

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Braunschweig, und
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebstechnik, Braunschweig

Eine geeignete Technik zur Umsetzung der photobiologischen Bekämpfung annueller Unkräuter

A suitable technique for the implementation of photocontrol of annual weeds

Von Peter Niemann und Rainer H. Biller

Zusammenfassung

Mit einer Gerätekombination wie dem „Kverneland Packomat Seeder“ steht eine geeignete Technik für die Bodenbearbeitung zur Verfügung, die der Forderung nach Lichtausschluß bei den Bearbeitungsgängen zur Reduktion des Auflaufens von Unkräutern gerecht wird. Mit dem Gerät lassen sich sämtliche Bearbeitungsschritte vom Pflügen bis zur Saat bei Getreide und Raps in einem Arbeitsgang durchführen. Mit einer Nachtsichtbrille für den Schlepperfahrer ist dies auch bei Dunkelheit möglich. Die zur photobiologischen Unkrautbekämpfung im Herbst 1995 durchgeführten 7 Feldversuche ergaben im Mittel eine Wirksamkeit der Dunkelbearbeitung von 16 %. Damit erreicht das Verfahren nicht den gegenwärtigen Standard herkömmlicher Methoden der Unkrautbekämpfung und ist somit allein nicht konkurrenzfähig. Eine Nutzung ist gegenwärtig allenfalls als ergänzende Maßnahme denkbar. Nach wie vor ist ungeklärt, warum die höhere Wirksamkeit der photobiologischen Unkrautbekämpfung unter Klimakammerbedingungen nicht auch im praktischen Einsatz zu erzielen ist.

Stichwörter: Bodenbearbeitung, Gerätetechnik, Keimung, Licht, Unkraut

Abstract

The „Kverneland Packomat Seeder“ is a soil tillage system which consists of a reversible four share plough, a tine cultivator, a packer, and a 180 cm seed drill with a front seed container. It is suitable for seeding cereals and oil seed rape. This unit fulfils the technical requirements for photocontrol of annual weeds because it integrates the whole cultivation and drilling process in a single pass under day or night conditions. Night-vision goggles might be used to assist the tractor driver. We conducted seven field experiments in the fall of 1995 to measure the potential of photocontrol against annual weeds. We got 16 % reduction of weed abundance. This result implicates that photocontrol has to be supplemented by standard control techniques in order to get a required weed control. It is still unknown why a higher efficacy, which is gained under growth chamber conditions, cannot be reached under outdoor conditions.

Key words: Soil tillage, implements, germination, light, weed

Einleitung

Die Keimung dormanter Unkrautsamen im Boden kann u. a. durch einen Lichtreiz gefördert werden. Hierzu sind bereits extrem kurze Expositionszeiten, wie sie z. B. durch das vorübergehende Öffnen des Bodens während der Bearbeitung auftreten können, ausreichend.

Im Umkehrschluß bedeutet dies, daß durch das Verhindern eines Lichteinfalls in den Boden bei der Bearbeitung auch keine Keimstimulierung stattfindet. Durch Verlagern von Bearbeitungsgängen in die Nachtstunden konnte diese Vermutung bestätigt werden (HARTMANN und NEZADAL, 1990). Die von weiteren Autoren (u. a. ASCARD, 1994; ANDERSSON und MILBERG, 1996; NIEMANN, 1996; PALCYNski et al., 1996) erzielten Ergebnisse zu dieser Fragestellung waren allerdings sehr variabel, und sie bestätigten nicht immer die ersten überaus positiven Befunde. Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß die Ergebnisse unter kontrollierten Umweltbedingungen positiver als unter Freilandbedingungen ausfielen und auch reproduzierbar waren. Die Gründe für diese Diskrepanz sind sicher vielfältig, und sie sind im einzelnen noch zu klären. Daneben interessiert auch die Frage, wie die betriebstechnische Umsetzung der Forderung nach der Verlagerung aller Bodenbearbeitungsgänge vom Pflügen bis zur Saat in die Nachtstunden am kostengünstigsten realisiert werden kann. SCOPEL et al. (1994) haben festgestellt, daß durch das Pflügen – wegen der weitesten Öffnung des Bodens – der größte Effekt hinsichtlich einer Unkrautreduktion zu erwarten ist. Im Hinblick auf eine Wirkungsoptimierung sind zudem die dem Pflügen folgende Sekundärbearbeitung und die Saat unmittelbar in derselben Nacht durchgeführt worden (JENSEN, 1992). Arbeitsorganisatorische und wirtschaftliche Überlegungen sprechen dafür, diese Einzelmaßnahmen in einem Arbeitsgang zu vereinen. Hierfür bietet sich als eine Möglichkeit die Pflugsaat an. Ein entsprechendes Kompaktgerät ist am Markt z. B. in Form des „Kverneland Packomat Seeder“ verfügbar (KATH-PETERSEN, 1995). Ziel unserer Arbeiten war es, dieses Gerät hinsichtlich seiner Handhabbarkeit bei Dunkelheit zu prüfen und weitere Ergebnisse zur Unkrautwirkung einer Bodenbearbeitung bei Nacht zu gewinnen.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurde dieser „Kverneland Packomat Seeder“ eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein am Schlepper montiertes Kompaktgerät, bestehend aus einem 4-Schar-Volldreh-Pflug mit seitlich versetztem Zinkenstriegel, gefolgt von zwei Packerwalzenreihen und einer 180 cm breiten pneumatischen Sämaschine mit Fronttank (Abb. 1). Im Hinblick auf die eigentliche Versuchsfrage wurde kein Getreide gesät; die Säaggregate einschließlich Reihenzustreicher liefen lediglich mit. Nachdem die Geräteeinstellungen (z. B. Pflugtiefe 25 cm) bei Tageslicht optimiert und fixiert waren, wurden sie unverändert beim Nachteinsatz übernommen. Bei Dunkelbearbeitung waren sämtliche Lichtquellen am Schlepper ausgeschaltet. In Einzelfällen konnte nachts schwaches Umgebungslicht



Abb. 1. Gerätekombination „Kverneland Packomat Seeder“.

(Restlicht) allerdings nicht immer vermieden werden. Als Sehhilfe diente bei Dunkelheit ein Restlichtverstärker (Nachtsichtbrille BM 8028 der Deutschen System-Technik, Bremen).

Für die Versuche standen Flächen des Versuchsgutes der BBA und der Versuchsstation der FAL in der näheren Umgebung von Braun-

schweig zur Verfügung. Nach einer Stoppelbearbeitung bei Tageslicht unmittelbar nach der Ernte wiesen die Flächen zu Versuchsbeginn einen Bewuchs mit Ausfallgetreide und sommerannuellen Unkräutern auf. Bearbeitungstermine mit dem „Kverneland Packomat Seeder“ waren der 19./21. September und der 11./12. Oktober 1995, wobei dem Tageseinsatz an einem Ort unmittelbar der Nachteinsatz (mindestens 2 h nach Sonnenuntergang) folgte. Zu dieser Jahreszeit laufen nach einer Bodenbearbeitung im Regelfall winterannuelle Unkräuter auf. Es standen 4 Versuchsorte, deren Wahl sich nach der Homogenität des Bodens und der Unkrautflora gerichtet hatte, zur Verfügung. Über die Witterungsverhältnisse im Versuchszeitraum informieren die Abbildungen 2, 3 und 4. Bezüglich weiterer Standort- und Versuchsbedingungen wird auf die Tabelle 1 im Ergebnisteil verwiesen. Die Parzellengröße betrug je nach den örtlichen Gegebenheiten 500 bis 900 m², die Zahl der Wiederholungen pro Termin, Lichtvariante und Ort lag zwischen 2 und 4. Die Parzellen waren in Form einer randomisierten Blockanlage angelegt. Die Nettoversuchsfläche aller Orte betrug insgesamt ca. 2,7 ha.

3 bis 4 Wochen nach den Geräteeinsätzen wurde der Unkrautauflauf an 10 zufällig verteilten Unterparzellen von 0,1 m² je Parzelle ausgezählt. Die Daten wurden varianzanalytisch verrechnet und signifikante Unterschiede zwischen den Lichtvarianten mit einem * gekennzeichnet (F-Test, $p < 0,05$). Nachkontrollen fanden noch einmal sowohl vor als auch nach dem Winter 1995/96 statt. Zur Ermittlung der Auflauftiefe von Efeublättrigem Ehrenpreis (*Veronica hederifolia*) und Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) wurden je Lichtvariante 25 Keimpflanzen zufällig im Feld entnommen und deren Hypokotylllänge gemessen.

Ergebnisse

Die Arbeitsergebnisse der Gerätekombination unterschieden sich in keiner Weise zwischen Tag- und Nachteinsatz. Hierzu hat entscheidend das Tragen einer Nachtsichtbrille durch den Schlepperfahrer beigetragen. Wenngleich festzuhalten bleibt, daß der Tragekomfort der Brille (Gewicht, Sehfeld) noch verbesserungsbedürftig ist.

Die Bodenfeuchte sowohl während der Arbeiten als auch in den Wochen danach kann als geradezu ideal für die Fragestellung bezeichnet werden (Tab. 1). Die Unkrautflora in den Versuchen bestand erwartungsgemäß aus winterannualen Arten. Neben den

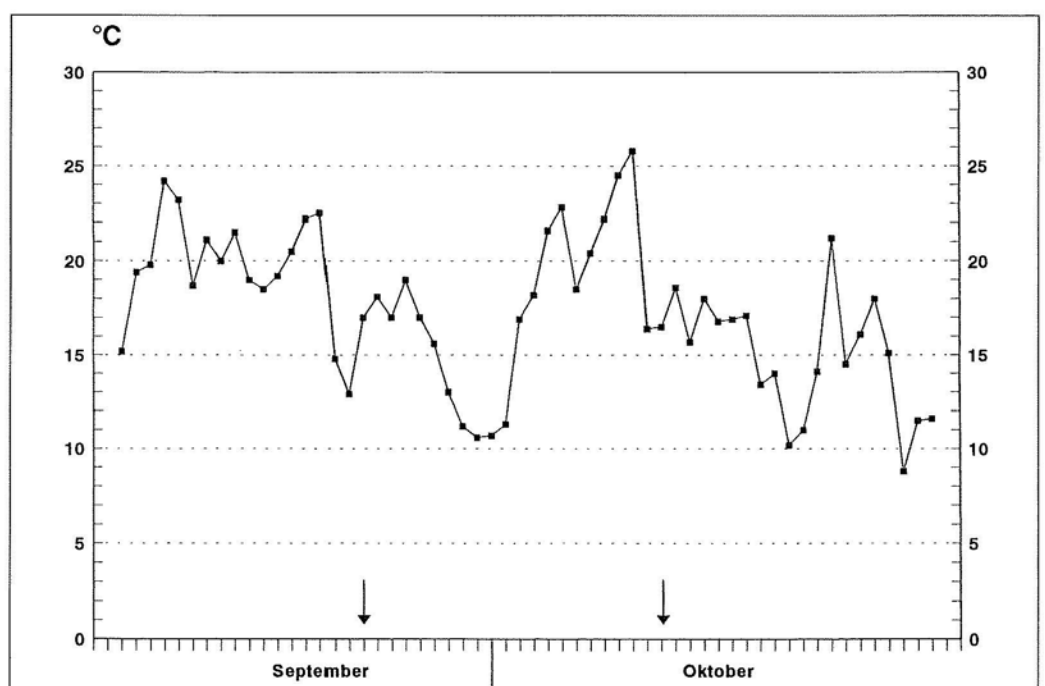


Abb. 2. Höchste tägliche Lufttemperatur im September und Oktober 1995 an der Meßstelle Völkensrode.

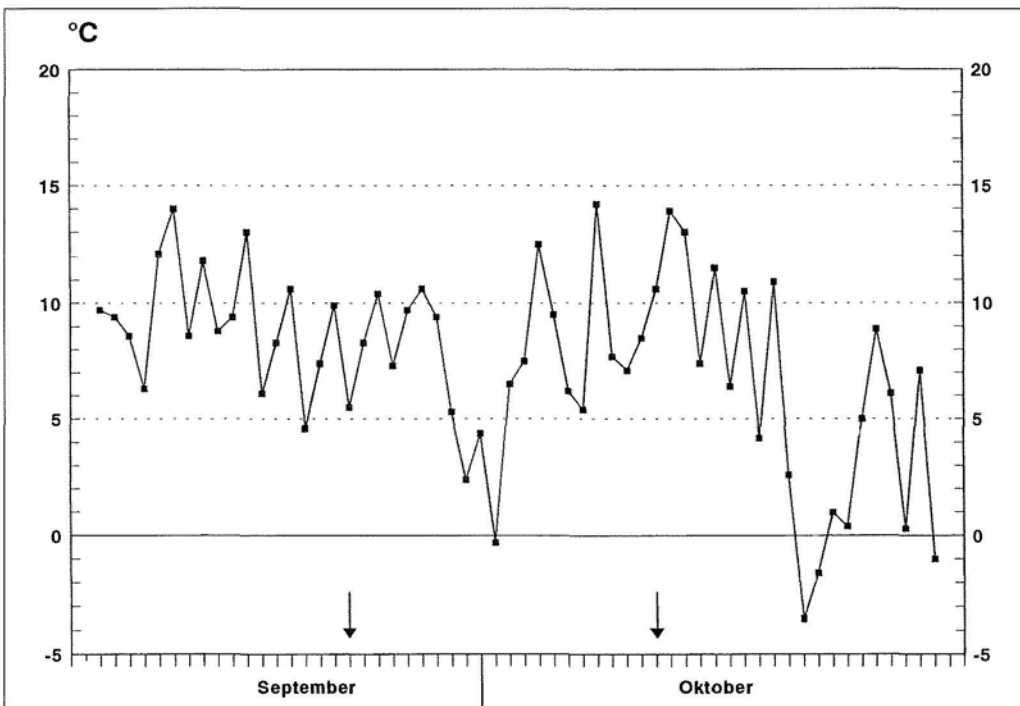


Abb. 3. Tiefste tägliche Lufttemperatur im September und Oktober 1995 an der Meßstelle Völkensrode.

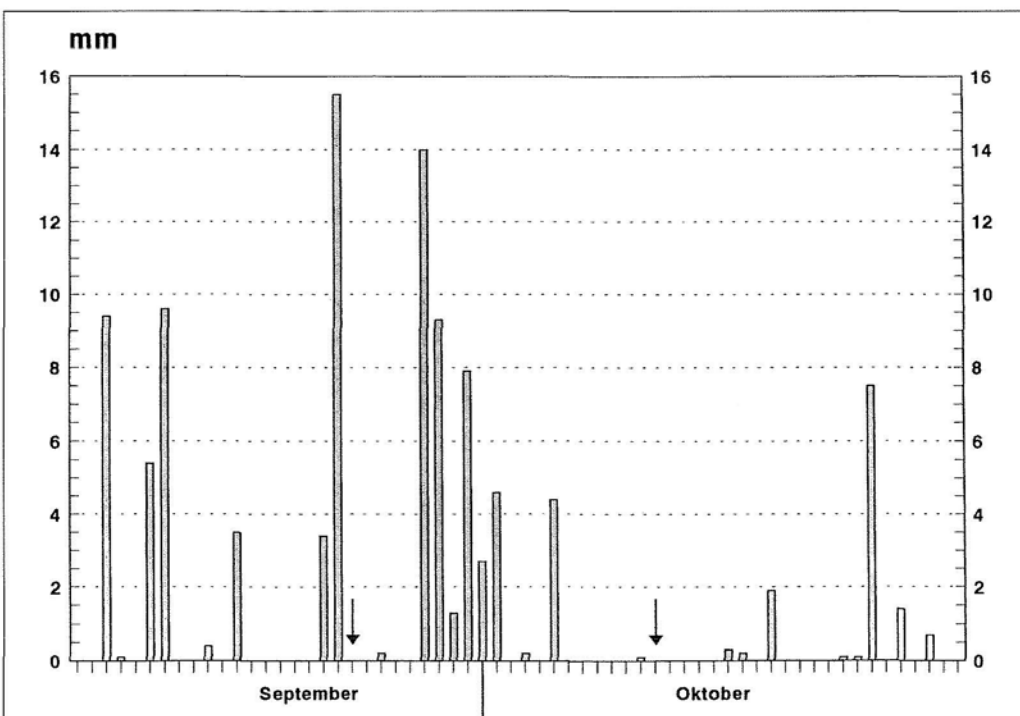


Abb. 4. Täglicher Niederschlag im September und Oktober 1995 an der Meßstelle Völkensrode.

Monokotylen *Alopecurus myosuroides*, *Apera spica-venti* und *Poa annua* traten als Dikotyle *Stellaria media*, *Veronica hederifolia*, *Viola arvensis*, *Matricaria chamomilla*, *Lamium* spp. und *Capsella bursa-pastoris* als dominante Arten auf (Tab. 1). Die Abundanzen waren für eine Auswertung ausreichend (Tab. 2).

Im Mittel der Versuche bewirkte die Dunkelbearbeitung einen Rückgang des Unkrautbesatzes um 16%. Im einzelnen reichten die Veränderungen von +12% bis -32%. Es handelt sich hierbei überwiegend um Tendenzen, die statistisch nur in einem Fall abzusichern waren (Tab. 1). Auf der Ebene der Unkrautarten zeigte sich, daß die meisten Arten in gleicher Weise mit einem Abundanzrückgang auf die Dunkelbearbeitung reagierten (Tab. 2). In zwei Fällen war der

Rückgang signifikant: *Veronica hederifolia* in Versuch Nr. 1 und *Apera spica-venti* in Versuch Nr. 4. Abweichend stellte sich in einzelnen Versuchen jedoch das Ergebnis für *Viola arvensis* und *Matricaria chamomilla* dar (Tab. 2b und d): Rechnerisch ergab sich hier in der Dunkelvariante eine Abundanzzunahme.

Die im Spätherbst 1995 und im zeitigen Frühjahr 1996 an allen Orten vorgenommenen Nachkontrollen ergaben keine zusätzlichen Informationen hinsichtlich der festgestellten Abundanzveränderungen zwischen den Bearbeitungsvarianten.

Veronica hederifolia und *Galium aparine* liefen in sämtlichen Versuchen bei Nachtbearbeitung des Bodens geringfügig tiefer auf als bei Tagbearbeitung (Tab. 3).

Tab. 1. Versuchsbedingungen und Gesamtwirkung

Nr.	Termin	Ort	Bodenart	dominante Arten ¹⁾	Lichtverhältnisse bei Nacht	Bodenfeuchte aktuell ²⁾	Niederschlag danach ³⁾	Wirkung ⁴⁾
01	19. 9. 95	Völkenrode	IS	POAAN STEME CAPBP LAMSS	Restlicht	feu 2	44 mm (feu 3)	-21 %
02	21. 9. 95	Gliesmarode	IS	APESV POAAN CAPBP STEME MATCH	Restlicht	feu 3	44 mm (feu 3)	+12 %
03	21. 9. 95	Sickte IX	sL	ALOMY APESV VERHE VIOAR LAMSS MATCH	dunkel	feu 3	44 mm (feu 3)	-3 %
04	21. 9. 95	Ahlum I	L	APESV VERHE LAMSS STEME MATCH	Restlicht	feu 3	44 mm (feu 3)	-29 %*
05	11. 10. 95	Völkenrode	IS	POAAN STEME CAPBP LAMSS	dunkel	feu 3	13 mm (feu 2)	-32 %
06	12. 10. 95	Sickte IX	sL	ALOMY APESV VERHE VIOAR LAMSS	Restlicht	feu 3	13 mm (feu 2)	-24 %
07	12. 10. 95	Ahlum I	L	VERHE LAMSS	Restlicht	feu 3	13 mm (feu 2)	-15 %

¹⁾ Code nach Bayer AG (1992)²⁾ Bewertung der Bodenfeuchte beim Geräteeinsatz nach FINNERN et al. (1994)³⁾ Niederschlag während 3 Wochen nach dem Geräteeinsatz an der Meßstelle Völkenrode (vergl. auch Abb. 4)⁴⁾ Abundanzveränderung durch die Dunkelbearbeitung**Tab. 2. Abundanz (Pflanzen/m²) von dominanten Unkrautarten nach Tag- bzw. Nachtbearbeitung an den Standorten Völkenrode (a), Sickte IX (b), Ahlum I (c) und Gliesmarode (d)**

a)				
Unkraut- art	(Nr. 01) Völkenrode am 19. 9. 95		(Nr. 05) Völkenrode am 11. 10. 95	
	Tag- bearbeitung	Nacht- bearbeitung	Tag- bearbeitung	Nacht- bearbeitung
POAAN	101	89	22	19
VERHE	8	3*	8	4
STEME	48	39	43	24
CAPBP	77	54	28	11
LAMSS	16	18	7	10

b)				
Unkraut- art	(Nr. 03) Sickte IX am 21. 9. 95		(Nr. 06) Sickte IX am 12. 10. 95	
	Tag- bearbeitung	Nacht- bearbeitung	Tag- bearbeitung	Nacht- bearbeitung
ALOMY	42	36	35	24
APESV	155	140	41	20
VERHE	116	111	92	75
VIOAR	147	162	5	36
LAMSS	39	17	28	14
MATCH	22	43	-	-

Tab. 2. Fortsetzung

c)				
Unkraut- art	(Nr. 04) Ahlum I am 21. 9. 95		(Nr. 07) Ahlum I am 12. 10. 95	
	Tag- bearbeitung	Nacht- bearbeitung	Tag- bearbeitung	Nacht- bearbeitung
APESV	29	20*	3	3
POAAN	10	4	1	1
VERHE	60	41	35	30
LAMSS	46	38	48	32
STEME	21	12	6	6
MATCH	22	14	-	-

d)			
Unkraut- art	(Nr. 02) Gliesmarode am 21. 9. 95		
	Tagbearbeitung	Nachtbearbeitung	
APESV	42	41	
POAAN	11	5	
GALAP	5	5	
CAPBP	22	9	
STEME	12	12	
MATCH	5	23	

Tab. 3. Auflauftiefe von *Veronica hederifolia* (VERHE) und *Galium aparine* (GALAP) bei Tag- oder Nachtbearbeitung

Versuch	Unkrautart	Auflauftiefe in cm Tagbearbeitung	Nachtbearbeitung
01	VERHE	1,88	1,36
02	GALAP	1,73	1,48
03	VERHE	1,92	1,90
04	VERHE	1,56	1,42
05	VERHE	1,89	1,54
06	VERHE	1,71	1,61
07	VERHE	1,78	1,21
Mittelwert		1,78	1,50

Diskussion

Der „Kverneland Packomat Seeder“ ermöglicht es, in einem Arbeitsgang den Boden zu pflügen, das Saatbett zu bereiten und zu säen. Dies ist ohne Einschränkungen auch bei Dunkelheit möglich. Es steht also eine praxisreife Technik zur Verfügung, die der Forderung nach Lichtausschluß bei sämtlichen Bearbeitungsgängen gerecht wird und die zudem arbeitsorganisatorisch wesentlich günstiger zu beurteilen ist als ein absätziges Verfahren. Als Seehilfe kann vom Schlepperfahrer eine Nachtsichtbrille getragen werden. Alternativ wäre zur Gerätesteuerung bei Nacht auch der Einsatz der Lasertechnik (ZUYDAM et al., 1995) denkbar, sofern dies kostengünstig zu vertreten ist. Nicht ausgeschlossen erscheint es zudem, nachts mit einer nach vorn gerichteten Minimalbeleuchtung am Schlepper arbeiten zu können, da sowohl in der vorliegenden Untersuchung (vergl. Tab. 1) als auch bei NIEMANN (1996) schwaches Umgebungslicht (Restlicht) keinen eindeutigen Effekt auf das Ergebnis erkennen ließ. Schließlich könnte auch eine lichtdichte Abdeckung des Gerätes bei Tag in Erwägung gezogen werden (ASCARD, 1994). Grundsätzlich ist somit festzustellen, daß eine betriebstechnische Umsetzung der photobiologischen Unkrautbekämpfung mit den am Markt verfügbaren Geräten möglich ist.

Aus pflanzenbaulicher und gerätetechnischer Sicht bieten sich für die Nutzung der photobiologischen Unkrautbekämpfung das Getreide und der Raps an, die mit ca. 7,5 Mio. ha (1995) Anbaufläche etwa zwei Drittel der Ackerfläche der Bundesrepublik Deutschland einnehmen. Obwohl dieses Verfahren gegenwärtig primär im Zusammenhang mit kleinflächigen Kulturen und dem ökologischen Landbau diskutiert wird, hätte es nach unserer Einschätzung – hinreichende Wirksamkeit vorausgesetzt – gerade auch im konventionellen Landbau ein Einsatzpotential und könnte dort zur Minimierung der Herbizidanwendung beitragen. Kombinationen mit weiteren in der Entwicklung befindlichen Ansätzen zur Begrenzung des Herbizideinsatzes auf das notwendige Maß, wie z. B. der punktuellen Applikation nach automatischer Unkrauterkenntnis (BILLER, 1994), bieten sich an.

Die bisher wiederholt festgestellte relativ geringe Wirksamkeit einer Unkrautbekämpfung auf photobiologischer Grundlage bestätigte sich auch in der vorliegenden Untersuchung. Dies ist um so bemerkenswerter, als die Randbedingungen bei den Versuchen hinsichtlich Jahreszeit und Bodenfeuchte optimal für die Keimung von Unkrautsamen waren. Es ist bisher nicht gelungen, hinreichende Erklärungen für die geringe Wirksamkeit der photobiologischen Unkrautbekämpfung unter Praxisbedingungen zu finden (u. a. KLÜMPER et al., 1996), während andererseits das Wirkprinzip in Modellversuchen vielfach bestätigt werden konnte (u. a. NIEMANN, 1996). Eine mögliche Erklärung sehen wir in der Penetration von Tageslicht in den Boden nach der Dunkelbearbeitung und in der Förderung allgemeiner Keimfaktoren wie optimierte Luft-, Wärme- und Nährstoffhaushalte durch jegliche Art der Bodenbearbeitung, die in ihrer Gesamtheit den keimhemmenden Effekt des Lichtausschlusses möglicherweise kompensieren können. Um über diese Hypothese

abschließend entscheiden zu können, bedarf es allerdings noch sehr umfangreicher grundlegender Untersuchungen zur Keimungsphysiologie annueller Unkräuter unter natürlichen Bedingungen im Boden (BALLARE et al., 1992). Klärungsbedürftig sind weiterhin auch einige Detailergebnisse, die sich sowohl in dieser als auch in der Untersuchung von NIEMANN (1996) gezeigt haben, die aber noch nicht genügend abgesichert sind: die abweichende Reaktion von *Viola arvensis* und *Matricaria*-Arten auf die Dunkelbearbeitung sowie die – theoretisch zu erwarten gewesene – tendenziell größere Auflauftiefe von *Veronica hederifolia* und *Galium aparine* nach Tagbearbeitung. Zu letzterem Aspekt liegt eine Bestätigung von JENSEN (1995) mit *Stellaria media* vor. In diesem Zusammenhang sei schließlich darauf hingewiesen, daß in den eigenen Untersuchungen (s. a. NIEMANN, 1996) signifikante Dichteunterschiede durch Dunkelbearbeitung – sofern sie überhaupt zu verzeichnen waren – nur bei *Veronica hederifolia* einmal bestätigt werden konnten.

Sollte sich die Penetration geringer Lichtmengen unter die Bodenoberfläche tatsächlich als eine bedeutende Ursache für die geringe Wirksamkeit erweisen, bliebe als Lösungsansatz nur die Abdeckung des Zwischenreihenbereichs mit einer lichtundurchlässigen Folie noch bei Dunkelheit unmittelbar nach der Bearbeitung. Dies würde dann aber den Einsatzbereich der photobiologischen Unkrautbekämpfung aus Kostengründen auf kleinflächige, hochwertige Kulturen mit weitem Reihenabstand beschränken.

Dank

Der „Kverneland Packomat Seeder“ wurde dankenswerterweise von der Firma Silo-Wolf, Lauenförde, zur Verfügung gestellt. Der Deutschen System-Technik, Bremen, sei für die Überlassung einer Nachtsichtbrille gedankt.

Literatur

- ANDERSON, L. und P. MILBERG, 1996: Induction of weed seed germination by short duration light exposure. Proc. 2nd Int. Weed Control Congr., Copenhagen, 1241–1246.
- ASCARD, J., 1994: Soil cultivation in darkness reduced weed emergence. Acta Horticulturae 237, 167–177.
- BALLARE, C. L., A. L. SCOPEL, R. A. SANCHEZ und S. R. RADOSEVICH, 1992: Photomorphogenic processes in the agricultural environment. Photochemistry and Photobiology 56, 777–788.
- BAYER AG (Hrsg.), 1992: Nutz- und Schadpflanzen mit weltweiter Bedeutung. 2. Auflage. Leverkusen.
- BILLER, R. H., 1994: Verfahren zur Reduzierung des Aufwandes an chemischen Pflanzenschutzmitteln in der Pflanzenproduktion – eine betriebstechnische Analyse. Landbauforschung Völknerode 44, 205–215.
- FINNERN, H., W. GROTTENTHALER, D. KÜHN, W. PÄLCHEN, W.-G. SCHRAPS und H. SPONAGEL, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. AG Boden, Hannover.
- HARTMANN, K. M. und W. NEZADAL, 1990: Photocontrol of weeds without herbicides. Naturwissenschaften 77, 158–163.
- JENSEN, P. K., 1992: First Danish experiences with photocontrol of weeds. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIII, 631–636.
- JENSEN, P. K., 1995: Effect of light environment during soil disturbance on germination and emergence pattern of weeds. Ann. Appl. Biol. 127, 561–571.
- KATH-PETERSEN, W., 1995: Der Kverneland Packomat Seeder – die schlagkräftige und kostengünstige Kombination von Pflugarbeit und Aussaat. VDI Berichte (1211), 93–96.
- KLÜMPER, H., R. GERHARDS und W. KÜHBAUCH, 1996: Einfluß des Lichtes auf die Keimung von Unkrautsamen. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XV, 71–76.
- NIEMANN, P., 1996: Unkrautbekämpfung durch Lichtausschluß während der Bodenbearbeitung. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XV, 315–324.
- PALCZYNSKI, J., A. DOBRZANSKI und Z. ANYSZKA, 1996: The influence of seed-bed preparation at night on weed infestation and herbicide efficacy in carrots. Proc. 2nd Int. Weed Control Congr., Copenhagen, 1264–1271.
- SCOPEL, A. L., C. L. BALLARE und S. R. RADOSEVICH, 1994: Photostimulation of seed germination during soil tillage. New Phytol. 126, 145–152.
- ZUYDAM, R. P. VAN, C. SONNEVELD und H. NABER, 1995: Weed control in sugar beet by precision guided implements. Crop Protect. 14, 335–340.

Kontaktanschrift: Dr. Peter Niemann, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11–12, D-38104 Braunschweig