

Rahmenbedingungen für eine ökonomisch sinnvolle teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung

THORE TOEWS, GIESSEN
DETLEV MÖLLER, GIESSEN

Abstract

Site-specific weed control tries to save herbicide costs and to reduce environmental impacts by omitting weed control in cereal crops when weed density does not exceed certain thresholds. In addition to yield effects in the current crop, decisions on weed control also have to consider future effects of weed infestation.

As reliable detectors of weeds in grain crops are not available it will be investigated under which circumstances it is economically viable to create weed maps by grid sampling and kriging interpolation for site specific weed control decisions.

1 Einleitung

Obwohl das Unkrautauftreten auf landwirtschaftlichen Flächen zeitlich und räumlich sehr heterogen ist, werden Herbizide in der landwirtschaftlichen Praxis meist jährlich und ganzflächig appliziert. Aus ökonomischen und ökologischen Gründen stellt sich die Frage, ob es möglich ist, durch eine an das örtliche Unkrautauftreten angepasste Teilflächenbehandlung einerseits Kosten einzusparen und andererseits Herbizideinträge in den Naturhaushalt zu reduzieren.

Das Ziel des Beitrages ist es, die Bestimmungsgründe für die Ökonomik der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung darzustellen, um beurteilen zu können, unter welchen Bedingungen teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung ökonomisch sinnvoll ist.

2 Entscheidungsalgorithmus: Schadschwellenprinzip

Precision Farming im Pflanzenschutz greift den Ansatz der schadschwellenorientierten Bekämpfung von Schaderregern auf. Dieser üblicherweise statische Ansatz erweist sich bei der Unkrautbekämpfung insofern als problematisch, als die Verunkrautung der Folgejahre in starkem Maße von der Samenproduktion der Unkräuter der Vorjahre abhängt. Deshalb muss ein langfristiges Unkrautmanagement neben den Ertragswirkungen der Unkräuter im Entscheidungsjahr auch die Wirkung der aktuellen Bekämpfungsentscheidungen auf die Verunkrautung der Folgejahre mitberücksichtigen. Diese Zusammenhänge müssen für einzelne Unkräuter bzw. Klassen von Unkräutern differenziert dargestellt werden. In diesem Beitrag wird von einem „Durchschnittsunkraut“ ausgegangen, wobei im weiteren Verlauf der Untersuchungen eine Differenzierung in Unkrautklassen erfolgen soll.

Geht man vereinfachend wie Wallinga davon aus, dass das Unkrautauftreten N_{t+1} sich proportional zur Vorjahresverunkrautung N_t verhält und sich die Unkräuter ohne Herbizidbehandlung um den Faktor $a > 1$ vermehren und durch eine Behandlung um den Faktor $b < 1$ abnehmen, so wird die Verunkrautung durch folgendes Modell beschrieben (WALLINGA, 1998, S. 61ff.):

$$N_{t+1} = \begin{cases} aN_t & \text{ohne Herbizidbehandlung} & N_t \leq K \\ bN_t & \text{mit Herbizidbehandlung} & N_t > K \end{cases}$$

K: gewählte Schadschwelle ($K > 0$)

In der Realität unterliegen die Faktoren a und b starken jährlichen Schwankungen. Um die Folgewirkung dennoch abschätzen zu können, wurden Versuchsdaten aus einem achtjährigen

Herbizidversuch des LBP Freising (Dr. Gehring) ausgewertet. Danach beträgt das geometrische Mittel von a: 1,21 ($a_{\min}=0,44$, $a_{\max}=5,5$) und von b: 0,88 ($b_{\min}=0,13$, $b_{\max}=11$).

In Tabelle 1 sind diese Zusammenhänge für einen Zeitraum von 10 Jahren und einer Schadschwelle von 30 Unkräutern/m² modellhaft dargestellt. Wird im Entscheidungsjahr eine Behandlung durchgeführt, so vermindert sich die Folgeverunkrautung im nächsten Frühjahr um den Faktor 0,8 (b). Verzichtet man auf die Behandlung, so steigt die Verunkrautung im nächsten Jahr um den Faktor 1,2 (a). Außerdem sind in der Tabelle im Falle einer Herbizidmaßnahme Behandlungskosten von 45 €/ha¹ angegeben. Die Kosten, die durch die Unkrautkonkurrenz verursacht werden, sind mit Hilfe der Konkurrenzindizes von Pallutt geschätzt. Danach verursacht eine Unkrautpflanze/m² einen Ertragsrückgang von ca. 6 kg/ha (vgl. PALLUTT, 2000, S. 265ff.) Bei einem Getreidepreis von 10 €/dt entspricht dies 0,6 €/je Unkrautpflanze/m². Die Wirksamkeit des Herbizides wurde mit 80% veranschlagt, so dass im Falle einer Behandlung 20% der Unkräuter aus der Frühjahrbonitur ertragswirksam sind. In dieser einfachen Modellrechnung sinkt die Behandlungshäufigkeit auf 50% und die durchschnittlichen jährlichen Kosten² betragen 33,49 €/ha.

Verglichen mit einer alljährlichen Standardbehandlung, die Kosten von ca. 45 €/ha verursacht, ist die Anwendung des Schadschwellenkonzeptes innerhalb dieser Modellbetrachtungen kostengünstiger, wenn auch die absolute Einsparung gering ist.

Tab. 1: Unkrautentwicklung bei Bekämpfung nach Schadschwellen

Jahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frühjahrsverunkrautung	30	24	29	35	28	33	27	32	25	31
Behandlungskosten €/ha	45	0	0	45	0	45	0	45	0	45
Schaden durch Unkräuter €/ha	4	14	17	4	17	4	16	4	15	4
Kosten gesamt €/ha	48,6	14,4	17,3	49,1	16,6	49,0	15,9	48,8	15,3	48,7

Quelle: eigene Berechnungen

Die Parameter a und b werden zukünftig aus empirischen Daten noch genauer geschätzt (vgl. GEHRING, 1999, NORDMEYER und ZUK, 2002). Außerdem müssen weitere Modellrechnungen mögliche Auswirkungen zufällig wechselnder Werte für die Vermehrungsraten der Unkräuter und die „Wirksamkeit“ der Herbizide aufzeigen.

3 Unkrautverteilung

Ob die Vorteile einer teilflächenspezifischen Herbizidapplikation genutzt werden können, hängt von der räumlichen Auflösung der Herbizidapplikation und damit von der tatsächlichen räumlichen Verteilung der Unkräuter ab (PAICE und DAY, 1997, REW et al. 1997). Wäre es beispielsweise möglich, jede Spritzdüse mittels Unkrautdetektoren zu steuern, so könnte, selbst bei kleinräumig variierender Verunkrautung, ein enormes Einsparungspotential genutzt werden. Da dies technisch noch nicht möglich ist, wird im Rahmen dieser Arbeit ein anderer Weg überprüft.

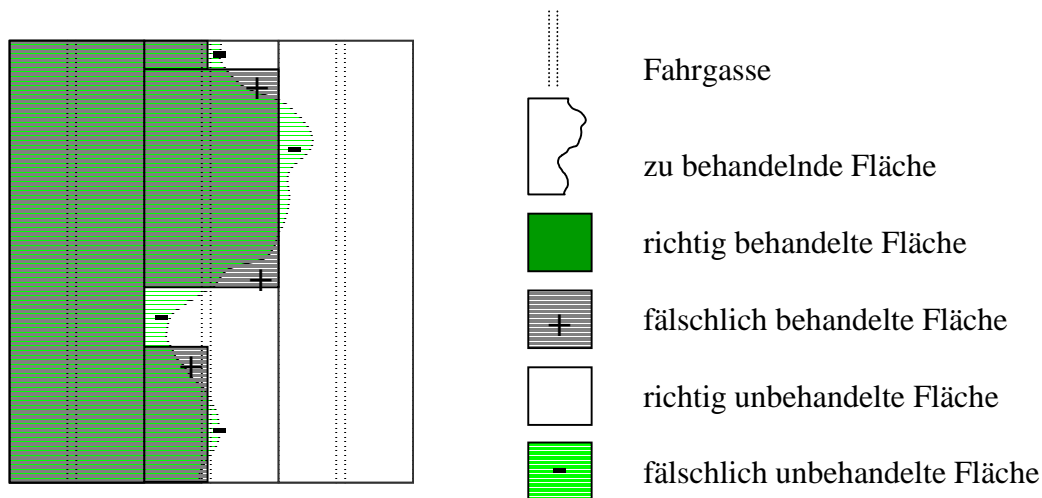
Anhand von Unkrautzählungen im Raster von 25 x 36 m² und anschließender Kriging-Interpolation wird eine Unkrautkarte erstellt, die die Entscheidungsgrundlage für die Herbizidapplikation darstellt. Entsprechend der Verunkrautung werden Teilbreiten der Spritze von 9 m zu- bzw. abgeschaltet. Um dieses Verfahren umfassend bewerten zu können, müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

¹ Ausschließlich Mittelkosten, unter der Annahme, dass eine Spritzung von Wachstumsreglern (+AHL) in jedem Fall durchgeführt wird.

² Annuität berechnet aus den jährlichen Gesamtkosten bei einem Zinssatz von 4%.

Im Gegensatz zur Ideallösung einer sehr feinen räumlichen Auflösung entstehen bei dieser Vorgehensweise dadurch Kosten, dass einerseits nicht behandlungswürdige Teilflächen behandelt werden und andererseits Teilflächen mit einer Verunkrautung oberhalb der Schadschwelle nicht behandelt werden. Diese Fehler resultieren einerseits aus der räumlichen Auflösung der Spritze und andererseits daraus, dass die Unkrautverteilung nicht kontinuierlich auf der gesamten Fläche ermittelt wird, sondern ausgehend von Punktzählungen an den Rasterpunkten die Verteilung der Unkräuter auf der Fläche statistisch geschätzt wird. Je aggregierter die Unkrautverteilung ist, desto geringer werden diese Fehler sein (vgl. CHANG et al., 1999, REW et al. 2001). Die schematische Darstellung in Abbildung 1 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Abbildung 1: Möglichkeiten und Grenzen einer zielgenauen Applikation



Unterstellt man eine Ackerfläche, die zu je 25% mit 10, 30, 50 und 100 Unkräutern/m² besiedelt ist, so kann man, ausgehend von dem einfachen Modell des Abschnittes 2 ($a=1,2$; $b=0,8$), die durchschnittlichen Behandlungskosten berechnen. Diese betragen für die einzelnen Teilflächen ca. 19, 33, 38 und 47 €/ha und für die Gesamtfläche ca. 34 €/ha, so dass die Teilflächenbehandlung ca. 11 €/ha günstiger ist als die alljährliche Standardbehandlung. Die Behandlungshäufigkeit³ sinkt auf ca. 53%. Diese Einsparungen können aber nur dann genutzt werden, wenn die Applikationsfehler, wie sie schematisch in Abbildung 1 dargestellt sind, nicht eintreten. Weitere Simulationsrechnungen sollen die Auswirkungen möglicher Applikationsfehler aufzeigen.

4 Ökonomische Bewertung

Die wesentlichen Bestimmungsgründe der Ökonomik der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung sind zum einen der Entscheidungsalgorithmus für die Unkrautbekämpfung, das Schadschwellenprinzip, und zum anderen die Aspekte, die sich unter der Überschrift Unkrautverteilung subsumieren lassen. Hierunter fallen eine kritische Beleuchtung der Möglichkeiten zur Erstellung von Unkrautkarten mittels Rasterzählungen und anschließender Kriging-Interpolation, die räumliche Auflösung der Behandlungs- bzw. Nicht-Behandlungsfläche und der Einfluss der tatsächlichen Unkrautverteilungen auf diese beiden Aspekte.

Welchen Einfluss die Populationsparameter a und b auf die durchschnittlichen Behandlungskosten haben, lässt sich in Tabelle 2 ablesen.

³ Wenn in jedem Jahr die gesamte Fläche behandelt wird, so beträgt die Behandlungshäufigkeit 100%.

Tabelle 2: Einfluss der Parameter a und b auf die Behandlungskosten in €/ha

	<i>a=1,25</i>	<i>a=1,5</i>	<i>a=2</i>	<i>a=2,5</i>
<i>b=0,5</i>	25	28	30	37
<i>b=0,7</i>	30	33	38	41
<i>b=0,8</i>	33	38	41	45
<i>b=0,9</i>	40	44	45	49

Quelle: eigene Berechnungen

Die beschriebenen Modellansätze führen - bezogen auf die hier diskutierten Einflussfaktoren - zu folgender Einschätzung der Sinnhaftigkeit eines teilflächenspezifischen Herbizideinsatzes:

- Je größer das Vermehrungspotential der Unkräuter ohne Unkrautkontrolle ist (a), desto günstiger werden prophylaktische ganzflächige Unkrautbekämpfungen.
- Je höher die Wirksamkeit der eingesetzten Herbizide ist (b), desto risikoärmer ist ein Verzicht auf Herbizidbehandlungen, da selbst bei hohem Vermehrungspotential der Unkräuter der Unkrautbesatz wieder wirksam reduziert werden kann.
- Je genauer und je kostengünstiger die Erfassung der Unkrautverteilung erfolgt, desto eher kann das Einsparungspotential einer teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung genutzt werden (vgl. Abschnitt 3).
- Und je ausgereifter die Applikationstechnik für eine räumliche differenzierte Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln ist, desto mehr kann der Herbizideinsatz an das örtliche Unkrautauftreten angepasst werden (vgl. Abb. 1).

Der hier vorgestellte Ansatz setzt schließlich Landwirte und Berater in die Lage, unter verschiedenen Rahmenbedingungen die Leistungen und Kosten des teilflächenspezifischen Herbizideinsatzes zu quantifizieren und somit eine aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvolle Entscheidung zu treffen. Die Kosteneinsparungspotentiale sind derzeit als gering einzuschätzen.

5 Literatur

- CHANG, J. et al. (1999): Precision Farming Protocols: Part 1. Grid Distance and Soil Nutrient Impact on the Reproducibility of Spatial Variability Measurement. In: Precision Agriculture, Volume 1, S. 277-289
- COUSENS, R. ; M. MORTIMER (1995): Dynamics of weed populations. Cambridge University Press
- GEHRING, K. (1999): Einfluss der Unkrautbekämpfungsintensität auf Unkrautflora und Unkrautsamenpotential. In: Zuckerrübe 48. Jg. (1) S. 34-39
- NORDMEYER, H.; ZUK, A. (2002): Teilflächenunkrautbekämpfung in Winterweizen. In: Z.Pfl.Krankh. Pfl.Schutz, Sonderh. XVIII, S. 459-466
- PAICE, M.E.R. ; DAY, W. (1997): Using computer simulation to compare patch spraying strategies. In: Precision Agriculture, Volume 1, S. 421-428
- PALLUTT, B. (2000): Einfluss der Konkurrenzkraft von Getreidebeständen auf das Unkrautwachstum und den Getreideertrag. In: Z.Pfl.Krankh. Pfl.Schutz, Sonderh. XVII, S. 265-274
- REW, L.J.; MILLER, P.C.H. und M.E.R. PAICE (1997): The importance of patch mapping resolution for sprayer control. In: Aspects of Applied Biology 48, S. 49-55
- REW, L.J., WHELAN, B. und A. B. MCBRATNEY (2001): Does kriging predict weed distributions accurately enough for site-specific weed control? In: Weed Research, Heft 41, S. 245-263
- WALLINGA, J. (1998): Dynamics of weed populations - Spatial pattern formation and implications for control. Diss. Wageningen Agricultural