

## **Einfluss des Klimawandels auf die Keimung von Ackerwildkräutern**

*To be or not to be - common and endangered arable weed species in the face of Global Climate Change*

**Anna Theresa Rühl\*, Tobias W. Donath, R. Lutz Eckstein und Annette Otte**

Professur für Landschaftsökologie und Landschaftsplanung, Justus-Liebig-Universität Gießen,  
Heinrich-Buff-Ring 26, 35392 Gießen

\*Korrespondierender Autor, Theresa.Ruehl@umwelt.uni-giessen.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.022

### **Zusammenfassung**

Die Rote Liste der gefährdeten Pflanzen Deutschlands weist die Gruppe der annualen Arten der Segetalflora als die am stärksten gefährdete Artengruppe in Deutschland aus. Neben den Herausforderungen des Landnutzungswandels durch die Intensivierung der Landwirtschaft stellt in Zukunft auch der Klimawandel die Anpassungsfähigkeit der Ackerwildkräuter auf die Probe. Im Zuge der globalen Erwärmung wird es auch in Mitteleuropa zu Veränderungen der klimatischen Verhältnisse kommen. Grundsätzlich werden häufiger Extremwetterlagen erwartet. So wird davon ausgegangen, dass die Pflanzen Mitteleuropas häufiger mit extremer Hitze und Trockenheit konfrontiert werden. Damit könnten sich die Standortfaktoren Temperatur und Wasserverfügbarkeit zum Teil erheblich verändern und so eine Anpassungsreaktion der Vegetation erforderlich machen.

Vor diesem Hintergrund wurde die Keimungselastizität von fünf häufigen und fünf seltenen Ackerwildkrautarten hinsichtlich der Standortfaktoren Temperatur und Wasserverfügbarkeit untersucht. Damit sollen die Fragen beantwortet werden i) wie die Arten dieser Artengruppe im Allgemeinen auf die Veränderungen von Temperatur und Wasserverfügbarkeit während des Keimungsprozess reagieren und ii) ob es in diesem Zusammenhang einen signifikanten Unterschied zwischen häufig vorkommenden und seltenen Arten gibt.

**Stichwörter:** Ackerwildkräuter, Anpassungsfähigkeit, Keimung, Klimawandel, Temperatur, Wasserverfügbarkeit

### **Abstract**

Arable weeds are one of the most endangered species groups in Europe. Modern agriculture and intensive land use management with the application of herbicides and fertilisers, enhanced seed cleaning, simplified crop rotations and abandonment of marginal arable sites are the main causes for the continuous decline of arable weeds. However, besides these changes in land use also global climate change may challenge the adaptability of arable weeds. Most scientists agree that the frequency of extreme meteorological conditions will increase in the future. As a consequence, plants of Central Europe will be subject to higher temperatures and reduced water supply due to longer intervals without precipitation during the growing season.

We exposed seeds of five common and five endangered arable weed species to different temperatures and water potentials to study i) how this plant group responds to higher temperatures and lower moisture during germination in general and ii) whether there is a significant difference between common and endangered species in this respect.

**Keywords:** Adaptability, arable weeds, climate change, germination, temperature, water availability

### **Einleitung**

Ackerwildkräuter wurden einst gemeinsam mit dem Wissen der Landbewirtschaftung und den ersten Kulturpflanzen eingeführt und durch die stattfindende Co-Evolution gefördert. Dabei haben sie stets mit den Kulturpflanzen um die vorhandenen Ressourcen konkurriert (ELLENBERG *et al.*, 2010). Heute zählen sie zu den am stärksten gefährdeten Artengruppen in Europa (BRÜTTING *et al.*, 2012; MEYER *et al.*, 2008). Als Gefährdungsursache steht die Intensivierung der Landwirtschaft seit den 50er Jahren mit dem Einsatz von Herbiziden und Mineraldünger, verbesserter Saatgutreinigung, Vereinfachung der Fruchtfolgen, frühem Stoppelumbbruch und der Aufgabe von Grenzertragsstandorten im Mittelpunkt (ALBRECHT, 1995; MATSON *et al.*, 1997; GEROWITT, 2003; FRIED *et al.*, 2008).

Durch die moderne Landwirtschaft hat sich das Artenspektrum auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen in Europa verschoben (SUTCLIFFE und KAY, 2000; HAWES *et al.*, 2010; STORKEY *et al.*, 2011). Dabei bestehen häufig komplexe Zusammenhänge zwischen den oben beschriebenen Veränderungen der Landnutzung und anderen Standortfaktoren, wie z. B. Temperatur und Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode. Ackerwildkrautarten, die innerhalb einer breiten Temperaturspanne keimen können, wurden gefördert, wohingegen solche, die eine engere Temperaturspanne für die Keimung aufweisen, zurückgingen. Diesen Trend beschreibt OTTE (1994) in einer breit angelegten Studie zu den Temperatursprüchen von Ackerwildkräutern. Demnach sind Arten mit einer engen Bindung an kühle Keimungstemperaturen und einer damit verbundenen kurzen Auflaufphase zwischen den 1950er und 1990er Jahren stark zurückgegangen. Zu diesen rückläufigen Arten zählen insbesondere Frühjahrskeimer wie z. B. *Legousia speculum-veneris*. Dabei konnte als Ursache für diese Entwicklung u. a. das Zusammenspiel von Keimungsverhalten im Jahresverlauf und Herbizideinsatz identifiziert werden. Nach OTTE (1996) spielt die Temperatur und damit die Jahreszeit, in die das Auflaufen der Keimlinge fällt, eine entscheidende Rolle für die erfolgreiche Etablierung der Art und damit für die heutige Gefährdungssituation. Die überwinternden oder sich im zeitigen Frühjahr entwickelnden Arten werden durch den Herbizideinsatz im Frühling zu Beginn der Hauptwachstumsphase der Kulturpflanzen abgetötet und können nur unter äußerst günstigen Bedingungen erneut auflaufen und ihren Vegetationszyklus erfolgreich abschließen (OTTE, 1994). In diesem Zusammenhang liegt die aktuelle Gefährdung vieler Ackerwildkräuter begründet.

Neben den Veränderungen in der Landnutzung wird auch der Klimawandel die Anpassungsfähigkeit der Ackerwildkräuter auf die Probe stellen (THUILLER, 2005; DREESEN *et al.*, 2012; PETERS *et al.*, 2012). Aktuelle Szenarien lassen eine allgemeine Erwärmung um 0,5-2 °C bis 2050 erwarten. Zudem wird davon ausgegangen, dass in Zukunft häufiger Extremwetterlagen auftreten werden. So werden Starkregenereignisse und die Anzahl der Tage mit Temperaturen über 30 °C stark zunehmen. In den meisten regionalen Klimaszenarien ist der Jahresniederschlag kaum verändert. Jedoch soll sich der Trend zur jahreszeitlichen Ungleichverteilung des Niederschlags fortsetzen. Daher ist auch in Zukunft mit mehr Niederschlag im Winter und weniger im Sommer zu rechnen (IPCC, 2007; WALKENHORST *et al.*, 2009).

Dies kann für die Pflanzen Mitteleuropas bedeuten, dass sie bei höheren Temperaturen und geringerem Niederschlag während der Vegetationsperiode ihren Lebenszyklus abschließen müssen (KNAPP *et al.*, 2008; DREESEN *et al.*, 2012). Durch die prognostizierte weiter steigende Jahresmitteltemperatur ergibt sich für die Pflanzen Mitteleuropas eine verlängerte Vegetationsperiode. In den letzten Jahren traten Ereignisse, wie z. B. die Ankunft von Zugvögeln, das Laichen von Fröschen, der Blattaustrieb und die Baumblüte messbar früher ein und verschoben dadurch den phänologischen Frühlingsanfang (PARMESAN und YOHE, 2003; MENZEL *et al.*, 2006). Allerdings führen höhere Temperaturen während dieser Vegetationsperiode in Kombination mit geringeren Niederschlägen im Sommer vermehrt zu Phasen, in denen die Pflanzen unter Wasserstress leiden. Insbesondere, wenn die sommerlichen Niederschläge als Starkregenereignisse auf den Boden treffen und daher nicht optimal ausgenutzt werden können. Durch Veränderung von Temperatur und Wasserverfügbarkeit sind durch den Klimawandel jedoch auch die für die Keimung wichtigsten Standortfaktoren betroffen (WALCK *et al.*, 2011).

Der Keimungsprozess ist eine entscheidende Phase im Leben einer Pflanze. Eine erfolgreiche Keimung ist der erste Schritt hin zur Reproduktion des Individuums. Da Temperatur und Wasserverfügbarkeit den Keimungsprozess der Samen maßgeblich steuern, können Änderungen dieser Faktoren große Auswirkungen auf die Keimungsrate und damit auf die Etablierung von Pflanzenarten haben (BASKIN und BASKIN, 2001; HEDHLY *et al.*, 2008, WALCK *et al.*, 2011).

Durch die oben beschriebene Ausweitung der Vegetationsperiode können Pflanzenarten mit einem bestimmten Temperaturoptimum für den Keimungsprozess zu einem früheren Zeitpunkt keimen (PARMESAN und YOHE, 2003; MENZEL *et al.*, 2006; MONDONI *et al.*, 2012). Es ist sehr

wahrscheinlich, dass eine Verschiebung des artspezifischen Zeitfensters für die Keimung der Ackerwildkräuter Auswirkungen auf deren gesamten Lebenszyklus und ihre Ökosystemdienstleistungen hat. ALBRECHT (2003) sieht die Ackerwildkräuter auf Grund der hohen Korrelation mit dem Gesamtartenreichtum einer Landschaft als so genannte Schlüsselarten der Biodiversität an und hebt die große ökosystemare Bedeutung der Ackerbegleitflora hervor. Eine zeitliche Verschiebung der Keimung durch höhere Temperaturen ist jedoch nur eine Möglichkeit, wie sich die klimatischen Veränderungen auswirken können. Ein gegenläufiger Effekt könnte entstehen, wenn höhere Temperaturen im Frühjahr auch von geringerem Niederschlag begleitet werden, was wiederum die Keimung unter Umständen weitgehend verhindern würde.

Die Einrichtung eines nachhaltigen Schutzkonzepts für gefährdete Pflanzenarten, wie die Gruppe der Ackerwildkräuter, und deren Schutz auf Landschaftsebene setzen eine verlässliche Prognose ihrer Reaktion auf sich verändernde Standortbedingungen voraus. Vor diesem Hintergrund soll diese Studie dazu beitragen folgende Fragen zu beantworten: i) wie reagieren Ackerwildkräuter im Allgemeinen auf die Veränderungen von Temperatur und Wasserverfügbarkeit während des Keimungsprozess? und ii) gibt es in diesem Zusammenhang einen signifikanten Unterschied zwischen häufigen und seltenen Arten?

### **Material und Methoden**

Ackerwildkräuter haben mehrere typische Eigenschaften, durch die sie sich als eine eigenständige Gruppe abgrenzen lassen. Ein großer Teil der Ackerwildkräuter befindet sich in Mitteleuropa am Rande des Verbreitungsareals. Die meisten Ackerwildkräuter haben ihren Verbreitungsschwerpunkt im submediterranen und mediterranen Raum. Alle Arten haben die Gemeinsamkeit, dass sie nur auf relativ offenen Böden konkurrenzfähig sind und damit in Mitteleuropa eng an die anthropogene Landbewirtschaftung gebunden sind (HOFMEISTER und GARVE, 2006). Nach SCHNEIDER *et al.* (1994) zeichnen sich die Samen der Ackerwildkräuter meist durch ein Stadium der Keimruhe aus. Ihr Lebenszyklus ist überwiegend innerhalb von einem bzw. zwei Jahren abgeschlossen und unter hohen Düngergaben sind viele nicht mehr konkurrenzfähig, insbesondere wegen ihres hohen Lichtbedarfs.

Für diese Studie wurden fünf Paare von Ackerwildkrautarten gewählt (Tab. 1). Ein Paar umfasst jeweils eine häufige und eine seltene Art einer Pflanzenfamilie; damit wird eine phylogenetische Balanciertheit und dadurch eine höhere Aussagekraft der Ergebnisse sichergestellt (GITZENDANNER, 2000). Der Rote Liste Status bezieht sich auf die Rote Liste der gefährdeten Pflanzen in Deutschland (LUDWIG und SCHNITTLER, 1996) und Hessen (BVNH, 2008). Die benötigten Samen für dieses Experiment wurden von einem kommerziellen Saatguthändler bezogen (Rieger und Hoffmann GmbH, Blaufelden-Raboldshausen, Germany).

Mit Hilfe eines faktoriellen Versuchsaufbaus wurden die Effekte Art ( $k = 10$ ) verschachtelt in Status ( $k = 2$ ; häufig vs. gefährdet), Wasserpotential ( $k = 5$ ; 0, -0,3, -0,6, -0,9 und -1,2 MPa) und Temperatur ( $k = 2$ ; 15/5 °C und 20/10 °C) auf den Keimungsprozess untersucht.

Um die definierten Wasserpotentiale einzustellen wurde das osmotische Agens Mannitol benutzt (D-Mannitol, Euro OTC Pharma GmbH, Bönen, Germany). Die oben genannten Wasserpotentiale von -0,3, -0,6, -0,9 und -1,2 MPa wurden mit Mannitolkonzentrationen von 0,12, 0,24, 0,36 und 0,48 mol l<sup>-1</sup> hergestellt. Destilliertes Wasser wurde als Kontrolle für volle Wasserverfügbarkeit (0 MPa) verwendet. Für jede Faktorkombination wurden fünf Wiederholungen angelegt, was im Gesamten 500 experimentelle Einheiten ergab.

Die experimentellen Einheiten bestanden aus einer sterilen Petrischale mit jeweils 50 Samen auf einem Filterpapier, welches mit 3 mL Mannitollösung oder destilliertem Wasser befeuchtet war. Um den Verlust von Feuchtigkeit durch Evaporation so gering wie möglich zu halten, wurden je fünf Petrischalen gemeinsam in einer Plastiktüte verpackt.

Nach 14 Tagen Stratifikation bei 3 °C ohne Licht in Klimakammern (Rumed type 3401, Rubarth Apparate GmbH) wurden die präparierten Petrischalen in Klimakammern mit

Wechseltemperaturen (Tag/Nacht) von 15/5 °C and 20/10 °C gestellt. Das Lichtregime wurde auf einen Tag-Nacht-Zyklus von 16 h hell und 8 h dunkel festgelegt (ОТТЕ, 1996). Die Schalen wurden zweimal pro Woche kontrolliert. Samen galten als gekeimt, wenn die Keimwurzel sichtbar war. Diese Keimlinge wurden bei jeder Kontrolle gezählt und dann entfernt. Nach fünf Wochen trat nahezu keine Keimung mehr auf und das Experiment wurde beendet.

Vor der statistischen Analyse wurde zunächst eine ArcSin-Transformation der Daten durchgeführt, um Varianzhomogenität und eine Normalverteilung der Residuen zu erreichen. Beides sind Voraussetzungen für die Durchführung der Varianzanalyse (QUINN und KEOUGH, 2002). Mit diesen transformierten Daten wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit dem Faktor „Familie“ durchgeführt, um eventuelle phylogenetische Effekte zwischen den Pflanzenfamilien zu berücksichtigen. Alle weiteren Auswertungen wurden dann mit den berechneten Residuen dieser ANOVA vorgenommen. Die Haupteffekte und Interaktionen der Faktoren Art, Status, Temperatur und Wasserpotential wurden daraufhin mit einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse berechnet. Um die Signifikanz paarweiser Mittelwertvergleiche der ausgewählten Interaktionen zu überprüfen, wurde ein Post-hoc-Tukey-Test mit Signifikanzniveaus von  $\alpha = 0,1 \%$ ,  $1 \%$  und  $5 \%$  durchgeführt. Die erhobenen Daten wurden mit dem Programm STATISTICA 10 (StatSoft Inc.) ausgewertet.

Für jede experimentelle Einheit wurde der Parameter Gesamtkeimung in % bestimmt (RANAL *et al.*, 2006). Die Gesamtkeimung ist der Prozentsatz der gekeimten Samen im Verhältnis zur Anzahl ausgesäter Samen (hier 50).

**Tab. 1** Untersuchte Arten mit Zuordnung der Pflanzenfamilie und des Rote Liste Status (Rote Liste der gefährdeten Pflanzen in Deutschland, bzw. Hessen\*): V = Vorwarnliste, 1 = gefährdet, 3 = vom Aussterben bedroht). Die Vitalität wurde mittels eines Tetrazolium-Tests bestimmt.

**Tab. 1** Study species dedicated to their plant family and their Red List Status.

Art	Familie	Rote Liste Status	Vitalität [%]
<i>Anthemis arvensis</i>	Asteraceae	häufig	94
<i>Glebionis segetum</i>		gefährdet (V)	92
<i>Campanula rapunculoides</i>	Campanulaceae	häufig	86
<i>Legousia speculum-veneris</i>		gefährdet (3)	94
<i>Silene latifolia</i>	Caryophyllaceae	häufig	88
<i>Silene noctiflora</i>		gefährdet (V)	90
<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveraceae	häufig	88
<i>Papaver argemone</i>		gefährdet (V*)	96
<i>Daucus carota</i>	Apiaceae	häufig	92
<i>Bupleurum rotundifolium</i>		gefährdet (1)	98

## Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtkeimung sehr stark von den Faktoren Art, Status, Temperatur und Wasserpotential abhängt, da die geschachtelte ANOVA für alle Effekte und fast alle Zwischeneffekte hohe Signifikanzen ausweist (Tab. 2). Das Wasserpotential erklärt mit 64,5 % den größten Teil der gemessenen Unterschiede in der Gesamtkeimung. Selbst der Faktor Art zeigt mit 7,9 % nur einen mäßigen Einfluss. Der Rote Liste Status trägt mit 1 % nur sehr gering zur Erklärung der Varianzen bei, der Effekt ist aber trotzdem signifikant. Es ist hervorzuheben, dass der Status einen größeren Teil der Varianz erklärt, als die hier gewählten Temperaturunterschiede während des Keimungsprozesses; diese erklären nur 0,5 %. Entsprechend der Stärke der einzelnen Effekte sind auch die Interaktionen von unterschiedlicher Bedeutung. Am stärksten wirken sich die Zwischeneffekte von Art und Wasserpotential aus (16,2 %). Gemeinsam mit der Interaktion von Status und Wasserpotential werden damit fast 18 % der Varianz des Keimungsergebnisses erklärt.

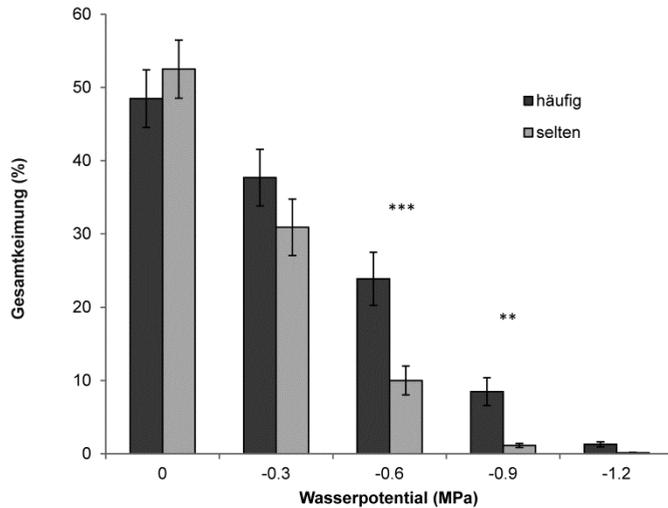
Die Wasserverfügbarkeit hat somit einen großen Einfluss auf den Keimungsprozess. Darüber hinaus besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Reaktion auf unterschiedliche Wasserverfügbarkeit und dem Gefährdungsstatus einer Art (Abb. 1). Keimen bei optimaler Wasserversorgung die seltenen Ackerwildkräuter noch tendenziell besser, so kehrt sich dieser Trend mit abnehmendem Wasserpotential um. Signifikant ist der Unterschied bei Wasserpotentialen von -0,6 (Signifikanzniveau  $\alpha = 0,1\%$ ) und -0,9 MPa (Signifikanzniveau  $\alpha = 1\%$ ). Damit zeigen die seltenen Ackerwildkräuter eine deutlich stärkere Reaktion auf Wasserstress als die häufigen Ackerwildkräuter. Bei weiter abnehmender Wasserverfügbarkeit ist der Keimungserfolg der Samen von fast allen Arten so gering, dass kein messbarer Unterschied zwischen seltenen und häufigen Arten mehr auftritt.

Der hohe Wert für die Interaktionen zwischen Art und Wasserpotential wird durch die Variabilität des artspezifischen Keimungsverhaltens erklärt. So reagiert die häufige Art *Campanula rapunculoides* unempfindlich gegenüber Änderungen des Wasserpotentials und zeigt bei höheren Temperaturen auch höhere Keimraten. Unabhängig von der Temperatur reagiert die seltene Art *Legousia speculum-veneris* mit gleichmäßig abnehmender Keimung bei abnehmender Wasserverfügbarkeit. Die seltene Art *Bupleurum rotundifolium* wiederum zeigt eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Wasserstress. Der Keimungserfolg reduziert sich hier bereits bei leichter Reduktion der Wasserverfügbarkeit auf -0,3 MPa um ca. 50 %. Gleichzeitig weist sie bei der Keimung eine starke Affinität zu kühleren Temperaturen auf, so keimt sie bei optimaler Wasserversorgung um ca. 12 % besser bei 5/15 °C als bei 10/20 °C. Dagegen keimt die häufige Art *Daucus carota* bei guter Wasserversorgung und hohen Temperaturen um 10 % besser als bei niedrigen und reagiert auch auf eine reduzierte Wasserversorgung weniger empfindlich. Ein ähnliches Muster zeigt auch die regelmäßig vorkommende Art *Anthemis arvensis*.

**Tab. 2** Ergebnisse der ANOVA für die Variable „Gesamtkeimung (%)“ mit den Effekten von Art verschachtelt in Status, Temperatur und Wasserpotential; vc (%) zeigt den relativen Anteil der Faktoren und ihrer Interaktionen an der Gesamtvarianz.

**Tab. 2** Results of the nested ANOVA for the variable "germination (%)" with the effects of species nested in state, temperature and water potential; vc (%) shows relative contribution of individual factors and their interactions to total variance.

	df	F	p	vc (%)
<b>Konstante</b>	1	0,000	1,000	
<b>Art (Status) [A(St)]</b>	8	81	< 0,001	7,9
<b>Status [St]</b>	1	82,7	< 0,001	1,0
<b>Temperatur [T]</b>	1	37,4	< 0,001	0,5
<b>Wasserpotential [WP]</b>	4	1324,5	< 0,001	64,5
<b>A (St) x T</b>	8	16,5	< 0,001	1,6
<b>A (St) x WP</b>	32	41,7	< 0,001	16,2
<b>St x WP</b>	4	33,4	< 0,001	1,6
<b>St x T</b>	1	0,4	0,521	0,0
<b>T x WP</b>	4	4,2	0,002	0,2
<b>St x T x WP</b>	8	1,6	0,183	0,1
<b>A (St) x T x WP</b>	32	3,9	< 0,001	1,5
<b>Fehler</b>	400			4,9



**Abb. 1** Gesamtkeimung [%] in Abhängigkeit von Rote-Liste-Status und Wasserpotential (WP). Originaldaten unter Angabe des Standardfehlers. Signifikanzen zwischen seltenen und häufigen Arten innerhalb der Wasserpotentialstufen sind mit Sternchen gekennzeichnet: \*\*\* Signifikanzniveau  $\alpha = 0,1\%$ , \*\* Signifikanzniveau  $\alpha = 1\%$ .

**Fig. 1** Effects of Red List Status and water potential (WP) on germination [%]. Original data with standard error. Statistical significant differences within each water potential level are marked with asterisks: \*\*\* level of signification  $\alpha = 0,1\%$ , \*\*  $\alpha = 1\%$

Sie keimt stets besser bei höheren Temperaturen (39 % höhere Gesamtkeimung über alle Wasserpotentialstufen) und ihre Keimung nimmt gleichmäßig mit Abnahme des Wasserpotentials ab. Die seltene Art *Glebionis segetum* verhält sich dagegen indifferent gegenüber den gewählten Temperaturen, zeigt aber die gleiche progressive Abnahme der Gesamtkeimung bei abnehmender Wasserverfügbarkeit. *Silene noctiflora* keimt ebenfalls eindeutig besser bei hohen Temperaturen (37 % höhere Gesamtkeimung). Diese Präferenz zeigt sich insbesondere bei abnehmendem Wasserpotential. Bei Temperaturen von 10/20 °C keimt diese Art bei einem Wasserpotential von -0,6 MPa noch zu 45,6 %, während sie bei der gleichen Wasserverfügbarkeit und Temperaturen von 5/15 °C nur noch eine Gesamtkeimung von 1,6 % aufweist. Sinkt das Wasserpotential jedoch auf -0,9 MPa, so findet unabhängig von der Temperatur nahezu keine Keimung mehr statt. Auch *Silene latifolia* zeigt ein ähnliches Muster, allerdings ist hier die Bevorzugung der hohen Temperaturen für die Keimung nicht so stark ausgeprägt.

## Diskussion

Die vorliegende Studie lässt auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Gefährdungsstatus einer Art und deren Reaktion auf abnehmende Wasserverfügbarkeit im Boden schließen. Die Ergebnisse zeigen, dass seltene Ackerwildkrautarten mit einer stärkeren Abnahme der Keimung bei abnehmendem Wasserpotential reagieren als häufige Arten. Dieses Muster lässt die Aussage zu, dass seltene Ackerwildkräuter empfindlicher auf eine Veränderung der Wasserverfügbarkeit im Zuge des Klimawandels reagieren werden. Daher ist anzunehmen, dass diese Artengruppe von der vorhergesagten klimatischen Entwicklung in Mitteleuropa besonders stark betroffen sein wird. Denn nicht nur der Keimungsprozess, auch die Keimlingsetablierung hängt wesentlich von der Wasserverfügbarkeit ab. So führt ein niedriges Wasserpotential zu einer verzögerten Keimung mit verringerter Wuchshöhe des Keimlings und einer kürzeren Keimwurzel. Dadurch sind diese Keimlinge wiederum anfälliger für Trockenheit (AKHALKATSI und LÖSCH, 2001).

Auch in einer Studie von ECKSTEIN (2005) wird die Bedeutung der Wasserverfügbarkeit hervorgehoben. Hier wurde gezeigt, dass die Keimlingsetablierung in verschiedenen Graslandtypen trotz bestehender Unterschiede bezüglich Artenreichtum, Wuchshöhe und Bestand maßgeblich von der Wasserversorgung abhängt.

Neben der Wasserverfügbarkeit hat auch der Standortfaktor Temperatur einen großen Einfluss auf Pflanzen, da sie den Keimungszeitpunkt auf die Jahreszeit mit günstigen Umweltbedingungen für den Keimling abstimmt (COCHRANE, 2011). Die Bedeutung der Temperatur während der Keimungsphase und die damit einhergehende Anfälligkeit von Pflanzen in dieser Entwicklungsphase für Folgen des Klimawandels, heben verschiedene Studien hervor. So beschreiben HEDHLY *et al.* (2008) die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf Kulturpflanzen mit abnehmenden Ernteerträgen. Besonders starken Veränderungen ist die Vegetation in alpinen Regionen ausgesetzt. Nach MONDONI *et al.* (2012) können zunehmend hohe Herbsttemperaturen zu spontaner Keimung mancher Gebirgspflanzenart führen, die dann bei eintretendem Frost mit einem nahezu vollständigen Absterben der Keimlinge einhergeht. Sogar der Keimungserfolg der Nachkommen einer Pflanze, die während einer ungünstigen Jahreszeit gekeimt ist, kann beeinflusst werden. Unterschiedliches Keimungsverhalten von im Herbst bzw. Frühling produzierten Samen konnte für *Capsella bursa-pastoris* (BASKIN *et al.*, 2004) und *Sinapis arvensis* (MENNAN und NGUAIJO, 2006) nachgewiesen werden.

Auch in der vorliegenden Studie zeigt sich der Einfluss der Temperatur auf das Keimungsverhalten der Versuchsarten deutlich. Durch die Wahl der zwei unterschiedlichen Wechseltemperaturen für den Keimungsversuch konnte für die einzelnen Arten eine klare Tendenz gezeigt werden, ob sie besser bei hohen Temperaturen (10/20 °C) oder besser bei niedrigen Temperaturen (5/15 °C) keimen. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Temperatur und Gefährdungsstatus konnte hier jedoch nicht nachgewiesen werden. Dies kann darauf hinweisen, dass die untersuchten annuellen Arten in der Lage sind, elastisch auf Temperaturveränderungen zu reagieren. Die Bedeutung der Temperatur und die Elastizität hinsichtlich dieses Faktors während der Keimungsphase von Ackerwildkräutern wurden von OTTE (1994; 1996) eingehend untersucht und verdeutlicht. Demnach hat sich die Temperaturspanne für die Keimung von vielen Ackerwildkräutern zwischen 1948 und 1990 unter der veränderten Landnutzung deutlich erweitert bzw. verschoben.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die von MENZEL *et al.* (2006) beobachtete Ausweitung der Vegetationsperiode keinen positiven Einfluss auf das Vorkommen seltener Ackerbegleitflora hat, da die Bewirtschaftungsmaßnahmen an die phänologische Entwicklung der Kulturpflanzen gekoppelt sind und sich somit der von OTTE (1996) beschriebene Faktorenkomplex von Auflaufzeitpunkt der Ackerwildkräuter und Herbizideinsatz nicht verändert. Von einer durch klimatische Veränderungen bedingten längeren Vegetationsperiode profitieren v. a. die Ackerwildkräuter, welche sich auch bisher an die Standortveränderungen durch die Intensivierung der Landnutzung anpassen konnten. Dies sind v. a. im Herbst keimende, konkurrenzstarke Arten, die in der Lage sind auf nährstoffreichen Böden mit dichten Kulturpflanzenbeständen zu wachsen (HYVONEN *et al.*, 2003; HAWES *et al.*, 2005; 2010). Denn die Bestandssituation von Ackerwildkrautarten hängt nach OTTE *et al.* (2006) nicht nur von günstigen Keimungsvoraussetzungen ab. Vielmehr spielen die allgemeinen Anforderungen an die Standorteigenschaften eine Rolle, damit sich die Ackerwildkräuter erfolgreich bis zur Samenreife entwickeln können. Die Bedeutung der Bewirtschaftung unterstreicht auch eine Studie von ALBRECHT (2005). Hier konnte gezeigt werden, dass insbesondere die sommerannuellen Ackerwildkrautarten von einer ökologischen Bewirtschaftung profitieren. Denn bei dieser Bewirtschaftungsweise findet z.B. mechanische Unkrautregulierung anstelle von Herbizideinsatz statt. Weiterhin beeinflusst die Fruchtfolge mit einem größeren Anteil an Blattfrüchten und Sommergetreide das Vorkommen seltener Arten dieser Gruppe positiv. Für *Viola arvensis* konnte eine Anpassung an die moderne Landwirtschaft durch eine erweiterte Amplitude der Keimungstemperatur und eine erhöhte Samenproduktion nachgewiesen werden. Dadurch kann diese Art zeitliche Lücken zwischen Herbizidanwendungen,

Ernte und Bodenbearbeitung nutzen (SCHUBERT *et al.*, 2003). Die Bedeutung der Interaktionen von Klimawandel und Landnutzungswandel wird von BÜTOF *et al.* (2012) auch für die Artenvielfalt von Grünland hervorgehoben. So können sich die Reaktionen einzelner Grünlandarten auf veränderte klimatische Bedingungen in Abhängigkeit der Bewirtschaftung stark voneinander unterscheiden.

Bei der Entwicklung von Schutzkonzepten für gefährdete Arten der Agrarlandschaften Mitteleuropas müssen daher die Auswirkungen von Landnutzungswandel und Klimawandel gemeinsam betrachtet werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Klimawandel den durch den Landnutzungswandel hervorgerufenen Rückgang vieler Ackerwildkrautarten weiter verstärken wird. Da die Folgen des Klimawandels für die Ackerwildkräuter nicht direkt aufzuhalten sind, sollte der Fokus der Schutzbemühungen auf Maßnahmen liegen, die die negativen Auswirkungen des Landnutzungswandels ausgleichen. Das Ziel dieser Bemühungen sollte die Erhaltung dieser Arten auf Landschaftsebene sein. Kommt eine Art nur noch vereinzelt in kleinen und isolierten Populationen vor ist die Gefahr durch lokale negative Ereignisse, wie z. B. Erosion durch Starkregen, Dürreperioden oder menschliche Baumaßnahmen, ausgelöscht zu werden deutlich größer (THULLER, 2005). Bei kleinflächigen und isolierten Vorkommen von Ackerwildkrautarten besteht außerdem die Gefahr, dass diese bei Änderung der lokalen klimatischen Bedingungen kaum auf dann geeignete Standorte ausweichen können. Nur durch eine möglichst flächendeckende Förderung dieser Arten kann dem regional unterschiedlichen Ausmaß der klimatischen Veränderungen und dem damit verbundenen unterschiedlichen Anpassungsdruck auf die Vegetation begegnet werden.

## Danksagung

Wir danken Alejandro Loydi für die freundliche Unterstützung während der Datenverarbeitung und Kristin Ludewig für die hilfreichen Kommentare zum Manuskript. Weiterhin möchten wir uns bei Josef Scholz vom Hofe, Lena Kretz und Laura Satkowski für die Hilfe bei der Datenerhebung im Labor bedanken. Diese Arbeit wurde durch ein Graduiertenstipendium der Justus-Liebig-Universität Gießen ermöglicht.

## Literatur

- AKHALKATSI, M. und R. LÖSCH, 2001: Changes in water relations, solute leakage and growth characters during seed germination and seedling development in *Trigonella coerulea* (Fabaceae). *J. Appl. Bot.-Angew. Bot.* **75**, 144-151.
- ALBRECHT, H., 1995: Changes in the arable weed flora of Germany during the last five decades. *Proceedings of the Ninth European Weed Research Society Symposium on Challenges for Weed Science in a Changing Europe*, Budapest, 41-48.
- ALBRECHT, H., 2003: Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agric. Ecosys. Environ.* **98**, 201-211.
- ALBRECHT, H., 2005: Development of arable weed seedbanks during the 6 years after the change from conventional to organic farming. *Weed Res.* **45**, 339-350.
- BASKIN, C.C. und J.M. BASKIN, 2001: *Seeds - Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego.
- BASKIN, C.C., P. MILBERG, L. ANDERSSON und J.M. BASKIN, 2004: Germination ecology of the annual weeds *Capsella bursa-pastoris* and *Descurainia sophia* originating from high northern latitudes. *Weed Research* **44**, 60-68.
- BÜTOF, A., L.R. VON RIEDMATTEN, C.F. DORMANN, M. SCHERER-LORENZEN, E. WELK und H. BRUEHLHEIDE, 2012: The responses of grassland plants to experimentally simulated climate change depend on land use and region. *Glob. Change Biol.* **18**(1), 127-137.
- BRÜTTING C., K. WESCHE, S. MEYER und I. HENSEN, 2012: Genetic diversity of six arable plants in relation to their Red List status. *Biodivers. Conserv.* **21**, 745-761.
- BVNH, 2008: Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Hessens, 4. Fassung, Erstellt von der Arbeitsgruppe "Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Hessens" der Botanischen Vereinigung für Naturschutz in Hessen e. V. (BVNH) im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV). [<http://www.bvnh.de/RoteListe/RL-HE4.html>], Mai 2012
- COCHRANE, A., M.I. DAWS und F.R. HAY, 2011: Seed-based approach for identifying flora at risk from climate warming. *Austral Ecol* **36**, 923-935.
- DREESSEN, F., H.J. DE BOECK, I.A. JANSSENS und I. NIJS, 2012: Summer heat and drought extremes trigger unexpected changes in productivity of a temperate annual/biannual plant community. *Environ. Exp. Bot.* **79**, 21- 30.
- ECKSTEIN, R.L., 2005: Differential effects of interspecific interactions and water availability on survival, growth and fecundity of three congeneric grassland herbs. *New Phytol.*, **166**(2), 525-536.
- ELLENBERG, H. und C. LEUSCHNER, 2010: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 6. Auflage. Ulmer, Stuttgart.

- FRIED, G., L.R. NORTON und X. REBOUD, 2008: Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agric. Ecosys. Environ.* **128**, 68–76.
- GEROWITT, B., 2003: Development and control of weeds in arable farming systems. *Agr. Ecosys. Environ.* **98**, 247–254.
- GITZENDANNER, M.A. und P.S. SOLTIS, 2000: Patterns of genetic variation in rare and widespread plant congeners. *Am. J. Bot.* **87**(6), 783-792.
- HAWES, C., G.R. SQUIRE, P.D. HALLETT, C.A. WATSON und M. YOUNG, 2010: Arable plant communities as indicators of farming practice. *Agric. Ecosys. Environ.* **138**, 17–26.
- HAWES, C., G. BEGG, G.R. SQUIRE und P. IANNETTA, 2005: Individuals as the basic accounting unit in studies of ecosystem function: functional diversity in *Capsella* (shepherd's purse). *Oikos* **109**, 521–534.
- HEDELY, A., J.I. HORMAZA und M. HERRERO, 2008: Global warming and sexual plant reproduction. *Trends Plant Sci.* **14**(1), 30-36.
- HOFMEISTER, H. und E. GARVE, 2006: Lebensraum Acker. Reprint der 2. Auflage – Remagen.
- HYVONEN, T., E. KETOJA, J. SALONEN, H. JALLI und J. TIAINEN, 2003: Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agric. Ecosyst. Environ.* **97**, 131–149.
- IPCC, 2007: Observations: surface and atmospheric climate change. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Avery, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- KNAPP, A.K., C. BEIER, D.D. BRISKE, A.T. CLASSEN, Y. LUO, M. REICHSTEIN, M.D. SMITH, S.D. SMITH, J.E. BELL, P.A. FAY, J.L. HEISLER, S.W. LEAVITT, R. SHERRY, B. SMITH und E. WENIG, 2008: Consequences of More Extreme Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems. *BioScience* **58**(9), 811-821.
- LUDWIG, G. und M. SCHNITTLER, 1996: Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde **28**, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- MATSON, P.A., W.J. PARTON, A.G. POWER und M.J. SWIFT, 1997: Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* **277**, 504–509.
- MENNAN, H. und M. NGAJJO, 2006: Seasonal cycles in germination and seedling emergence of summer and winter populations of catchweed bedstraw (*Galium aparine*) and wild mustard (*Brassica kaber*). *Weed Science* **54**, 114-120.
- MENZEL, A., T.H. SPARKS, N. ESTRELLA, E. KOCH, A. AASA, R. AHAS, K. ALM-KÜBLER, P. BISSOLLI, O. BRASLABSKÁ, A. BRIEDE, F.M. CHMIELEWSKI, Z. CREPINIEK, Y. CURNEL, A. DAHL, C. DEFILA, A. DONNELLY, Y. FILELLA, K. JATCZAK, F. MAGE, A. MESTRE, O. NORDLI, J. PENUELAS, P. PIRINEN, V. REMISOVA, H. SCHEIFINGER, M. STRIZ, A. SUSNIK, A.J.H. VAN VLIET, F.-E. WIELGOLASKI, S. ZACH und A. ZUST, 2006: European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob. Change Biol.* **12**, 1969–1976.
- MEYER, S., C. LEUSCHNER und T. VAN ELSEN, 2008: Sanctuaries for the segetal vegetation in Germany – inventory and new impulses by the project „Biodiversity in agricultural landscapes“. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue* **21**, 363-368.
- MEYER, S., K. WESCHE, C. LEUSCHNER, T. VAN ELSEN und J. METZNER, 2010: Schutzbemühungen für die Segetalflora in Deutschland – Das Projekt „100 Äcker für die Vielfalt“. *Treffpunkt Biologische Vielfalt*, Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz, Bonn, Issue **9**, 59-64.
- MONDONI, A., G. ROSSI, S. ORSENGO und R.J. PROBERT, 2012: Climate warming could shift the timing of seed germination in alpine plants. *Ann. Bot-London* **110**, 155-164.
- OTTE, A., 1994: Die Temperaturansprüche von Ackerwildkräutern bei der Keimung – auch eine Ursache für den Wandel im Artenspektrum auf Äckern. *Aus Liebe zur Natur* **5**, 103-122.
- OTTE, A., 1996: Population biological parameters to classify annual weeds. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue* **14**, 45-60.
- OTTE, A., S. BISSELS und R. WALDHARDT, 2006: Samen-, Keimungs- und Habitateigenschaften: Welche Parameter erklären Veränderungstendenzen in der Häufigkeit von Ackerwildkräutern in Deutschland? *J. Plant Dis. Protect., Special Issue* **20**, 507-516.
- PARMESAN, C. und G. YOHE, 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**(6918), 37-42.
- PETERS, K. und B. GEROWITT, 2012: How might climate change alter the interactions between weeds and crops? 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control 2012, Braunschweig, Germany. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 2012.
- QUINN, G.P. und M.J. KEOUGH, 2002: *Experimental Design and Data Analysis for Biologists.* Cambridge University Press.
- RANAL, M.A. und D.G. DE SANTANA, 2006: How and why to measure the germination process? *Rev. Bras. Bot.* **29**,1-11.
- SCHNEIDER, C., U. SUKOPP und H. SUKOPP, 1994: Biologisch-ökologische Grundlagen des Schutzes gefährdeter Segetalpflanzen. Schriftenreihe für Vegetationskunde 26, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- SCHUBERT, P., R. WALDHARDT und A. OTTE, 2003: Der Einfluss unterschiedlicher Nutzungsgeschichte auf die Fitness von *Viola arvensis* MURR. *Nova Acta Leopoldina* NF 87, Nr. **328**, 389-394.
- STORKEY, J., S. MEYER, K. S. STILL und C. LEUSCHNER, 2011: The impact of agricultural intensification and land-use change on the European arable flora. *Proceedings of The Royal Society, Biological Sciences.*
- SUTCLIFFE, O.L. und Q.O.N. KAY, 2000: Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biol. Conserv.* **93**(1), 1-8.
- THUILLER, W., S. LAVOREL, M.B. ARAUJO, M.T. SYKES und I.C. PRENTICE, 2005: Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**(23), 8245-8250.
- WALCK, J.L., S.N. HIDAYATI, K.W. DIXON, K. THOMPSON und P. POSCHLOD, 2011: Climate change and plant regeneration from seed. *Glob. Change Biol.* **17**, 2145-2161.

26<sup>th</sup> German Conference on weed Biology an Weed Control, March 11-13, 2014, Braunschweig, Germany

WALKENHORST, O. und M. STOCK, 2009: Regionale Klimaszenarien für Deutschland – Eine Leseanleitung. E-Paper der ARL (Akademie für Raumforschung und Landesplanung) Nr. 6, Hannover.