments nicht beurteilt werden.

Unsere Befunde belegen eindrucksvoll die Bedeutung von Langzeituntersuchungen zur Beurteilung des Erfolgs von Maßnahmen zur (Wieder)ansiedlung ausbreitungsschwacher (Wald)arten. Darüber hinaus unterstreichen sie die Notwendigkeit, komplexe lokale Habitatsigenschaften bei Wiederansiedlungsprojekten stärker zu berücksichtigen. Wir betonen allerdings, dass für den nachhaltigen Schutz dieser Verantwortungsart die Vermeidung der Degradation oder Zerstörung von Habitaten höchste Priorität haben sollte. Maßnahmen zur (Wieder)ansiedlung der Art oder Erhaltungskulturen in botanischen Gärten sollten, wenn überhaupt, eine untergeordnete Rolle spielen.

#### 4 Naturschutzfachliche und waldbauliche Empfehlungen

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die Vitalität von *Gagea spathacea* vor allem durch zwei Faktoren gesteuert wird: die Wasserversorgung, die meist eng mit der Basenversorgung korreliert ist (v. a. auf Standorten der Altmoräne), und die Stickstoffversorgung. Demgegenüber werden die Populationsgröße und -dichte vornehmlich durch die Habitatkontinuität beein-

**Kasten 1: Empfehlungen für die Forstwirtschaft zum langfristigen Schutz des Scheidigen Gelbsters (Gagea spathacea).**

Box 1: Recommendations for forest management aiming at long-term conservation of Belgian Gagea (*Gagea spathacea*).

Mit einem Schutz von *Gagea spathacea* kann zugleich der Schutz vieler lebensraumtypischer und mitunter gefährdeter Waldarten erreicht werden. Folgende Maßnahmen sind in diesem Zusammenhang besonders zielführend:

- Verzicht auf Meliorationsmaßnahmen, insbesondere Drainage, Senkung des Grundwasserspiegels oder sonstige Veränderungen der hydrologischen Verhältnisse.
- Verzicht auf den Anbau nicht heimischer Baumarten (z. B. Douglasie – *Pseudotsuga menziesii*), da diese den Aufbau einer standorttypischen Humusform sowie spezifische Lichtverhältnisse erheblich verändern. Im Rahmen des derzeit voranschreitenden und durch den Pilz Falsches Weißes Stengelbecherchen (*Hymenoscyphus fraxineus*) verursachten Eschentriebsterbens (mit der Esche als Hauptbaumart der für *G. spathacea* spezifischen Waldstandorte) sollten betroffene Eschenbestände keinesfalls in Forste mit nicht heimischen Baumarten (wie Hybrid-Pappeln – Gattung *Populus*) überführt werden.
- Hohe Holzvorräte begünstigen ein für typische Waldarten (und so für *G. spathacea*) förderliches Waldinnenklima.
- Vermeidung von Störungen der natürlichen Walddynamik (z. B. keine Störung der Naturverjüngung, bestands- und bodenschonende Verfahren des Transports gefällter Bäume inkl. weiter Abstände zwischen Rückegassen, kein Pestizideinsatz, keine größeren Kronenraumlücken, bevorzugt Einzelstamm-Nutzung).

flusst. Für den langfristigen Schutz dieser Verantwortungsart lassen sich daher folgende Handlungsoptionen ableiten (vgl. auch [Kasten 1](#)):

- *Gagea spathacea* ist eine extrem stenöke Art und kann deshalb besonders sensibel auf Änderungen ihres Lebensraums (z. B. Entwässerung, Anbau nicht heimischer Baumarten) reagieren. Daher sollten bestehende Populationen der Art durch konsequenten Schutz der Kontinuität und Integrität ihrer Habitate erhalten werden, um eine möglichst ungestörte Populationsentwicklung zu gewährleisten. Dies erfordert, jegliche Störungen der natürlichen Habitatbedingungen zu vermeiden.
- *Gagea spathacea* ist extrem ausbreitungsschwach und kann daher geeignete Wuchsorte nicht ohne Weiteres neu besiedeln. Eine (Wieder)ansiedlung der Art auf naturnahen Standorten sowie eine Restitution von Waldstandorten mit dem Ziel, für *G. spathacea* neue und geeignete Wuchsorte zu schaffen, scheinen wenig Erfolg versprechend.
- Zur Erhaltung der Habitatintegrität und -kontinuität sind aus waldbaulicher Sicht folgende Maßnahmen dringend zu empfehlen: Verzicht auf Meliorationsmaßnahmen (Drainage, Senkung des Grundwasserspiegels), Erhaltung und Förderung lebensraumtypischer Baumarten, Verzicht auf den Anbau von Nadelbäumen (z. B. Fichte – *Picea abies*, Douglasie – *Pseudotsuga menziesii*) und sonstigen nicht heimischen Baumarten (z. B. Hybrid-Pappeln – Gattung *Populus*), kein starkes Öffnen des Kronendachs durch Holzeinschlag (dies betrifft auch die großflächige Entnahme von Eschen – *Fraxinus excelsior*; siehe [Kasten 1](#)), Vermeidung von Störungen der natürlichen Walddynamik (z. B. der Naturverjüngung), Anwendung bestands- und bodenschonender Verfahren des Transports gefällter Bäume durch weite Abstände zwischen

Rückegassen (z. B. mindestens 50 m) und Verzicht auf schwere Maschinen (z. B. Harvester).

Da das Vorkommen von *Gagea spathacea* häufig Hotspots der Artenvielfalt in Waldökosystemen anzeigt, sind die aufgeführten Empfehlungen als generelle Hinweise zur Förderung eines nachhaltigen Biodiversitätsschutzes im Wald zu betrachten.

## 5 Literatur

- Arnold V., Fichtner A. (2018): Die Bedeutung urgeschichtlicher Ackerbausysteme für das Vorkommen des Scheidigen Goldsterns – *Gagea spathacea* (HAYNE) SALISB. – in Schleswig-Holstein: Beispiele aus Dithmarschen. Kieler Notizen zur Pflanzenkunde 43: 87 – 100.
- Brunet J., Hedwall P.O. et al. (2016): Disturbance of the herbaceous layer after invasion of an eutrophic temperate forest by wild boar. *Nordic Journal of Botany* 34(1): 120 – 128.
- Diekmann M., Härdtle W., Stoltenberg K. (2014): Verbreitung und Ökologie des Scheiden-Gelbsterns (*Gagea spathacea*). *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen* 47(2): 355 – 365.
- Ehrlén J., Eriksson O. (2000): Dispersal limitation and patch occupancy in forest herbs. *Ecology* 81(6): 1.667 – 1.674.
- Ellenberg H., Weber H.E. et al. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, Bd. 18. Goltze-Verlag, Göttingen: 248 S.
- Fichtner A., Härdtle W. et al. (2020): Safeguarding the rare woodland species *Gagea spathacea*: Understanding habitat requirements is not sufficient. *Plant Species Biology* 35: 120 – 129.
- Fichtner A., Matthies D. et al. (2018): Nitrogen cycling and storage in *Gagea spathacea* (Liliaceae): Ecological insights for protecting a rare woodland species. *Plant Ecology* 219(9): 1.117 – 1.126.
- Godofroid S., Piazza C. et al. (2011): How successful are plant species reintroductions? *Biological Conservation* 144(2): 672 – 682.
- Graae B.J. (2000): The effect of landscape fragmentation and forest continuity on forest floor species in two regions of Denmark. *Journal of Vegetation Science* 11(6): 881 – 892.
- Härdtle W., Bergmeier E. et al. (2020): Pflanzengesellschaft des Jahres 2021: Hartholz-Auenwald (Ficario-Ulmetum). *Tuexenia* 40: 373 – 399.
- Heinken T., Schmidt M. et al. (2006): Soil seed banks near rubbing trees indicate dispersal of plant species into forests by wild boar. *Basic and Applied Ecology* 7: 31 – 44.
- Ludwig G., May R., Otto C. (2007): Verantwortlichkeit Deutschlands für die weltweite Erhaltung der Farn- und Blütenpflanzen – vorläufige Liste. *BfN-Skripten* 220: 102 S.
- Pfeiffer T., Klahr A. et al. (2011): Does sex make a difference? Genetic diversity and spatial genetic structure in two co-occurring species of *Gagea* (Liliaceae) with contrasting reproductive strategies. *Plant Systematics and Evolution* 292(3): 189 – 201.
- Romahn K., Piontkowski H.-U., Piepgras O. (2020): Verbreitung, Habitatnutzung, Gefährdung und Schutzmöglichkeiten des Scheidigen Goldsterns *Gagea spathacea* (HAYNE) SALISB. in Schleswig-Holstein. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg* 69: 52 S.
- Schnittler M., Günther K.F. (1999): Central European vascular plants requiring priority conservation measures – An analysis from national Red Lists and distribution maps. *Biodiversity and Conservation* 8: 891 – 925.
- Schnittler M., Pfeiffer T. et al. (2009): Bulbils contra seeds: Reproductive investment in two species of *Gagea* (Liliaceae). *Plant Systematics and Evolution* 279(1): 29 – 40.
- Van der Veken S., De Frenne P. et al. (2012): Experimental assessment of the survival and performance of forest herbs transplanted beyond their range limit. *Basic and Applied Ecology* 13(1): 10 – 19.

## Förderung

Die in diesem Aufsatz vorgestellten Ergebnisse basieren auf einem Forschungsvorhaben im Rahmen der Förderinitiative „Forschung zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt“ (F & U NBS) mit dem Titel „Der Scheidige Gelbstern (*Gagea spathacea*) in Deutschland: Schutzstrategien im Rahmen einer nachhaltigen Waldnutzung in Zeiten globalen Wandels“ im Förderschwerpunkt Verantwortungsarten des Bundesprogramms Biologische Vielfalt (Förderkennzeichen: 01LC1312A – Forschungspartner, 3513685B/C12 – Umsetzungspartner), das gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und vom Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) Schleswig-Holsteins gefördert wurde.

**PD Dr. Andreas Fichtner**  
**Korrespondierender Autor**  
 Leuphana Universität Lüneburg  
 Institut für Ökologie  
 Universitätsallee 1  
 21335 Lüneburg  
 E-Mail: [fichtner@leuphana.de](mailto:fichtner@leuphana.de)



Der Autor ist Pflanzenökologe an der Leuphana Universität Lüneburg. Er studierte Agrarwissenschaften (Fachrichtung Landschaftsentwicklung) mit Schwerpunkt Bodenkunde und Vegetationsökologie an der Universität Kiel. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die Bedeutung der Biodiversität und der Landnutzungsgeschichte für Ökosystemfunktionen sowie die Naturschutzbiologie. Sein besonderes Interesse gilt der Vermittlung von Arten- und Lebensraumkenntnissen sowie der Entwicklung

nachhaltiger Landnutzungsstrategien.

**Dr. Doris Jansen**  
**Jansen & Rickert**  
 Heinrich-Wittorf-Straße 31  
 24539 Neumünster  
 E-Mail: [jansen.doris@yahoo.de](mailto:jansen.doris@yahoo.de)

**Prof. Dr. Werner Härdtle**  
 Leuphana Universität Lüneburg  
 Institut für Ökologie  
 Universitätsallee 1  
 21335 Lüneburg  
 E-Mail: [haerdtle@uni-lueneburg.de](mailto:haerdtle@uni-lueneburg.de)

**Prof. Dr. Diethart Matthies**  
 Philipps-Universität Marburg  
 Institut für Ökologie  
 Karl-von-Frisch-Straße 8  
 35043 Marburg  
 E-Mail: [matthies@biologie.uni-marburg.de](mailto:matthies@biologie.uni-marburg.de)

**Dr. Volker Arnold**  
 Berliner Straße 61  
 25746 Heide  
 E-Mail: [h.v.arnold@t-online.de](mailto:h.v.arnold@t-online.de)

**Prof. Dr. Alexandra Erfmeier**  
 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
 Institut für Ökosystemforschung  
 Olshausenstraße 75  
 24118 Kiel  
 E-Mail: [aerfmeier@ecology.uni-kiel.de](mailto:aerfmeier@ecology.uni-kiel.de)

**Tanja Hemke**  
 Kurt und Erika Schrobach-Stiftung  
 Rendsburger Landstraße 211  
 24113 Kiel  
 E-Mail: [hemke@schrobach-stiftung.de](mailto:hemke@schrobach-stiftung.de)

**Dr. Silke Lütt**  
 Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume  
 Abteilung Naturschutz und Forst  
 Hamburger Chaussee 25  
 24220 Flintbek  
 E-Mail: [silke.luett@llur.landsh.de](mailto:silke.luett@llur.landsh.de)

**Dr. Marcus Schmidt**  
 Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt  
 Abteilung Waldnaturschutz  
 Professor-Oelkers-Straße 6  
 34346 Hann. Münden  
 E-Mail: [marcus.schmidt@nw-fva.de](mailto:marcus.schmidt@nw-fva.de)

**Knut Sturm**  
 Stadtwald Lübeck  
 Alt-Lauerhof 1  
 23568 Lübeck  
 E-Mail: [knut.sturm@luebeck.de](mailto:knut.sturm@luebeck.de)

**Prof. Dr. Goddert von Oheimb**  
 Technische Universität Dresden  
 Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz  
 Piener Straße 7  
 01737 Tharandt  
 E-Mail: [goddert\\_v\\_oheimb@tu-dresden.de](mailto:goddert_v_oheimb@tu-dresden.de)

**Dr. Cordelia Wiebe**  
 Kurt und Erika Schrobach-Stiftung  
 Rendsburger Landstraße 211  
 24113 Kiel  
 E-Mail: [wiebe@schrobach-stiftung.de](mailto:wiebe@schrobach-stiftung.de)

**Dr. Bettina Ohse**  
 Deutsches Zentrum für  
 integrative Biodiversitätsforschung (iDiv)  
 Puschstraße 4  
 04103 Leipzig  
 E-Mail: [bettina.ohse@idiv.de](mailto:bettina.ohse@idiv.de)

Anzeige

[www.dnl-online.de](http://www.dnl-online.de)

Die Literaturdatenbank  
 des Bundesamtes für  
 Naturschutz

