

Lässt sich Wasser-Kreuzkraut in landwirtschaftlichem Grasland kontrollieren?

Matthias Suter^{1,2}, Cornel J. Stutz¹, Rafael Gago² und Andreas Lüscher¹

¹Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich

²Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus AGFF, 8046 Zürich

Auskünfte: Matthias Suter, E-Mail: matthias.suter@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 75 90

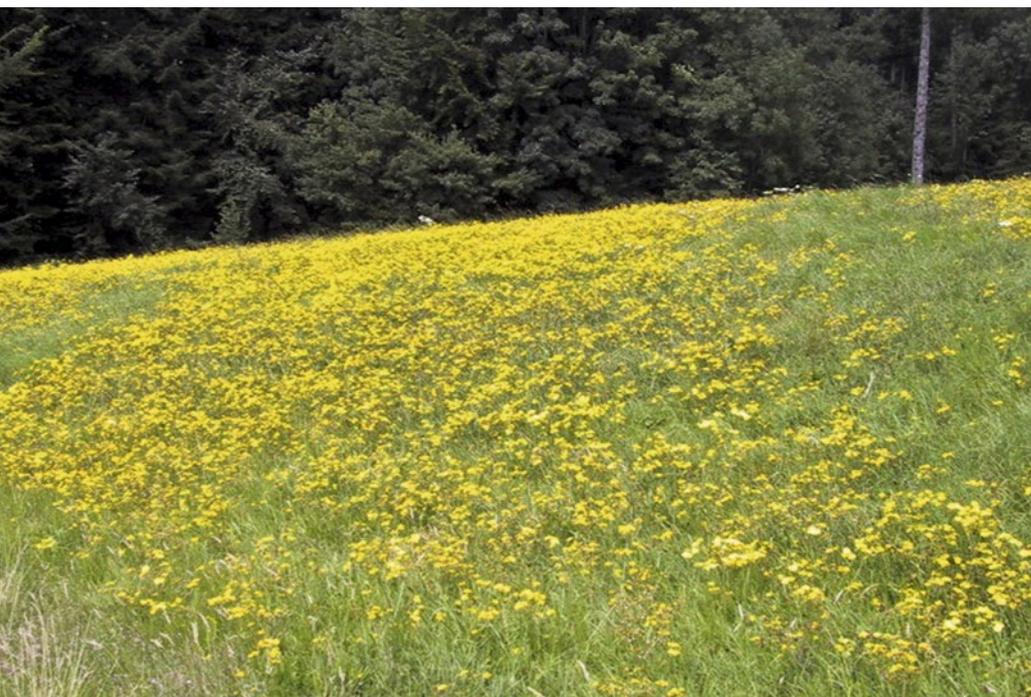


Abb. 1 | Bestand mit grosser Population von *Senecio aquaticus*.
(Foto: Karl Waser, BBZN Schüpfheim)

Einleitung

Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus* Hill; auch Wasser-Greiskraut genannt) wird in der Schweiz und dem nahen Ausland in den letzten Jahren vermehrt im landwirtschaftlich genutzten Grasland mittlerer und hoher Nutzungsintensität beobachtet (Bossard *et al.* 2003; Suter und Lüscher 2008). Die Art kann lokal in grosser Zahl auftreten (Abb. 1) und dabei zu einer Bedrohung für die Nutztiere werden, da sie giftige Pyrrolizidin-Alkaloide enthält (Röder *et al.* 1990).

S. aquaticus hat ein hohes Potenzial sich in Wiesen und Weiden auszubreiten. Jedes Individuum bildet pro Jahr mehrere hundert Samen mit einem Pappus, welcher die Verbreitung durch den Wind ermöglicht. Die Blattrosette bleibt auch während der Blüte erhalten (Abb. 2) und die Art ist fähig, bereits zwanzig Tage nach dem

Mähen wieder Stängel mit Blüten zu bilden (Suter und Lüscher 2008). Die bodennahe Rosette wird durch Schnitt kaum erfasst, weshalb *S. aquaticus* durch häufige Mahd nicht zurückgedrängt werden kann.

Suter und Lüscher (2007) konnten zeigen, welche Flächen ein erhöhtes Risiko für den Befall mit *S. aquaticus* aufweisen und kamen zum Schluss, dass auch die Bewirtschaftung eine Rolle spielt. Insbesondere Parzellen mit veränderter Nutzungsintensität und grossen Bestandeslücken stellen ein Risikofaktor dar. Jede nachhaltige Regulierung sollte deshalb mit einer angepassten Bewirtschaftung verbunden sein. Herbizide scheinen eine kurzfristige Wirkung zu zeigen, deren längerfristiger Erfolg ist jedoch nicht bekannt. Bis heute fehlen wirksame und länger anhaltende Kontrollmassnahmen, um auf landwirtschaftlichen Flächen auch grosse Populationen von *S. aquaticus* wirksam zurückzudrängen.

Material und Methoden

Versuche zur Bekämpfung von Wasser-Kreuzkraut

Im Zentrum der Verbreitung von *S. aquaticus* in der Schweiz wurden an fünf Standorten mehrere Regulierungsmassnahmen getestet. An jedem Standort wurde im Frühjahr 2007 eine Versuchsfläche ausgewählt, welche seit mehr als zehn Jahren als Naturwiese bewirtschaftet wurde und beim Beginn der Versuchsdurchführung mehr als zehn Individuen von *S. aquaticus* pro Quadratmeter aufwies. Die fünf Versuchsflächen deckten eine grosse Bandbreite an Bodenbedingungen, Düngung und Nutzungsfrequenzen ab (Tab. 1); weitere Details zu Standort und Umweltbedingungen sind in Suter und Lüscher (2011) zu finden.

Sechs Verfahren wurden getestet: Pflügen bis maximal 25 cm Tiefe mit anschliessender Bodenbearbeitung und Ansaat der Standardmischung (SM) 442 (Suter *et al.* 2008), Fräsen bis 15 cm Tiefe mit Ansaat (SM 442), Anwendung eines selektiven Herbizides gegen Kräuter (Banvel Extra; 6 l pro ha; Wirkstoffe: MCPA + Mecoprop-P + Dicamba), Ausreissen oder Ausstechen aller Kreuzkrautpflanzen, Reduzierung der Bewirtschaftungsintensität zu einer jährlichen Mahd und eine unbehandelte Kontrolle, welche die Fortführung des Status Quo darstellte. Die Verfahren wurden im Juni 2007 auf Versuchsparzellen von 3 m x 5 m in drei Replikationen etabliert, wobei die Hälfte der Parzellenfläche (3 m x 2,5 m) im Juli 2007 und April 2008 mit SM 442 übersät wurde (Split-Plot-Anlage). Jährlich einmalige Mahd wurde nur im September geschnitten und erhielt keinen Dünger, wohingegen alle anderen Massnahmen (inkl. Kontrolle) zweimal jährlich gemäht wurden und eine Düngung von 30 kg Stickstoff, 9 kg Phosphor und 14 kg Kalium pro ha >

Zusammenfassung Wasser-Kreuzkraut (*Senecio aquaticus* Hill) wird zunehmend im landwirtschaftlichen Grasland festgestellt; die Art ist für Nutztiere giftig. Zur Regulierung von *S. aquaticus* wurden in einem Feldexperiment auf fünf Betrieben der Schweiz sechs Verfahren getestet: Neuansaat einer Wiesenmischung nach Pflügen, Neuansaat nach Fräsen, Applikation eines selektiven Herbizides, Ausreissen oder Ausstechen, Extensivierung zu einer jährlichen Mahd und eine unbehandelte Kontrolle. Zudem wurde die Samenbank von *S. aquaticus* im Boden untersucht. Kurzzeitig hatten Herbizidapplikation und jährlich einmalige Mahd die beste Wirkung und reduzierten die Anzahl Individuen von *S. aquaticus* um maximal 88 %; für die übrigen Massnahmen wurde keine eindeutige Wirkung festgestellt. Drei Jahre nach der Anwendung wurde jedoch auch mit den erfolgreichsten Massnahmen keine Reduktion von *S. aquaticus* im Vergleich zur Kontrolle bei Versuchsbeginn erreicht. *S. aquaticus* bildete grosse Bodensamenbanken mit mehr als 1000 keimfähigen Samen pro Quadratmeter. Diese trugen zum Misserfolg der Regulierungsmassnahmen bei, da alle eliminierten Individuen der Art durch Samenkeimung mit neuen Pflanzen ersetzt wurden. Wir schliessen daraus, dass die Regulierung von grossen Populationen von *S. aquaticus* eine beträchtliche Herausforderung darstellt. Massnahmen müssen wiederholt und über mehrere Jahre angewandt werden bis die Samenbank erschöpft ist.

Tab. 1 | Umwelt-, Boden- und Bewirtschaftungsverhältnisse der fünf Standorte mit Versuchsflächen zur Regulierung von *Senecio aquaticus*. Alle Standorte liegen im Zentrum der geographischen Verbreitung von *S. aquaticus* in der Schweiz.

Standort	m ü. M.	C organisch	Phosphor AAE	Kalium AAE	N-gedüngt	Nutzungsfrequenz
		[%] [†]	[mg/kg]*	[mg/kg]*	[kg ha ⁻¹ Jahr ⁻¹] ^{**}	[Jahr ⁻¹] ^{***}
Kriens I	810	6,1	13,5	93,7	30	2
Kriens II	800	4,5	21,2	91,7	136	5
Kriens III	810	7,1	10,0	83,4	0	1
Rothenthurm	910	27,4	86,0	240,2	30	2
Sattel [†]	780	6,3	26,0	128,2	76	4

[†]Bio-Betrieb

[†]Bodentextur und -nährstoffe wurden im Frühling 2007 vor Versuchsbeginn erhoben. Die Analysen sind im Detail in Suter & Lüscher (2008) beschrieben

*AAE: Ammonium Acetat EDTA Extraktion

**Pflanzenverfügbare gedüngte Stickstoff; Durchschnitt 2004–2006

***Nutzungsfrequenzen bis 2006



Abb. 2 | *Senecio aquaticus* wird 20 bis 50 cm gross und bildet eine bodennahe Blattrosette, die während der Blüte weitgehend intakt bleibt. Einzelne Individuen bilden pro Jahr mehrere hundert Samen mit einem Pappus, der die Windverbreitung ermöglicht. (Foto: ART)

und Jahr erhielten. Um den Einflug und die Verbreitung von Samen zu verhindern wurden die Versuchspartzen von Juni bis September mit einem 1 m hohen Kunststoffnetz umgeben (4 mm Maschenweite).

Im Mai 2007, vor der Anwendung der Massnahmen, wurden alle Individuen von *S. aquaticus* auf vier Quadratmetern pro Versuchspartze gezählt; diese Zählung wurde im September/Oktober 2007, 2008 und 2009 wiederholt. Zudem wurden im Juli 2008 auf der gleichen Erhebungsfläche die blühenden Individuen der Art gezählt. Dies sollte aufzeigen, in welchem Masse *S. aquaticus* fähig ist, bereits ein Jahr nach der Anwendung von Regulierungsmassnahmen wieder Samen zu bilden. Die Daten wurden mit Generalisierten Linearen Modellen ausgewertet, wobei die Anzahl Pflanzen vor Beginn des Versuchs als Kovariable ins Modell aufgenommen wurde.

Schliesslich wurden im Mai 2007 in den Kontrollpartzen aller fünf Versuchsflächen Bodenproben gesto-

chen. Die Proben wurden nach Ter Heerdt *et al.* (1996) aufbereitet und die Samen in einem Gewächshaus während einer Periode von acht Wochen zur Keimung gebracht (mittlere Tages-/Nachttemperatur: 24/18 °C). Die Keimlinge von *S. aquaticus* wurden bestimmt, wenn sie 2 bis 3 cm gross waren (Keimblätter und ein weiteres Blattpaar sichtbar), was eine sichere Identifizierung erlaubte.

Resultate

Trotz Kurzzeiteffekten geringe Wirkung nach drei Jahren

Vier Monate nach der Anwendung vermochten Herbizidapplikation ($P < 0,001$) und jährlich einmalige Mahd ($P < 0,01$) die Anzahl Individuen von *S. aquaticus* am deutlichsten zu reduzieren (Abb. 3, Jahr 1). Ausreissen/Ausstechen reduzierte *S. aquaticus* kaum, ebenso Pflügen mit Neuansaat, wohingegen nach Fräsen mit Neuansaat die

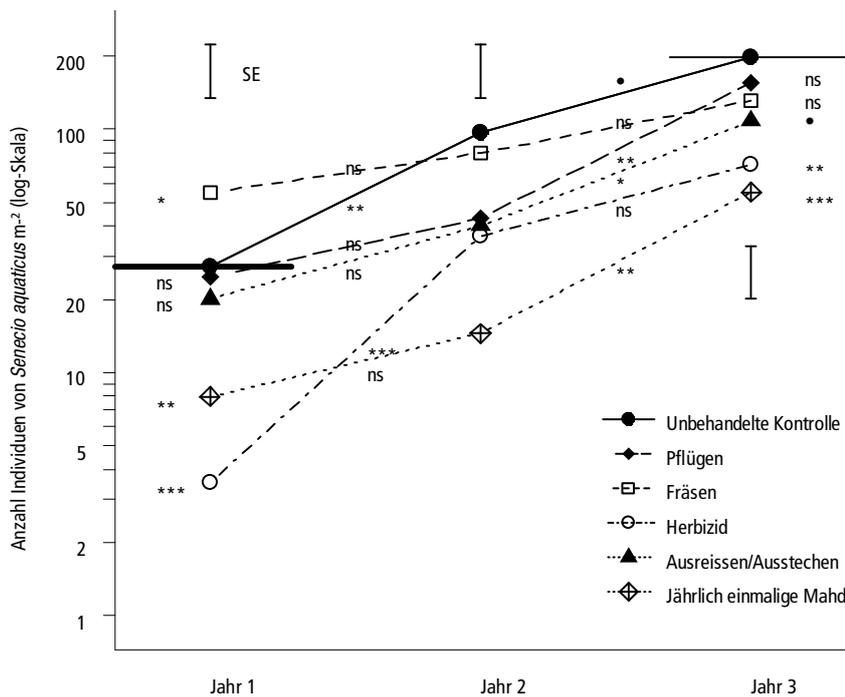


Abb. 3 | Wirkung von sechs Regulierungsmassnahmen auf die Anzahl Individuen von *Senecio aquaticus*. Gezeigt sind Mittelwerte basierend auf einem Generalisiertem Linearem Modell. Jahr 1 zeigt den Kurzzeiteffekt vier Monate nach der Anwendung der Massnahmen. SE = 1 Standardfehler; — = Level der Kontrolle in Jahr 1 und 3. Die Mittelwerte wurden zwischen den Jahren und in Jahr 1 und 3 gegen die Kontrolle getestet. ***: $P \leq 0,001$; **: $P \leq 0,01$; *: $P \leq 0,05$; •: $P \leq 0,1$; ns: nicht signifikant.

Anzahl der Individuen anstieg. Generell verminderten alle Regulierungsmassnahmen den Rosettendurchmesser, wobei der Effekt nach Herbizidapplikation deutlich signifikant war (Tab. 2, Jahr 1). Diese Kurzzeiteffekte als auch die nachfolgend aufgeführten Dreijahreseffekte waren an allen fünf Standorten feststellbar (für Standortanalyse siehe Suter und Lüscher 2011).

Die Häufigkeit von *S. aquaticus* nahm über die drei Versuchsjahre generell zu (Abb. 3). Zum Beispiel konnten nach Herbizidapplikation im zweiten Jahr signifikant mehr Individuen als in Jahr 1 festgestellt werden ($P < 0,001$), und eine ähnliche Zunahme zeigte sich mit jährlich einmaliger Mahd beim Vergleich von Jahr 2 und 3 ($P < 0,01$). Dessen ungeachtet war ein Carryover-Effekt sichtbar und die kurzzeitig effektivsten Massnahmen waren auch nach drei Jahren am erfolgreichsten. Generell war die Anzahl Individuen von *S. aquaticus* nach drei Versuchsjahren im gleichen Bereich oder höher als die unbehandelte Kontrolle im Jahr 1. In keinem der Jahre konnte ein signifikanter Effekt von Übersaat auf die Anzahl der Individuen von *S. aquaticus* festgestellt werden ($P > 0,5$; keine weiteren Resultate gezeigt). Der Rosettendurchmesser war im Jahr 3 nur nach Pflügen

und jährlich einmaliger Mahd reduziert, nach Herbizidapplikation waren die Rosetten sogar grösser (Tab. 2).

Die Anzahl der blühenden Individuen von *S. aquaticus* im zweiten Versuchsjahr war eng mit der Anzahl der

Tab. 2 | Effekt von Regulierungsmassnahmen auf den Rosettendurchmesser (cm) von *Senecio aquaticus*. Gezeigt sind Mittelwerte aller gezählter Individuen von drei Versuchspartikeln je Massnahme an fünf Standorten; die Mittelwerte wurden in jedem Jahr gegen die Kontrolle getestet. Jahr 1 zeigt den Kurzzeiteffekt vier Monate nach der Anwendung der Massnahmen.

Regulierungsmassnahme	Jahr 1	Jahr 3
Unbehandelte Kontrolle	11,1 ($\pm 0,82$)	9,3 ($\pm 0,25$)
Pflügen	8,8 ($\pm 0,70$)†	8,3 ($\pm 0,21$)*
Fräsen	8,7 ($\pm 0,57$)†	9,3 ($\pm 0,43$)ns
Herbizid	5,2 ($\pm 0,11$)***	11,2 ($\pm 0,23$)***
Ausreissen/Ausstechen	8,9 ($\pm 0,50$)ns	9,5 ($\pm 0,29$)ns
Jährlich einmalige Mahd	10,4 ($\pm 0,94$)ns	7,7 ($\pm 0,37$)***

***: $P \leq 0,001$; **: $P \leq 0,01$; *: $P \leq 0,05$; †: $P \leq 0,1$; ns: nicht signifikant

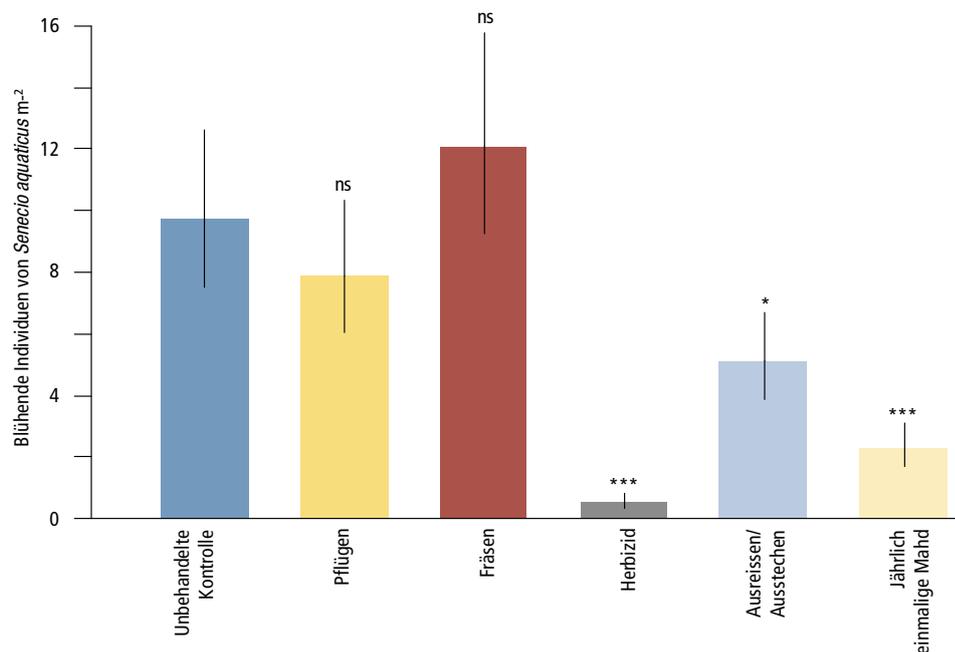


Abb. 4 | Anzahl blühende Individuen von *Senecio aquaticus* im zweiten Versuchsjahr, das heisst ein Jahr nach Anwendung der Regulierungsmassnahmen. Gezeigt sind Mittelwerte (± 1 Standardfehler) basierend auf einem Generalisierten Linearen Modell. Die Mittelwerte wurden gegen die Kontrolle getestet.

***: $P \leq 0,001$; *: $P \leq 0,05$; ns: nicht signifikant.

vegetativen Pflanzen im Jahr 1 korreliert (Abb. 4 & 3; $R^2 = 0,88$; $P < 0,001$). Im Besonderen konnten nach Herbizidapplikation und jährlich einmaliger Mahd signifikant weniger, jedoch nach Pflügen und Fräsen gleiche Werte wie bei der Kontrolle beobachtet werden.

Grosse Samenbank im Boden

Senecio aquaticus bildete im Oberboden (0–10 cm) mit durchschnittlich 1025 keimfähigen Samen pro Quadratmeter grosse Bodensamenbanken (Tab. 3), wobei die Unterschiede zwischen den Standorten und die grossen Standardfehler auf eine grosse räumliche Variation hinweisen. In der tieferen Bodenschicht (20–30 cm) wurden von *S. aquaticus* in den untersuchten Naturwiesen praktisch keine Samen gefunden.

Diskussion

Diese Arbeit untersuchte mehrere Massnahmen zur Kontrolle von etablierten Populationen von *S. aquaticus*. Nach drei Jahren zeigte keine der Massnahmen einen überzeugenden Erfolg; gleichzeitig wurde eine grosse Bodensamenbank von *S. aquaticus* gefunden, und wir argumentieren, dass beide Resultate eng miteinander

zusammenhängen. *S. aquaticus* wird als zweijährige Art beschrieben (Hess *et al.* 1977). Um die Populationsgrösse stabil zu halten, wächst jährlich ein Teil der Pflanzen aus Samen auf, was eine effiziente Samenproduktion voraussetzt. Ein Teil dieser Samen bleibt für längere Zeit keimfähig und bildet im Boden eine Samenbank. Wenn die Umweltbedingungen gegeben sind, kann *S. aquaticus* aus dieser Bodensamenbank permanent keimen.

Mit über 1000 Samen pro Quadratmeter war die Bodensamenbank von *S. aquaticus* verglichen mit anderen Arten ähnlicher Habitats gross (Wellstein *et al.* 2007). Zudem zeigt die Art ein sehr effizientes Keimverhalten: Die Samen keimen schnell, haben eine Keimfähigkeit von über 70 %, und auch nach zwei Jahren im Boden ist die Keimung nicht vermindert (Suter und Lüscher 2012). Bestehen Lücken im Bestand, wird *S. aquaticus* durch schnelle Keimung einer grossen Anzahl an Samen die vorhandenen Ressourcen zum eigenen Vorteil ausnützen können. Da solches Verhalten in frühen Wachstumsphasen mit der Häufigkeit einer Art im Bestand korreliert ist (Howard und Goldberg 2001), kann die effiziente und schnelle Keimung von *S. aquaticus* verbunden mit der grossen Bodensamenbank die generelle Zunahme in den Versuchsflächen erklären.

Tab. 3 | Keimfähige Samen von *Senecio aquaticus* im Oberboden (0–10 cm) und einer tieferen Bodenschicht (20–30 cm) an fünf Versuchsstandorten. Gezeigt sind Mittelwerte ($n = 3$; ± 1 Standardfehler).

Standort	Bodentiefe	
	0–10 cm	20–30 cm
Kriens I	458 ($\pm 253,5$)	0
Kriens II	1542 ($\pm 480,5$)	42 ($\pm 41,7$)
Kriens III	1792 ($\pm 1358,5$)	0
Rothenthurm	1208 ($\pm 546,5$)	0
Sattel	125 ($\pm 125,0$)	‡

‡ Keine Daten von Sattel, da sehr flachgründiger Boden

Die Keimung von *S. aquaticus* aus der Bodensamenbank muss in unserem Versuch durchgehend geschehen sein, und ist am besten bei Ausreissen/Ausstechen erkennbar. Bei dieser Behandlung wurden alle Individuen der Art, auch kleine Keimlinge, vollständig entfernt; vier Monate nach dieser Massnahme war jedoch ungefähr die gleiche Anzahl von *S. aquaticus* zu finden wie davor. Wenn viele Pflanzen ausgerissen oder ausgestochen werden, entstehen Lücken im Bestand, was die Keimung fördert (Silvertown und Smith 1989). Ausreissen/Ausstechen kann also nur bei wenigen Individuen empfohlen werden. Bei hoher Abundanz ist die Störung des Bodens so gross, dass durch die Verfügbarkeit von Licht die Keimung von *S. aquaticus* gefördert wird.

Herbizide waren in Übereinstimmung mit Forbes (1977) für ein Jahr erfolgreich. Bereits im zweiten Jahr lag die Anzahl der Individuen von *S. aquaticus* jedoch wieder im Bereich der Kontrolle zu Beginn. Es könnte gut sein, dass einerseits kleine Keimlinge im Schutze der Blattrosetten vom Wirkstoff nicht erfasst wurden, andererseits können durch das Absterben aller Kräuter Lücken im Bestand entstanden sein. In beiden Fällen werden Samen oder kleine Individuen von *S. aquaticus* von neu vorhandenem Licht und Platz profitiert haben und aufgewachsen sein. Für die verstärkte Keimung spricht insbesondere auch, dass im Jahr 1 viele kleine Pflanzen zu finden waren (Tab. 2), die auch im Jahr 2 die kritische Rosettengrösse zur Bildung von Blütenstängeln noch nicht erreicht hatten (Abb. 4).

Pflügen zeigte keine befriedigenden Resultate, obwohl es im Ackerbau zur Unkrautregulierung erfolgreich eingesetzt wird. Da der Boden im Dauergrasland nicht bearbeitet wird, würde man hier von einmaligem

Pflügen eine bessere Wirkung erwarten als im Ackerland mit permanenter Bodenbearbeitung, da in nicht gepflügten Flächen in tieferen Bodenschichten weniger Samen gefunden werden als in Äckern (Hoffman *et al.* 1998). Das zwiespältige Resultat könnte durch eine zu tiefe Saatbettvorbereitung erklärt werden, welche die Samen von *S. aquaticus* wieder an die Bodenoberfläche brachte. Auch muss bei Pflügen als Kontrollmassnahme der Vorschäler eher tief eingestellt werden, damit die Grasnarbe vollständig in die Tiefe befördert wird. Weitere Restriktionen sind durch die Umweltbedingungen wie steile oder feuchte Flächen gegeben. Lassen es die Bedingungen zu, kann tiefes Pflügen, eine Saatbettvorbereitung nur der obersten Bodenschicht und Neuanfaat zur Kontrolle von *S. aquaticus* versucht werden. Aufgrund der vorliegenden Resultate kann jedoch keine Sicherheit über den Erfolg abgegeben werden.

Während die Konkurrenz des Bestandes gegenüber *S. aquaticus* mit Ausreissen/Ausstechen bestehen blieb, wurde dieser Faktor mit Fräsen vollständig eliminiert, gleichzeitig war die Störung des Bodens maximal. Es muss angenommen werden, dass *S. aquaticus* mit seinen sehr effizienten Keimeigenschaften (Suter und Lüscher 2012) unter diesen Bedingungen aus der Bodensamenbank schneller keimte als die neu angesäten Arten der Standardmischung. Dies hatte zur Folge, dass mit dieser Massnahme die Anzahl der Individuen als auch der blühenden Pflanzen zunahm.

Der gute Erfolg von jährlich einmaliger Mahd kann auf die Akkumulation von Biomasse bis zum Mähtermin im September zurückgeführt werden. Im bewirtschafteten Grasland des Untersuchungsgebietes bildet *S. aquaticus* Stängel und Blüten mehrheitlich nach dem ersten Schnitt im Mai oder Juni. Wird mit diesem Schnitt bis zur Ende der Vegetationsperiode zugewartet, wird die Konkurrenz um Licht das Wachstum von *S. aquaticus* unterdrücken, denn die Blätter der Art sind in einer bodennahen Rosette konzentriert (Abb. 2) und die Pflanzen sind mit 20 bis 50 cm Höhe kleiner als viele andere Graslandarten. Mit jährlich einmaliger Mahd erreichten viele Rosetten von *S. aquaticus* die kritische Grösse zur Stängelbildung nicht, was auch durch die geringe Anzahl blühender Individuen im Jahr 2 gezeigt wurde (Abb. 4). Zudem war mit einer einzigen späten Mahd die Störung des Bodens und damit die Förderung der Samenkeimung gering und die Beschattung allfälliger Keimlinge sehr ausgeprägt. Der längerfristige Erfolg auch dieser Behandlung muss jedoch offen bleiben (Abb. 3), vor allem, wenn diese die einzige Massnahme bleibt. Ausserdem ist eine Extensivierung mit sinkenden Futtererträgen und einer Veränderung des Bestandes verbunden, was in der Regel nicht erwünscht ist.

Die im ersten Jahr erfolgreichsten Regulierungsmassnahmen zeigten auch im dritten Jahr noch die beste Wirkung. Allerdings lag die Anzahl Individuen von *S. aquaticus* nach drei Jahren bei allen Massnahmen im Bereich der unbehandelten Kontrolle bei Versuchsbeginn oder höher (Abb. 3). In unserem Experiment wurden die blühenden Pflanzen in Übereinstimmung mit der bisherigen Praxis nicht spezifisch geschnitten. Dies hatte zur Folge, dass einige Individuen ihren Lebenszyklus vollenden und Samen bilden konnten, welche durch Keimung die Individuenzahl von *S. aquaticus* zusätzlich erhöhten. Dies ist besonders gut an der Kontrolle erkennbar, welche lediglich zweimal jährlich gemäht wurde; auch dort nahm *S. aquaticus* über die drei Versuchsjahre zu. Wird die Samenbildung von *S. aquaticus* also nicht unterbunden, muss mit einer Zunahme der Populationsgrösse in landwirtschaftlichem Grasland gerechnet werden. Dieser Effekt wird durch Lückenbildung und Störungen des Bodens verstärkt (Suter und Lüscher 2008). Da *S. aquaticus* bereits 20 Tage nach Schnitt wieder blüht, ist auch eine Bewirtschaftungsintensivierung keine Option: Nutzungsfrequenzen, welche die Samenbildung der Art verhindern, würden die gewünschten Futterpflanzen sehr stark beeinträchtigen.

Schliesslich muss festgehalten werden, dass auch die beiden erfolgreichsten Massnahmen – Herbizidapplikation und jährlich einmalige Mahd – nach einmaliger Anwendung letztlich zu wenig effizient waren. Auch hier überlebten immer noch einige Kreuzkraut-Individuen (Abb. 3 | 1 Pflanze pro m² = 10 000 pro ha) und weitere keimten aus der Bodensamenbank.

Schlussfolgerungen

Die Regulierung von etablierten Populationen von *S. aquaticus* mit grossen Bodensamenbanken wird eine grosse Herausforderung bleiben. Da *S. aquaticus* fähig ist, aus wenigen Individuen neue Populationen aufzubauen (Suter und Lüscher 2008), sollte in landwirtschaftlichem Grasland eine Nulltoleranz-Strategie angestrebt werden.

Die Anwendung einer ersten Massnahme muss zum Ziel haben, die Anzahl der Pflanzen von *S. aquaticus* sehr stark zu reduzieren; danach müssen die überlebenden oder neu aufwachsenden Individuen durch Einzelstockbehandlung (Ausreissen, Herbizide) angegangen werden, was mehrere Jahre in Anspruch nehmen kann, bis die Bodensamenbank erschöpft ist (Suter und Lüscher 2011). Wir schliessen daraus, dass die effektivste Kontrolle von *S. aquaticus* das Entstehen von neuen Populationen in landwirtschaftlich genutztem Grasland verhindert und die Art angegangen werden muss, wenn sie mit wenigen Individuen im Bestand auftritt und noch keine Samenbank vorhanden ist. Der Aufbau einer Bodensamenbank sollte mit allen Mitteln verhindert werden.

Die standortgerechte Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden scheint entscheidend zu sein, um den Etablierungserfolg von *S. aquaticus* zu reduzieren. Nach Sebald *et al.* (1999) wächst die Art auf feuchten Flächen, die heutzutage intensiver als früher bewirtschaftet werden. Es sollte also bei solchen Flächen speziell auf eine angepasste Nutzungsfrequenz mit entsprechender Düngung und bodenschonende Bewirtschaftung geachtet werden. ■

Literatur

- Bosshard A., Joshi J., Lüscher A. & Schaffner U., 2003. Jakobs- und andere Kreuzkraut-Arten: eine Standortbestimmung. *Agrarforschung* **10** (6), 231–235.
- Forbes J.C., 1977. Chemical control of marsh ragwort (*Senecio aquaticus* Huds.) in established grasslands. *Weed Research* **17**, 247–250.
- Hess H.E., Landolt E. & Hirzel R., 1977. Flora der Schweiz, 2nd edn. Birkhäuser, Basel, Schweiz.
- Hoffman M.L., Owen M.D.K. & Bühler D.D., 1998. Effects of crop and weed management on density and vertical distribution of weed seeds in soil. *Agronomy Journal* **90** (6), 793–799.
- Howard T.G. & Goldberg D.E., 2001. Competitive response hierarchies for germination, growth, and survival and their influence on abundance. *Ecology* **82** (4), 979–990.
- Röder E., Wiedenfeld H. & Kersten R., 1990. The Pyrrolizidine Alkaloids of *Senecio aquaticus* Huds. *Scientia Pharmaceutica* **58**, 1–8.
- Sebald O., Seybold S., Philippi G. & Wörz A. (eds), 1999. Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Ulmer, Stuttgart, Deutschland.
- Silvertown J. & Smith B., 1989. Mapping the microenvironment for seed germination in the field. *Annals of Botany* **63** (1), 163–168.
- Suter D., Rosenberg E., Frick R. & Mosimann E., 2008. Standardmischungen für den Futterbau. *Agrarforschung* **15** (10), 1–12.
- Suter M. & Lüscher A., 2007. Beeinflusst die Bewirtschaftung das Wasser-Kreuzkraut? *Agrarforschung* **14** (1), 22–27.
- Suter M. & Lüscher A., 2008. Occurrence of *Senecio aquaticus* in relation to grassland management. *Applied Vegetation Science* **11** (3), 317–324.
- Suter M. & Lüscher A., 2011. Measures for the control of *Senecio aquaticus* in managed grassland. *Weed Research* **51**, 601–611.
- Suter M. & Lüscher A., 2012. Rapid and high seed germination and large soil seed bank of *Senecio aquaticus* in managed grassland. The Scientific World Journal DOI:10.1100/2012/723808.
- Ter Heerd G.N.J., Verweij G.L., Bekker R.M. & Bakker J.P., 1996. An improved method for seed-bank analysis: Seedling emergence after removing the soil by sieving. *Functional Ecology* **10** (1), 144–151.
- Wellstein C., Otte A. & Waldhardt R., 2007. Seed bank diversity in mesic grasslands in relation to vegetation type, management and site conditions. *Journal of Vegetation Science* **18** (2), 153–162.

Riassunto**E' possibile controllare il senecio acquatico nelle superfici inerbite agricole?**

Negli ultimi anni è stata osservata a più riprese la presenza di senecio acquatico (*Senecio aquaticus* Hill) nelle superfici inerbite agricole sfruttate. Questa specie è tossica per i bovini e altri animali da reddito. Per la regolazione del *S. aquaticus* sono stati testati, nell'ambito di una prova su campo in sei aziende svizzere, sei procedimenti: risemina di una miscela per prati dopo l'aratura, risemina dopo la fresatura, applicazione di un erbicida selettivo, sradicamento o taglio, gestione estensiva mediante un unico sfalcio annuo e una superficie di controllo non trattata. Inoltre è stata analizzata la banca di semi del *S. aquaticus* nel suolo. L'applicazione di erbicidi e lo sfalcio annuo unico hanno avuto a breve termine il miglior effetto e hanno ridotto il numero di individui di *S. aquaticus* fino ad un massimo dell' 88 %; per i restanti misure non è stato riscontrato alcun effetto evidente. Tre anni dopo l'applicazione anche attraverso i migliori provvedimenti non è stata osservata nessuna riduzione rispetto alla superficie di controllo non trattata all'inizio dell'esperimento. Lo *S. aquaticus* ha costituito una grande banca di semi nel suolo con più di 1000 semi germinabili per metro quadrato. Ciò ha contribuito all'insuccesso delle misure per la regolazione, poiché tutti gli individui della specie eliminati sono stati sostituiti, attraverso la germinazione, da nuove piante. Concludiamo che la regolazione di grandi popolazioni di *S. aquaticus* rappresenta una sfida considerevole. Le misure devono essere applicate ripetutamente per diversi anni fino a quando la banca di semi sia esaurita.

Summary**Can *Senecio aquaticus* be controlled in agricultural grassland?**

In recent years, *Senecio aquaticus* has become increasingly abundant in agricultural grassland of medium-to-high management intensity in Switzerland, Southern Germany and Austria, where its toxicity poses a threat to animal health. This study aimed to identify measures for controlling *S. aquaticus*. A detailed field experiment was set up at five sites in Switzerland to test the effectiveness of six treatments: ploughing followed by re-sowing with a ley mixture; harrowing followed by re-sowing; application of a selective herbicide; pulling or digging up individual specimens; mowing once a year; and a control in which no measure was applied. In addition, the soil the seed bank of *S. aquaticus* was recorded prior to the study.

In the short-term, herbicide application and mowing once a year were the most effective measures for controlling *S. aquaticus*, reducing specimens by up to 88 %. No clear effects were observed for the remaining measures. Three years after application, the measures that were most effective in the short-term still performed best, but hardly any significant reduction was achieved compared to pre-treatment conditions. Because *S. aquaticus* formed large seed banks of over 1000 germinable seeds per m², elimination of individual plants resulted in germination and replacement with new seedlings, thereby contributing to the failure of the treatments.

We therefore conclude that controlling established populations of *S. aquaticus* remains a challenge, requiring the repeated application of measures over several years until the seed bank is depleted. For this reason, the formation of populations with a soil seed bank of *S. aquaticus* should be prevented by any means.

Key words: control measures, re-sowing, herbicide, pulling/digging, ploughing, one annual mowing.