Mehrjährige Schwarzbrache: Eine geeignete Methode zur Erdmandelgras-Bekämpfung

Several years of fallow: an appropriate method for yellow nutsedge control

Judith Wirth[1*], Marco Willi[2], Martina Keller[3]

[1]Agroscope Changins, Produktionssysteme Pflanzen, Herbologie Ackerbau, 1260 Nyon, Schweiz
[2]Diplomstudent Agrotechniker HF, LBBZ Schluechthof, 6330 Cham, Schweiz
[3]Agroscope Wädenswil, Pflanzen und pflanzliche Produkte, Extension Gemüsebau, 8820 Wädenswil, Schweiz
*judith.wirth@agroscope.admin.ch
DOI: 10.5073/20220117-135135

Zusammenfassung

Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) stellt ein großes Problem im Schweizer Gemüse- und Ackerbau dar. Mit dem Ziel, stark verseuchte Flächen zu sanieren, wurden an vier Standorten 3-jährige Schwarzbrache Streifenversuche (2018 bis 2020) auf landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Dabei wurden vier Versuchsvarianten verglichen: A. Wiederholte Bodenbearbeitung (BB), B. Wiederholte BB + einmalige Einarbeitung von Dual Gold (2 l/ha), C. Wiederholte BB + einmalige Anwendung von Equip Power (1,5 l/ha), D. Wiederholte BB + einmalige Anwendung von Monitor (25 g/ha). Die Landwirte konnten selbst auswählen, welche Geräte sie zur BB verwenden. Zur Bewertung der Wirkung wurden die Knöllchenzahlen pro Liter Erde zu Beginn des Versuchs (Ende 2017), nach einem Jahr Schwarzbrache (Ende 2018) und nach drei Jahren Schwarzbrache (Ende 2020) bestimmt. Nach drei Jahren Schwarzbrache gingen die Knöllchenzahlen auf allen vier Betrieben um durchschnittlich 75 % zurück. Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten nachgewiesen werden, d.h. der Einsatz der Herbizide brachte keinen Zusatznutzen für die Reduzierung der Knöllchenzahl im Boden unter diesen Versuchsbedingungen.

Stichwörter: Bekämpfungsstrategie, Erdmandelgras, Schwarzbrache, S-Metolachlor, wiederholte Bodenbearbeitung

Abstract

Yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) is a major problem in arable and vegetable farming in Switzerland. With the aim to restore heavily infested areas, 3-year on-farm fallow strip trials (2018 to 2020) were conducted at four locations. Four experimental treatments were compared: A. Repeated soil cultivation (SC), B. Repeated SC + single incorporation of Dual Gold (2 L/ha), C. Repeated SC + single application of Equip Power (1.5 L/ha), D. Repeated SC + single application of Monitor (25 g/ha). The farmers could choose themselves, which soil working machines they wanted to use. To evaluate the effects, the numbers of tubers/liter soil were determined at the beginning of the trial (end of 2017), after one year of fallow (end of 2018) and after three years of fallow (end of 2020). After three years of fallow, tuber numbers were strongly reduced on all farms by an average of 75%. There were no statistical differences between the experimental variants, i.e. the use of herbicides did not provide an additional benefit for the reduction of tuber numbers in the soil under the experimental conditions.

Keywords: control strategy, fallow weed management, repeated soil cultivation, S-Metolachlor, yellow nutsedge

Einleitung

Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* ssp. *aurea* Ten.) gehört europaweit zu den gefährlichsten Unkräutern im Ackerbau (WEBER & GUT, 2005; BOHREN & WIRTH, 2015). Es ist ein Sauergras aus der Familie der Cyperaceae, das sich hauptsächlich über Knöllchen im Boden vermehrt, die etwa ab Anfang Mai austreiben, wenn es anfängt wärmer zu werden (BOHREN & WIRTH, 2013). Mehr als 80 % der Knöllchen befinden sich in den oberen 15 cm des Bodens (STOLLER & SWEET, 1987). In der Schweiz wird von Erdmandelgras (EMG) als Problempflanze in der Landwirtschaft bereits seit den 1990er Jahren berichtet (SCHMITT & SAHLI, 1992). Ausgehend vom Tessin, hat sich das Unkraut inzwischen praktisch in der gesamten Schweiz, teilweise sehr stark, ausgebreitet (Abb. 1). Seit circa zehn Jahren werden von Agroscope verschiedene Bekämpfungsmethoden untersucht. Für den Ackerbau wird eine möglichst späte Maisaussaat (ab Ende Mai), wenn möglich mit mehrmaliger vorgängiger Bodenbearbeitung (BB), plus Einarbeitung von Dual Gold vor der Saat (10 bis 15 cm) sowie Nachauflaufbehandlungen mit geeigneten Herbiziden empfohlen (KELLER et al., 2014; BOHREN & WIRTH, 2015; BOHREN, 2016; KELLER et al., 2018). Bei einer Studienreise zu holländischen Kollegen 2017 haben wir erfahren, dass EMG dort mit einer Schwarzbrache bekämpft wird (SCHRÖDER et al., 2017). Befallene Flächen werden mehrmals jährlich bearbeitet und mit Herbiziden behandelt. Die Bekämpfung wird solange fortgeführt, bis kein einziges EMG mehr gefunden wird. Eine Parzelle darf erst wieder ohne Einschränkungen mit allen Kulturen bewirtschaftet werden, wenn sie drei Jahre lang frei von EMG-Befall ist. Im Anschluss an diesen Besuch entschieden wir, die mehrjährige Schwarzbrache zur EMG-Bekämpfung unter Schweizer Bedingungen zu testen. Im nachfolgenden Artikel werden die Ergebnisse 3-jähriger Schwarzbrache-Versuche zusammengefasst.

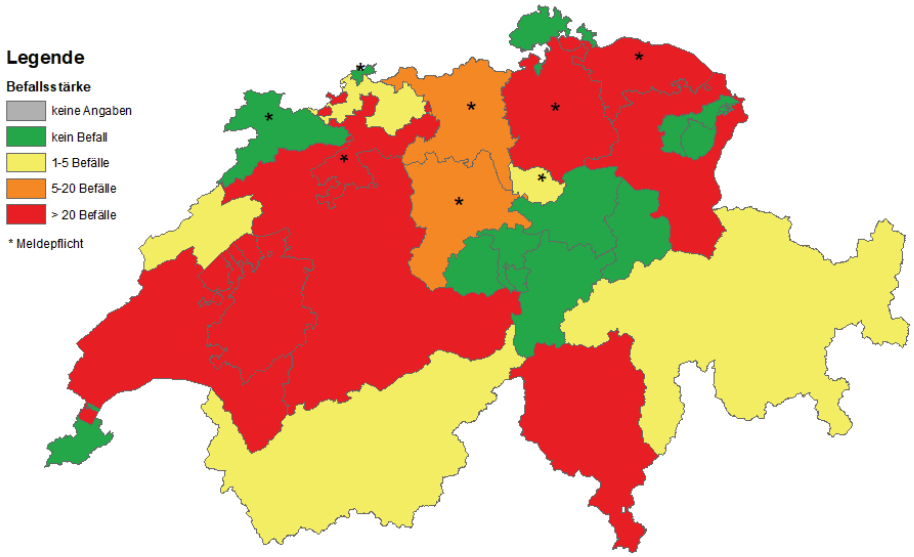

Abbildung 1 Aktuelle Verbreitung des EMG in der Schweiz. Quelle: Nationale Koordination Erdmandelgras, Alexandra Schröder (Stand 2021).

Figure 1 *Actual distribution of yellow nutsedge in Switzerland. Source: Nationale Koordination Erdmandelgras, Alexandra Schröder (status 2021).*

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Von 2018 bis 2020 wurden vier Feldversuche an unterschiedlichen Standorten im Schweizer Mittelland auf landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt: Betrieb Waadt (VD) in Chavornay, Betrieb Bern (BE) in

Schwarzhäusern, Betrieb Aargau (AG) in Hettenschwil und Betrieb Thurgau (TG) in Bethelhausen. Es handelt sich um Streifenversuche (6 m breit, je nach Standort 60 bis 200 m lang).

In jedem Versuch wurden vier Verfahren parallel getestet:

- Streifen A: nur Bodenbearbeitung (BB)
- Streifen B: BB, plus einmalige Einarbeitung von 2 l/ha Dual Gold (S-Metolachlor, 960 g/l, Syngenta)
- Streifen C: BB, plus einmalige Behandlung 2018 mit Herbizid X und 2019 und 2020 mit 1.5 l/ha Equip Power (Foramsulfuron 30 g/l; Thiencarbazone, 31.5 g/l; Iodosulfuron, 10 g/l; Bayer)
- Streifen D: BB, plus einmalige Behandlung mit 25 g/ha Monitor (Sulfosulfuron, 80 %, Leu + Gygax)

Jeder Landwirt konnte selbst wählen, welches Gerät er für die BB verwendet und wann er einen Bekämpfungsdurchgang durchführt. Die Geräte, die zur BB eingesetzt wurden, waren folgende: Kreiselegge (K), Federzahnegge (F), Pflug (P) und Grubber (G) (Abb. 2 bis 5). Es wurde empfohlen, die jungen EMG-Pflanzen jeweils im 2-5 Blattstadium zu bekämpfen und die Herbizide in der Mitte der Vegetationsperiode auszubringen. Dual Gold sollte nach dem Ausbringen oberflächlich (10 bis 15 cm tief) eingearbeitet werden, die anderen Herbizide nicht. Bei Herbizid X handelt es sich um einen Wirkstoff, der in Zusammenarbeit mit einer Pflanzenschutzfirma getestet wurde. Um welchen Wirkstoff es sich handelt, ist vertraulich. Aufgrund der mangelnden Wirksamkeit wurde der Streifen C ab 2019 mit Equip Power behandelt.

Detaillierte Beschreibung der Feldversuche

Betrieb VD: Bodentyp: Moorboden. Eine BB mit der Kreiselegge (10 bis 15 cm tief) wurde fünf- bis siebenmal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich einmal pro Jahr (2018 und 2019) mit dem Grubber in den Streifen A und B zwischen Mitte April und Mitte August durchgeführt (Abb. 2). Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Ende April und Anfang Juni ausgebracht. Dual Gold wurde immer eingearbeitet. Im August wurde nach der letzten BB jeweils Ölrettich gesät.

A

	April		Mai		Juni		Juli	August	
2018	12.04. K	23.04. K	03.05. K		01.06. G			13.08. K	21.08. K
2019	17.04. K		01.05. K		07.06. G	27.06. K		13.08. K	18.08. K
2020	15.04. K	23.04. K	09.05. K	29.05. K	26.06. K		14.07. K	10.08. K	

B

	Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)	Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)
2018	03.05.	01.06.		01.06.
2019	01.05.	06.06.	06.06.	
2020	23.04.			

C

	Zwischenfrucht	August
2018	Ölrettich	21.08.
2019	Ölrettich	18.08.
2020	Ölrettich	10.08.

Abbildung 2 Daten vom Betrieb VD (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (**A**) mit Kreiselegge (K) und Grubber (G), Herbizid Einsatz (**B**) und Aussaat der Zwischenfrucht (**C**). Grau unterlegt = nur Streifen A und B. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 2 *Data from the agricultural farm VD (2018 to 2020) on soil cultivation (**A**) with a rotary harrow (K) and a cultivator (G), herbicide application (**B**) and sowing of a cover crop (**C**). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.*

Betrieb AG: Bodentyp: schluffiger Lehm, Braunerde. Eine BB mit der Federzahnegge erfolgte zwei- bis dreimal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich ein- bis zweimal pro Jahr in den Streifen A und B (Abb. 3). Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Ende Mai und Mitte Juni ausgebracht. Dual

Gold wurde immer eingearbeitet. Ende August 2018 und 2019 und im September 2020 wurde nach der letzten BB Senf gesät.

A

	April	Mai	Juni	Juli	August	September
2018	28.04. F	30.05. F		31.07. F	27.08. F	
2019		10.05. F	08.06. F	27.07. F	19.08. F	
2020		09.05. F	13.06. F		20.08. F	16.09. F

B

	Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)	Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)
2018	30.05.	30.05.		30.05.
2019	08.06.	08.06.	08.06.	
2020	13.06.	13.06.	13.06.	

C

	Zwischenfrucht	August	September
2018	Senf	29.08.	
2019	Senf	28.08.	
2020	Senf		23.09.

Abbildung 3 Daten vom Betrieb AG (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (**A**) mit der Federzahnegge (F), Herbizid Einsatz (**B**) und Aussaat der Zwischenfrucht (**C**). Grau unterlegt = nur Streifen A und B. Blau unterlegt = nur Streifen A. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 3 *Data from the agricultural farm AG (2018 to 2020) on soil cultivation (**A**) with a tine cultivator (F), herbicide application (**B**) and sowing of a cover crop (**C**). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in blue = only strip A. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.*

Betrieb BE: Eine BB mit unterschiedlichen Geräten erfolgte drei- bis fünfmal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich einmal pro Jahr in den Streifen A und B (zusätzlich einmal 2018 im Streifen A, C und D) (Abb. 4).

A

	März		April		Mai	Juni	Juli	August		September	Oktober
2018			09.04 P	14.04 F	14.05 F	05.06 K					24.10 P+S
2019			17.04 G	14.05 K		08.06 K	08.07 K	02.08 P	03.08 S		
2020	26.03 P	28.03 K			16.05. K	27.06. M+K	08.07 K	15.08. S			

B

	Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)	Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)	Glyphosat (8 l/ha)
2018	04.06.	04.06.		04.06.	09.08.
2019	08.06.	08.06.	08.06.		
2020	16.05.	16.05.	16.05.		

C

	Zwischenfrucht	August	September	Oktober
2018	Tetra 200			25.10.
2019	Sandhafer	03.08.		
2020	Sandhafer	15.08.		

Abbildung 4 Daten vom Betrieb BE (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (**A**) mit verschiedenen Geräten: Grubber (G), Kreiselegge (K), Säkombination (S), Pflug (P), Federzahnegge (F), Mulchen (M), Herbizid Einsatz (**B**) und Aussaat der Zwischenfrucht (**C**). Grau unterlegt = nur Streifen A und B. Gelb unterlegt = nur Streifen A, C und D. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 4 *Data from the agricultural farm BE (2018 to 2020) on soil cultivation (**A**) with different machines: cultivator (G), rotary harrow (K), sower (S), plough (P), tine cultivator (F), mulching (M), herbicide application (**B**) and sowing of a cover crop (**C**). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in yellow = only strip A, C and D. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.*

Aufgrund sehr hoher Arbeitsbelastung im Jahr 2018 wurde zwischen Anfang Juni und Ende Oktober vergessen, den Versuch zu bearbeiten. Ein- bis zweimal jährlich wurde der Pflug eingesetzt. Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Mitte Mai und Anfang Juni ausgebracht. 2018 wurde zusätzlich im August eine Behandlung mit Glyphosat durchgeführt. Dual Gold wurde immer eingearbeitet. Nach der letzten BB wurden Tetra 200 (überwinterndes Zwischenfutter) im Oktober 2018 und Sandhafer im August 2019 und 2020 als Zwischenfrüchte gesät. Der Sandhafer wurde jeweils im Oktober siliert.

Betrieb TG: Bodentyp: sandiger Lehm, Regosol. Eine BB mit der Kreiselegge (15 cm tief) erfolgte drei- bis viermal pro Jahr in allen Streifen und zusätzlich ein- bis zweimal pro Jahr in den Streifen A und B (zusätzlich einmal 2018 im Streifen C) (Abb. 5). Herbizide wurden einmal pro Vegetationsperiode zwischen Ende Mai

und Mitte Juli ausgebracht. Dual Gold wurde 2018 und 2019 eingearbeitet, 2020 nicht. Im Juli 2018 und im August 2019 und 2020 wurde nach der letzten BB Ölrettich gesät.

A

	April	Mai		Juni		Juli	August
2018	09.04. K	08.05. K	29.05. K	21.06. K	25.06. K	13.07. K	
2019	08.04. K	17.05. K		19.06. K		20.07. K	30.08. K
2020	09.04. K	20.05. K		24.06. K		30.07. K	20.08. K

B

	Dual Gold (2 l/ha)	Monitor (25 g/ha)		Equip Power (1,5 l/ha)	Herb. X (1,75 l/ha)
2018	29.05.	29.05.	25.06.		30.05.
2019	20.07.	20.07.		20.07.	
2020	30.06.	30.06.		30.06.	

C

	Zwischenfrucht	Juli	August
2018	Ölrettich	19.07.	
2019	Ölrettich		30.08.
2020	Ölrettich		20.08.

Abbildung 5 Daten vom Betrieb TG (2018 bis 2020) zur Bodenbearbeitung (**A**) mit der Kreiselegge (K), Herbizid Einsatz (**B**) und Aussaat der Zwischenfrucht (**C**). Grau unterlegt = Streifen A und B. Grün unterlegt = nur Streifen C. Braun unterlegt = eingearbeitet durch Bodenbearbeitung.

Figure 5 *Data from the agricultural farm TG (2018 to 2020) on soil cultivation (**A**) with a rotary harrow (K), herbicide application (**B**) and sowing of a cover crop (**C**). Highlighted in grey = only strip A and B. Highlighted in green = only strip C. Highlighted in brown = incorporated by soil cultivation.*

Probenahme der Knöllchen

Innerhalb jedes Versuchsstreifens wurden zu Versuchsbeginn (Ende Vegetationsperiode 2017) mittels GPS (GEO 7x Trimble) vier 36 m^2 grosse Zonen vermessen. Bei jeder Beprobung wurden in jeder Zone sechs Erdproben (jeweils circa 1 l Erde) entnommen. Für jede Erdprobe wurden mit einem Bodenprobenehmer (10 cm Durchmesser) drei circa 15 cm tiefe Bodenproben entnommen. Die Erde dieser drei Proben wurde anschliessend vermischt. Ein Liter dieser Mischprobe wurde in einen Plastiksack gefüllt und bis zum Auswaschen der Knöllchen bei 4 °C gelagert. Die Probenahmen fanden jeweils nach Abschluss der Vegetationsperiode statt. Die erste Probenahme zur Bestimmung der Knöllchendichte der Anfangsverseuchung fand Ende 2017 statt. Die zweite Probennahme Ende 2018 (nach einem Jahr Bekämpfung) und die dritte Probenahme Ende 2020 (nach drei Jahren Bekämpfung).

Auswaschen der Knöllchen

Die Erdproben wurden mit Wasser auf einem Sieb mit 1 mm Maschenweite ausgewaschen. Die Knöllchenanzahl pro Erdprobe wurde bestimmt. Dabei wurde nicht zwischen keimfähigen und nicht keimfähigen Knöllchen unterschieden.

Auswertung

Die Versuche wurden als Demonstrationsversuche für Praktiker angelegt. Es gab keine Wiederholungen pro Standort und die Anordnung der Streifen war an jedem Standort gleich. Die Auswertung pro Standort erfolgte daher rein deskriptiv. Die fehlende Randomisierung geht mit möglichen Nachbarschaftseffekten einher (B liegt beispielsweise immer zwischen A und C). Diese Nachbarschaftseffekte sollten jedoch vernachlässigbar sein, da die Streifen in Bearbeitungsrichtung angelegt waren und allfällige Effekte durch Drift bei den Herbizidapplikationen sehr gering sein sollten. Dementsprechend konnte eine statistische Auswertung über die Standorte durchgeführt werden. Für jeden Behandlungsstreifen wurde ein Mittelwert

aus den 24 Erdproben (jeweils 1 Liter) pro Ort und Jahr berechnet sowie die prozentuale Veränderung der Knöllchenzahlen nach 3 Jahren im Vergleich zur Ausgangsverseuchung (Abb. 6). Für die Modellierung der Abnahme der Knöllchenzahlen wurde ein gemischtes lineares Model angepasst (R, «nlme» package) (Abb. 7). Die mittlere Anfangsverseuchung pro Streifen (E_0) wurde als Kovariable ins Modell aufgenommen. Die fixen Faktoren «Verfahren» und «Ort», die Variable «Jahr» (Jahre nach Versuchsbeginn: Werte 1 & 3) sowie deren zweifache Interaktionen wurden ins Modell aufgenommen. «Verfahren·Ort» wurde aus dem Modell genommen, da dies dem Streifen entspricht und das Modell mit dieser Interaktion nicht konvergierte. Neben dem Restfehler (nicht aufgeführt in den Formeln) wurde ein zufälliger Fehler für den Streifen angepasst, da pro Streifen zwei Werte (Jahr 1 und Jahr 3 nach Versuchsbeginn) vorlagen. Die response Variable «Knöllchen pro l» wurde logarithmiert, da eine exponentielle Abnahme der Knöllchenzahl aus biologischer und agronomischer Sicht sinnvoll erschien. Es wurde zuerst das volle Modell (Pattersons Modelsyntax (PIEPHO et al., 2003)) angepasst:

1) $ln(Knöllchen\ pro\ l) = Intercept + E_0 + Verfahren + Jahr + Ort + Verfahren{\cdot}Jahr + Verfahren{\cdot}Ort + Jahr{\cdot}Ort : Streifen$

Danach wurde das Modell unter Berücksichtigung der Signifikanz der Terme sowie der Änderung des AICs (Akaike information criterion) (method = «ML») reduziert. «Estimated marginals means» und «pairwise comparisons» wurden mit dem package «emmeans» berechnet. Weder «Verfahren» noch «Ort» noch deren Interaktionsterme waren signifikant.

Das volle Modell konnte dementsprechend reduziert werden:

2) $ln(Knöllchen\ pro\ l) = Intercept + E0 + Jahr : Streifen$

Dieses Modell wies auch den tiefsten AIC-Wert auf. Für die Darstellung wurden die Schätzwerte des Modells auf die Ausgangskala zurücktransformiert und Knöllchen pro l auf Knöllchen pro m^2 umgerechnet (Beprobungstiefe 15 cm).

Interviews

Am Ende der dreijährigen Versuchsperiode wurden die vier beteiligten Landwirte im Rahmen einer Diplomarbeit in Interviews mittels eines strukturierten Fragebogens zu ihren Erfahrungen befragt. Der Fragebogen umfasste elf Fragen. Die Antworten auf sechs Fragen werden in diesem Beitrag zusammengefasst und diskutiert (Tab. 1).

- Frage 1: Seit wann ist die Fläche mit EMG verseucht?
- Frage 2: Wissen Sie, wie das EMG auf Ihr Feld kam?
- Frage 3: Ist die Schwarzbrache in ihren Augen eine geeignete Methode, um EMG erfolgreich zu bekämpfen? Würden Sie diese weiterempfehlen?
- Frage 4: Haben Sie es jedes Mal geschafft, das EMG im optimalen Stadium zu bekämpfen? Wenn nein, warum nicht? (keine Zeit, vergessen, etc.)
- Frage 5: Haben Sie eine gesteigerte Effizienz durch eine zusätzliche Herbizidbehandlung beobachtet? Falls ja, bei welchem Herbizid?
- Frage 6: Ist ein Einfluss auf die Bodenstruktur nach drei Jahren Schwarzbrache-Bekämpfung sichtbar?

Ergebnisse

Feldversuche: Entwicklung der Knöllchenzahlen

Da es sich um Versuche auf landwirtschaftlichen Betrieben handelt, bei denen die beteiligten Landwirte selbst viele Entscheidungen treffen konnten, kann lediglich der Effekt aller Massnahmen auf die

Entwicklung der Knöllchenzahlen auf den vier Betrieben beurteilt werden. Am Standort VD war die Ausgangsverseuchung mit EMG am höchsten (18,3 Knöllchen l^{-1} bzw. 2745 Knöllchen m^{-2}), gefolgt vom Standort AG (11 Knöllchen l^{-1} bzw. 1650 Knöllchen m^{-2}). Deutlich weniger Knöllchen fand man zu Beginn des Versuchs an den beiden anderen Standorten BE (5,9 Knöllchen l^{-1} bzw. 885 Knöllchen m^{-2}) und TG (7,1 Knöllchen l^{-1} bzw. 1065 Knöllchen m^{-2}) (Abb. 6). Der schrittweise Rückgang der Knöllchenzahlen über die dreijährige Versuchsperiode ist an allen Standorten und in allen Streifen zu beobachten. Der Rückgang am Standort BE ist erst nach drei Jahren sichtbar (Abb. 6B), da im ersten Versuchsjahr (2018) die BB zwischen Anfang Juni und Ende Oktober aufgrund von Zeitmangel nicht durchgeführt worden war (Abb. 4). Das EMG konnte sich dementsprechend vermehren und die Knöllchenzahl wurde nicht reduziert. Der Rückgang der Knöllchenzahl erfolgte erst ab 2019. Aus Abbildung 6 geht auch hervor, dass die Verteilung der Knöllchenzahlen innerhalb der Behandlungsstreifen meist sehr heterogen war, was teilweise zu sehr grossen Standardabweichungen führt. Die Ausgangsverseuchung in den Streifen A der Betriebe VD (Abb. 6A) und TG (Abb. 6D) beispielsweise variierte zwischen 4 und 52 bzw. zwischen 0 und 35 Knöllchen l^{-1}. Die höchste Reduktion konnte im Betrieb AG im Streifen C erzielt werden (Abb. 6C). Nach drei Jahren Schwarzbrache war der Knöllchenvorrat im Boden um 86 % reduziert (von 17,1 auf 2,5 Knöllchen l^{-1}).

Bei der Auswertung über die Standorte konnte das volle Modell bzw. das Ausgangsmodell (1) stark reduziert werden zu einem einfacheren Modell (2). Die Anfangsverseuchung E_0 hatte einen signifikanten Effekt. Das heisst, je stärker ein Feld mit EMG verseucht ist, umso länger muss bekämpft werden, damit die Verseuchung auf ein bestimmtes Niveau reduziert werden kann. Die Variable «Jahr» hatte ebenfalls einen signifikanten Effekt. Jahr 1 und Jahr 3 waren statistisch signifikant verschieden. Es konnte daher eine statistisch signifikante Reduktion der EMG Verseuchung mit den Verfahren an den vier Versuchsstandorten über die Jahre erzielt werden. Im Ausgangsmodell (1) waren weder der Faktor «Verfahren» noch der Faktor «Ort» signifikant. Das bedeutet, dass das EMG sowohl mit intensiver mechanischer als auch intensiver mechanisch-chemischer Bekämpfung wirksam bekämpft werden konnte während der drei Jahre Brache. Der Faktor «Ort» umfasst die Wetterbedingungen, Bodenart, aber auch den Faktor Landwirt (wann welches Gerät eingesetzt wurde). Die involvierten Landwirte waren motiviert und führten die EMG-Bekämpfung insgesamt sehr gut durch. Es ist daher davon auszugehen, dass die Verfahren auch an anderen Standorten zu ähnlichen Ergebnissen führen werden, vorausgesetzt die Bekämpfung erfolgt ebenso gewissenhaft.

Anhand des Schätzwertes «Jahr» wurde eine Halbwertszeit von 1,53 Jahren berechnet. Mit den Verfahren konnte daher innerhalb von drei Bekämpfungsjahren die EMG Verseuchung im Schnitt um 75 % reduziert werden. Da der Schätzwert anhand von vier Standorten mit vier verschiedenen Bekämpfungsverfahren über drei Versuchsjahre ermittelt wurde, ist anzunehmen, dass dieser Wert relativ robust ist. Berücksichtigt man die mittlere Ausgangsverseuchung an den einzelnen Standorten sowie eine mittlere Verseuchung über alle Standorte kann die Abnahme über die drei Versuchsjahre modelliert sowie für kommende Versuchsjahre extrapoliert werden (Abb. 7). Mit einem exponentiellen Modell kann die Dauer bis zur Tilgung (Verseuchung = 0) jedoch nicht berechnet werden (asymptotisch gegen 0).

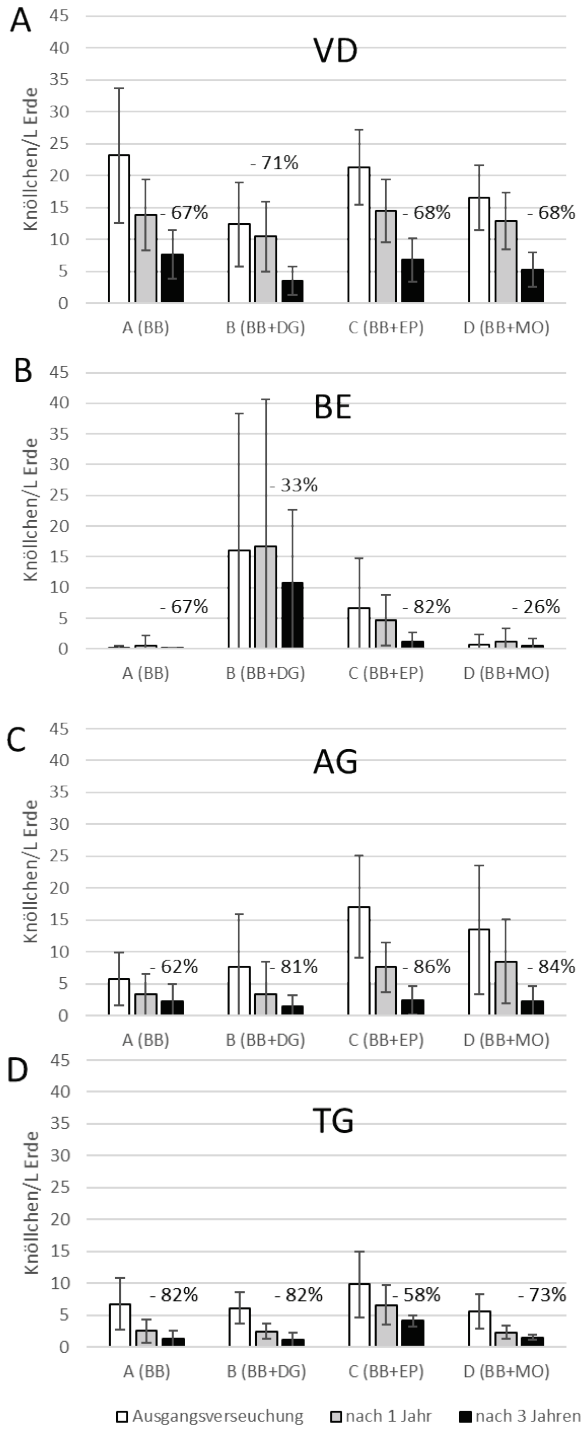

Abbildung 6 Entwicklung der Knöllchenzahlen über den gesamten Versuchszeitraum. Durchschnittliche Knöllchenzahl pro Liter Erde (n=24) ± Standardabweichung in den vier Behandlungsstreifen und Veränderung der Knöllchenzahlen (%) pro Streifen nach 3 Jahren Schwarzbrache im Vergleich zur Ausgangsverseuchung. A (BB = Bodenbearbeitung), B (BB+DG = Bodenbearbeitung + Dual Gold), C (BB +EP = Bodenbearbeitung + Equip Power) und D (BB + MO = Bodenbearbeitung + Monitor) auf den vier Betrieben VD (**A**), BE (**B**), AG (**C**) und TG (**D)** zu Beginn der Schwarzbrache (Ausgangsverseuchung), nach einem Jahr Schwarzbrache (nach 1 Jahr) und nach 3 Jahren Schwarzbrache (nach 3 Jahren).

Figure 6 *Tuber development over the entire trial period. Average tuber number per liter soil (n=24) ± standard deviation in the four strips and variation of tuber numbers (%) per strip after 3 years of fallow compared to the initial infestation. A (BB = soil cultivation), B (BB+DG = soil cultivation + Dual Gold), C (BB+EP = soil cultivation + Equip Power) and D (BB+MO = soil cultivation + Monitor) on the four agricultural farms VD (**A**), BE (**B**), AG (**C**) and TG (**D**) at the beginning of the fallow (Ausgangsverseuchung), after one year of fallow (nach 1 Jahr) and after 3 years of fallow (nach 3 Jahren).*

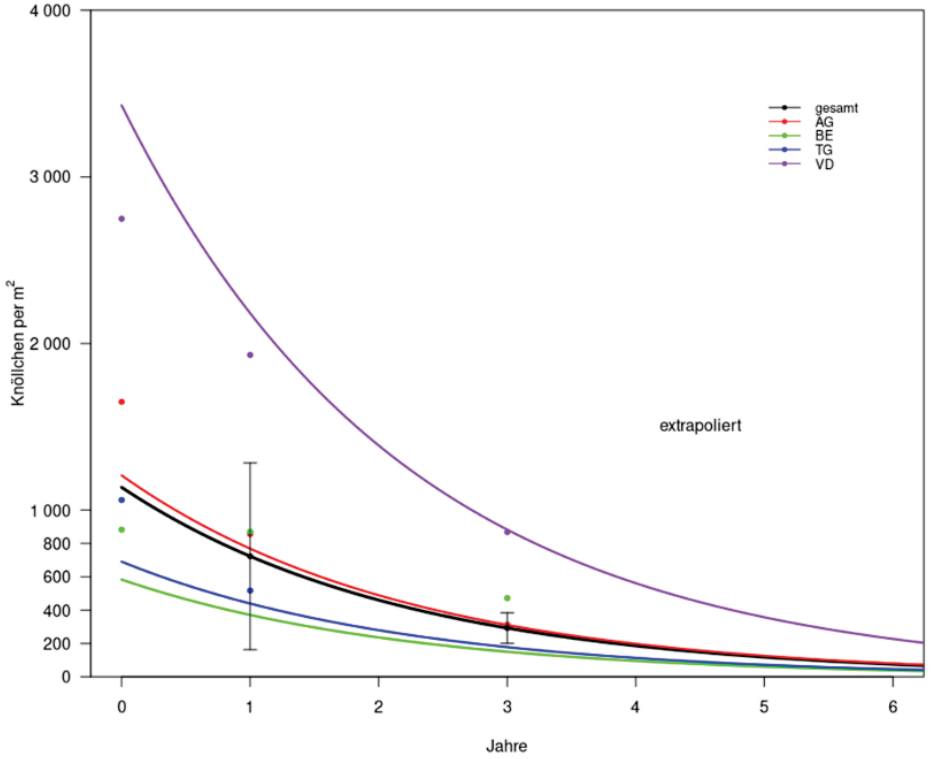

Abbildung 7 Abnahme der Knöllchenzahl über die Jahre modelliert über alle Standorte (gesamt). Gezeigt sind die Schätzwerte für das Jahr 1 und das Jahr 3 ± Standardfehler.

Figure 7 *Decrease of tuber numbers over time modelled over all locations (gesamt). Estimated values for year 1 and year 3 ± standard deviation are shown.*

Interviews: Eindrücke & Erfahrungen der Landwirte

Der EMG-Befall auf den Feldern der am Versuch beteiligten Landwirte wurde zwischen 2008 und 2015 festgestellt (Tab. 1, Frage 1). Alle Landwirte wissen, wie das EMG auf ihr Feld kam. Eintragswege waren zugeführte Wascherden (Kartoffeln, Zuckerrüben), Kompost sowie die Rübenmaus oder verunreinigte Paloxen (Tab. 1, Frage 2). Da die Schwarzbrache die Bodenstruktur auf seinem Feld (Moorboden) massiv verschlechtert hat, kann der Landwirt aus der Waadt (VD) die Methode nicht weiterempfehlen (Tab. 1, Frage 3). Auch die anderen Landwirte haben negative Auswirkungen auf die Bodenstruktur beobachtet (Tab. 1, Frage 6). Dennoch würden diese Landwirte die Schwarzbrache zur EMG-Bekämpfung weiterempfehlen und bewerten die Methode als effizient. In den meisten Fällen haben es die Landwirte geschafft, das EMG jedes Mal im optimalen Stadium (2-5 Blatt, 10 bis 15 cm hoch) zu bekämpfen. Allerdings kam bei allen vier Landwirten mindestens einmal etwas dazwischen, wie z.B. Zeitmangel aufgrund anderer Arbeiten oder widrige Wetterbedingungen (Tab. 1, Frage 4). Nach Ansicht aller Landwirte war der Bekämpfungserfolg im Streifen B (BB+DG) am besten (Tab. 1, Frage 5).

Diskussion

In den Versuchen konnte das EMG mit intensiver mechanischer oder intensiver mechanisch-chemischer Bekämpfung in der Brache nach drei Versuchsjahren im Schnitt um 75 % reduziert werden, wobei der stärkste Rückgang von 86 % auf dem Betrieb AG beobachtet wurde. Dabei variierte die Anzahl Bodenbearbeitungsgänge stark zwischen zwei und sieben pro Jahr und Streifen. Es ist davon auszugehen, dass drei bis vier Bearbeitungsgänge pro Jahr zum richtigen Zeitpunkt ausreichend sind. Eine Schwarzbrachefläche, die regelmässig überprüft wird, ermöglicht es, das EMG nach jeder neuen Keimwelle

im optimalen Stadium zu bekämpfen und zu verhindern, dass neue Knöllchen gebildet werden. Ausserdem sind die EMG-Pflanzen auf einer Brachefläche sehr gut sichtbar und die Entwicklung der EMG-Population kann leicht überwacht werden. Ziel ist es, den Knöllchenvorrat im Boden kontinuierlich zu verringern. Es gibt keine gesicherten Erkenntnisse zur Lebensdauer der Knöllchen im Boden. In einem Laborversuch wurde eine Halbwertszeit von vergrabenen EMG-Knöllchen in 10,2 und 20,3 cm Tiefe von 4,4 bzw. 5,7 Monaten bestimmt (STOLLER & WAX, 1973). Diese Werte sind wesentlich geringer als die von uns errechnete Halbwertszeit von 18 Monaten. Wir können allerdings nicht ausschliessen, dass es auf den Versuchsflächen von Zeit zu Zeit zu einer Neubildung von Knöllchen kam, wodurch der Rückgang des Knöllchenvorrats im Boden verzögert wird. Es ist ausserdem bekannt, dass die Langlebigkeit der Knöllchen mit zunehmender Bodentiefe zunimmt (STOLLER & SWEET, 1987).

Tabelle 1 Fragen und Antworten aus den Interviews mit den vier Landwirten (VD, TG, AG und VD) nach der 3-jährigen Versuchsperiode.

Table 1 *Questions and answers from the interviews with the four farmers (VD, TG, AG and VD) after the three-year trial period.*

Interviewfragen	Betrieb BE	Betrieb TG
1. Seit wann ist die Fläche mit EMG verseucht?	2011	2015
2. Wissen Sie, wie das EMG auf Ihr Feld kam?	Abfallerde einer Kartoffelverarbeitungsfirma und wahrscheinlich vom Nachbarn	Über die Rübenwascherde
3. Ist die Schwarzbrache in ihren Augen eine geeignete Methode, um EMG erfolgreich zu bekämpfen? Würden Sie diese weiterempfehlen?	Ja. Nützt auf jeden Fall etwas. Wichtig ist, dass man immer dranbleibt. Wichtig ist auch, die Maschinen immer zu waschen.	Ja. Effiziente Methode. Landwirt hat eine separate Egge, die er nur für die EMG befallene Parzellen nutzt.
4. Haben Sie es jedes Mal geschafft, das EMG im optimalen Stadium zu bekämpfen? Wenn nein, warum nicht? (keine Zeit, vergessen, etc.)	Nein. Im Jahr 2018 Stallbau und wenig Zeit. EMG-Befall ist explodiert. Vor allem das separate Waschen der Bodenbearbeitungsgeräte beansprucht sehr viel Zeit.	Fast. Optimales Stadium zwischen 10 -15 cm Aufwuchshöhe. 2020 fand eine Flurbegehung auf der Versuchsparzelle statt. Deshalb konnte vorher keine Bekämpfung durchgeführt werden und der Bestand hat sich stark entwickelt. Im Juli 2020 wuchs das EMG nach dem Grubbern mit anschliessendem Niederschlag so schnell, dass der Landwirt mit der Kreiselegge fast zu spät war.
5. Haben Sie eine gesteigerte Effizienz durch eine zusätzliche Herbizid Behandlung beobachtet? Falls ja, bei welchem Herbizid?	Dual Gold wirkt am besten. Es gibt eine zusätzliche chemische Wirkung neben der mechanischen Wirkung.	Herbizide haben nicht viel bessere Wirkung. Dual Gold schneidet am besten ab.
6. Ist ein Einfluss auf die Bodenstruktur nach drei Jahren Schwarzbrache Bekämpfung sichtbar?	Schwarzbrache ist klar humuszehrend. es hat weniger organische Substanz und demensprechend weniger Nahrung für die Bodenlebewesen.	Der Boden ist leichter geworden → Ertragspotenzial ungewiss. Es gibt mehr Probleme mit der Erosion. Humusabbau schlecht abschätzbar, da der Landwirt viel Humus durch die Rübenwascherde hat.

Interviewfragen	Betrieb AG	Betrieb VD
1. Seit wann ist die Fläche mit EMG verseucht?	2010	ungefähr 2008
2. Wissen Sie, wie das EMG auf Ihr Feld kam?	Über den Kompost der Kompostieranlage Leibstadt	Wahrscheinlich mit der Rübenmaus oder mit Erde die an Palox-Kisten der SBB angehaftet war (Karotten/Sellerie Ernte).
3. Ist die Schwarzbrache in ihren Augen eine geeignete Methode, um EMG erfolgreich zu bekämpfen? Würden Sie diese weiterempfehlen?	Ja, absolut. Der Landwirt hat 10 Jahre gebraucht, um die Fläche wieder in die Fruchtfolge einzugliedern.	Nein. Kaputte Bodenstruktur in Schwarzerde.
4. Haben Sie es jedes Mal geschafft, das EMG im optimalen Stadium zu bekämpfen? Wenn nein, warum nicht? (keine Zeit, vergessen, etc.)	Fast. Einmal zu weit in die Ökofläche gepflügt. Während der Kartoffelernte manchmal zu wenig Zeit.	80% der Zeit ja, vor dem 3-Blatt-Stadium, 20% der Zeit nein, mehr als 3 Blätter wegen Regen oder Zeitmangel.
5. Haben Sie eine gesteigerte Effizienz durch eine zusätzliche Herbizid Behandlung beobachtet? Falls ja, bei welchem Herbizid?	Dual Gold, dieser Streifen hatte die geringste Verunkrautung. EMG kam in diesem Steifen am spätesten hervor. Möglichkeit besteht, dass es von der zweimaligen Bodenbearbeitung kommt. Monitor hat keine Wirkung gezeigt.	Ja, Teileffekt von eingearbeitetem Dual Gold, Equip Power und Monitor.
6. Ist ein Einfluss auf die Bodenstruktur nach drei Jahren Schwarzbrache Bekämpfung sichtbar?	Gute Struktur. Der Landwirt hat regelmässig Mist eingearbeitet, da viel vorhanden ist. An intensiv bearbeiteten Stellen besteht eine erhöhte Gefahr für Staunässe.	Ja, sehr schlechter Zustand der Bodenstruktur. Nach 3 Jahren Schwarzbrache, keine Struktur mehr.

Während des Versuchszeitraums wurden ausser spät gesäten Zwischenfrüchten keine Kulturen angebaut. Entsprechend wurden auf den Flächen keine Einnahmen generiert. Ausserdem führte die intensive Bekämpfung zu Schäden bei der Bodenstruktur. Nichtsdestotrotz waren die Landwirte mit der Schwarzbrache als Bekämpfungsmethode zufrieden und drei von vier Landwirten würden diese weiterempfehlen. Der von den Landwirten «beobachtete Zusatznutzen» von Dual Gold im Streifen B konnte statistisch nicht abgesichert werden. In anderen Versuchen war ein Zusatznutzen von Dual Gold ebenfalls beobachtet worden (KELLER et al., 2014). Diese Versuche wurden jedoch in Mais durchgeführt und es wurde nicht so oft bekämpft wie in den Brache-Versuchen. Während der Versuchsjahre war das Wetter meist optimal für die mechanische Bekämpfung. Die Versuche werden an drei der vier Standorte fortgeführt. Das Jahr 2021 war im Vergleich zu den Vorjahren sehr nass und eher kühl. Es wird sich zeigen, wie sich diese Bedingungen auf den Bekämpfungserfolg ausgewirkt haben. Der Effekt der wiederholten BB zur Knöllchenreduktion von *Cyperus esculentus* ist bereits dokumentiert (JOHNSON et al., 2007; BANGARWA et al., 2012). Obwohl die mehrjährige Brache als Standardbekämpfungsmethode in Holland auf befallenen Flächen verordnet wird (SCHRÖDER et al., 2017), gibt es keine Literatur zur Wirksamkeit und Knöllchenreduktion über mehrere Jahre mit dieser Methode. In einem on-farm Versuch mit intensiver Bekämpfung in Mais während drei Jahren konnte eine vergleichbare Reduktion der Knöllchenzahl erzielt werden (bis 80 %) (KELLER et al., 2018). In jenem Versuch war jedoch die Ausgangsverseuchung (361 Knöllchen pro m^{-2}) deutlich tiefer als die durchschnittliche Ausgangsverseuchung der in den hier vorgestellten Brache-Versuchen (1586 Knöllchen pro m^{-2}). Der Versuchsaufbau hat es nicht ermöglicht zu untersuchen, ob die Art des Bodenbearbeitungsgeräts und die Wahl der Zwischenfrucht (Art, Saatzeitpunkt, Saatdichte, etc.) den Bekämpfungserfolg beeinflussen. Hierzu wird 2022 ein vierjähriger Versuch gestartet, der diese Fragen beantworten soll. Fazit: Der Knöllchenvorrat im Boden nimmt einerseits durch die Keimung von Knöllchen ab. Gleichzeitig verlieren immer mehr Knöllchen im Boden über die Zeit (Fäulnis, Fraß etc.) ihre Keimfähigkeit. Werden die gekeimten Knöllchen bzw. die jungen EMG Pflanzen an der Knöllchenneubildung möglichst gehindert und wird jeder Neueintrag von anderen Flächen über beispielsweise verunreinigte Geräte minimiert, nimmt der Knöllchenvorrat über die Zeit ab. Dazu müssen die jungen EMG-Pflanzen (2-5 Blatt Stadium/10 bis 15 cm Höhe) zerstört werden und die Hygienemassnahmen sind ebenfalls einzuhalten. Eine mechanische Zerstörung der jungen Pflanzen kann durch verschiedene Bodenbearbeitungsgeräte mehrmals während der Vegetationsperiode erfolgen. Eine Verhinderung der Knöllchenneubildung kann auch durch die Applikation von Equip Power oder Monitor bzw. durch die Einarbeitung von Dual Gold erfolgen. Mit drei Jahren Schwarzbrache konnte der EMG-Befall deutlich reduziert werden. Da in allen Streifen am Ende der Versuchszeit noch Knöllchen vorhanden waren, muss die Bekämpfung auf den Flächen fortgeführt werden.

Danksagung

Wir danken den vier Landwirten sowie den beteiligten kantonalen Beratern für ihre grossartige Arbeit im Projekt. Ein grosses Dankeschön auch an Christian Bohren für die Planung und Umsetzung der Versuche.

Literatur

BANGARWA, S.K., J.K. NORSWORTHY, E.E. GBUR, 2012: Effects of Shoot Clipping-Soil Disturbance Frequency and Tuber Size on Aboveground and Belowground Growth of Purple and Yellow Nutsedge (*Cyperus rotundus* and *Cyperus esculentus*). Weed Technology **26** (4), 813-817, DOI: Doi 10.1614/Wt-D-12.00041.1.

BOHREN, C., 2016: Erdmandelgras. *Cyperus escultentus* L. Agroscope Merkblatt Nr. **47**, 1-4.

BOHREN, C., J. WIRTH, 2013: Erdmandelgras (*Cyperus esculentus* L.): die aktuelle Situation in der Schweiz. Agrarforschung Schweiz **4** (11-12), 460-467.

BOHREN, C., J. WIRTH, 2015: Die Verbreitung von Erdmandelgras (*Cyperus esulentus* L.) betrifft alle. Agrarforschung Schweiz **6** (9), 384-391.

JOHNSON, W.C., R.F. DAVIS, B.G. MULLINIX, 2007: An integrated system of summer solarization and fallow tillage for *Cyperus esculentus* and nematode management in the southeastern coastal plain. Crop Protection **26** (11), 1660-1666, DOI: DOI 10.1016/j.cropro.2007.02.005.

KELLER, M., J. KRAUSS, R. NEUWEILER, R. TOTAL, 2014: Use of the crop maize to reduce yellow nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) pressure in highly infested fields in Switzerland. 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig, Germany, Julius-Kühn-Archiv **443,** 114-122.

KELLER, M., R. TOTAL, J. KRAUSS, R. NEUWEILER, 2018: Validation of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) control strategies in maize in an on-farm, large-scale field trial. 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig, Germany, Julius-Kühn-Archiv **458**, 198-204. DOI 10.5073/jka.2018.458.028**.**

PIEPHO, H.P., A. BÜCHSE, K. EMRICH, 2003: A Hitchhiker's Guide to Mixed Models for Randomized Experiments. Journal of Agronomy and Crop Science **189** (5), 310-322, DOI: 10.1046/j.1439-037X.2003.00049.x.

SCHMITT, R., A. SAHLI, 1992: Eine in der Schweiz als Unkraut neu auftretende Unterart des *Cyperus esculentus* L., Landwirtschaft Schweiz **5** (6), 273-278.

SCHRÖDER, A., L. COLLET, C. BOHREN, 2017: Erdmandelgras: Die Niederlande haben ein Bekämpfungssytem, das funktioniert. Schweizer Bauer, 15.07.2017.

STOLLER, E.W., R.D. SWEET, 1987: Biology and Life Cycle of Purple and Yellow Nutsedges (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*). Weed Technology **1**, 66-73.

STOLLER, E.W., L.M. WAX, 1973: Yellow Nutsedge Shoot Emergence and Tuber Longevity. Weed Science **21** (1), 76-81.

WEBER, E., D. GUT, 2005: A survey of weeds that are increasingly spreading in Europe. Agronomie **25** (1), 109-121, DOI: 10.1051/agro:2004061.