

26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.-13. März 2014 in Braunschweig

Teilflächenspezifisches Herbizidsplitting in Feldmöhren entsprechend sensorbasierter Erfassung der Verunkrautung

Site-specific herbicide splitting in field carrots based on camera detected weed infestation

Karl-Heinz Dammer^{1*}, Gerhard Wartenberg¹ und Frank Weinhold²

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Deutschland

² Klossaer Strasse 24, 06917 Jessen

*Korrespondierender Autor, kdammer@atb-potsdam.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.051

Zusammenfassung

Die Bereitstellung von Speisemöhren für den deutschen Markt erfolgt zu einem nicht unerheblichen Anteil aus der Inlandsproduktion im Freiland. Um eine optimale Herbizidwirkung bei minimaler Schädigung der Möhrenpflanze zu erzielen, hat sich ein bis zu dreimaliges Splitting der empfohlenen Höchstmenge bewährt. Da in den spezialisierten Betrieben teilweise hohe Flächenkonzentrationen erreicht werden, besteht bei einer der Unkrautdichte angepassten Herbizidapplikation ein hohes Potenzial zur Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln.

In Streifenversuchen sollte die Wirkung eines teilflächenspezifischen Herbizidsplittings auf die Spätverunkrautung sowie auf verschiedene Ertragsparameter getestet werden. Art und Anzahl der Unkräuter wurden im Frühjahr mittels manueller Bonituren entlang eines Stichprobengitters erfasst. Danach erfolgte im 3-Blattstadium der Möhren mit einem am Leibniz-Institut für Agrartechnik (ATB) entwickelten Kamerasensor die kleinräumige Detektion der auf dem Feld vorhandenen Verunkrautung. Die Sensorwerte waren die Grundlage für das Erstellen von Unkrautverteilungskarten. Anhand dieser Verteilungskarten wurden in dem der Unkrautverteilung angepassten Applikationsstreifen drei Zonen mit Aufwandmengen von 200 L ha⁻¹, 300 L ha⁻¹, und 400 L ha⁻¹ gebildet. In den beidseitig benachbarten Streifen erfolgte ein flächeneinheitliches Splitting mit der betriebsüblichen Menge von 400 L ha⁻¹. Die drei Applikationszonen wurden während des Splittings bei der zweiten bzw. dritten Herbizidanwendung beibehalten. An jedem der zwei bzw. drei Spritzzeitpunkte konnten durch das teilflächenspezifische Splitting 16 % (2005) und 20 % (2006) des Pflanzenschutzmittels gegenüber einem flächeneinheitlichen Splitting eingespart werden.

Zur Beurteilung der Ertragswirksamkeit wurden in den 2 Applikationsvarianten an jeweils gegenüberliegenden Stichprobenpunkten die Möhren von Hand geerntet und die Ertragsparameter Gewicht sowie Anzahl „gesamt“ bzw. „vermarktungsfähig“ bestimmt. Mit Hilfe der Differenzenmethode (lokale Ertragsparameterwerte teilflächenspezifisch minus einheitlich) erfolgte der statistische Vergleich abhängiger Stichproben mit dem t-Test. Unterstellt man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ wurden in 19 der insgesamt 24 Tests keine statistisch gesicherten Unterschiede der Ertragsparameter zwischen den zwei Behandlungsvarianten in den jeweiligen Applikationszonen gefunden. Die Nachverunkrautung war in beiden Varianten sehr gering und damit vernachlässigbar.

Stichwörter: Applikationskarte, Kamera, Möhren, Präzise Unkrautkontrolle, Sensor

Abstract

The production of carrots for the German market comes mainly from domestic production. To ensure the efficiency of chemical weed control and to minimize the damage of the crop a splitting of the recommended dosage up to three times is often practiced. Because of large field areas of the carrot cropping and processing enterprises, the potential to save herbicides by practicing an herbicide application adapted to the weed occurrence is high.

The efficiency of a site-specific herbicide splitting on the late weed occurrence as well as on yield parameters was tested in field strip trials. Weed species and abundance were determined manually by raster sampling using a counting frame in spring before spraying. Afterwards in the three leaf growth stages of the carrots the weed coverage level was detected online using a camera sensor developed by the Leibniz Institute for Agricultural Engineering (ATB). Based on weed coverage level maps three application zones (200 L ha⁻¹, 300 L ha⁻¹, 400 L ha⁻¹) were defined. On both sides of the site specific splitting strip a uniform splitting strip (400 L ha⁻¹) was applied. The position of the application zones were the same during site-specific splitting at the second and third herbicide spraying respectively. Compared to a conventional uniform splitting herbicide savings were 16% (2005) und 20% (2006) at each spraying time.

To evaluate the efficacy of the site-specific splitting on the yield manually harvesting were performed at opposite points in both treatments. The yield parameters fresh weight and numbers of carrots "total" and "marketable" were determined. Assuming a significance level of $\alpha = 5\%$ the difference method for controlled treatment comparison in large scale field trials (t-test) resulted in 19 of the 24 tests in total no differences between the treatments. The late weed occurrence in both treatments was low.

Keywords: Application map, camera, carrots, precise weed control, sensor

Einleitung

Feldmöhren haben eine langsame Jugendentwicklung. Von der Aussaat über das Auflaufen bis hin zum für eine Herbizidanwendung wichtigen 3-Blattstadium kann je nach der Witterung im Frühjahr ein Zeitraum von 4 bis 6 Wochen vergehen. Die Unkräuter laufen in diesem Zeitraum in verschiedenen Wellen auf. Das Wachstum der Unkräuter im Frühjahr ist im Vergleich zu den Möhren schneller. Die Folge ist, dass die Altersstruktur des Unkrautes im Möhrenfeld heterogen ist (DAMMER *et al.*, 2008) und dadurch ein hohes Konkurrenzpotenzial um Wasser und Nährstoffe gegenüber der Kulturpflanze besteht. Eine Unkrautkontrolle ist daher unablässig. In der Regel werden Nachauflaufferbizide erst ab dem 3-Blattstadium der Möhrenpflanzen eingesetzt. Die jungen Möhrenpflanzen sind bis zum Reihenschluss sehr empfindlich gegenüber Herbiziden. Daher wird in der Praxis ein Splitting der empfohlenen Höchstmenge in 2 bis 3 Spritzungen durchgeführt. Darüber hinaus müssen auch aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen weitere verfahrenstechnische Entwicklungen zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes betrieben werden, um dem Pflanzenschutzmittel-Reduktionsprogramm zu entsprechen (ZWERGER *et al.*, 2004; NORDMEYER, 2006).

Durch den Sonderkulturstatus und die Lückenindikation bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln sind im Möhrenanbau nur wenige Herbizide zugelassen. Beispielsweise musste in Deutschland in den letzten Jahren für das den Wirkstoff Linuron enthaltende Herbizid Afalon 450 SC jährlich eine Sondergenehmigung durch die zuständige Zulassungsbehörde erteilt werden. Durch ein der Verunkrautung angepasstes teilflächenspezifisches Herbizidsplitting könnte die Situation dahingehend entspannt werden, dass sich durch eine Mitteleinsparung die nachteilige Umweltwirkung reduzieren lässt. Ein weiterer Effekt ist der ökonomische Vorteil für den Betrieb, indem Betriebskosten eingespart werden können

Die vorgestellten Feldversuche haben das Ziel zu untersuchen, ob sich die zugelassene Herbizidaufwandmenge durch ein teilflächenspezifisches Splitting, verglichen zu einem betriebsüblichen einheitlichen Splitting, ohne Ertrags- und Wirkungsverluste reduzieren lässt. Darüber hinaus war zu klären, inwieweit im absätzigen (offline) Verfahren erstellte Unkrautverteilungskarten für alle Herbizidanwendungen während des Splittingzeitraumes nutzbar sind. Untersuchungen verschiedener Autoren (z. B. DICKE *et al.*, 2004; OEBEL und GERHARDS, 2006) ergaben, dass Unkrautverteilungskarten basierend auf Sensordaten hinreichend genaue Aussagen für teilflächenspezifische Spritzentscheidungen im selben Jahr zulassen. Die Verwendung historischer Unkrautkarten für eine teilflächenspezifische Herbizidapplikation über mehrere Jahre wird jedoch als problematisch angesehen. Die sensorgestützte Erfassung der Verunkrautung sowie manuelle Bonituren ergaben, dass die Artenzusammensetzung sowie die Abundanz und die Dispersion auf ein und demselben Feld bei gleicher Kultur unterschiedlich sein kann (WARTENBERG, 1996; DAMMER *et al.*, 2006). Als Ursache kommen unterschiedliche Wetterbedingungen (Temperatur, Niederschlag) vor allem in der Keimphase der Unkräuter (LAUER, 1953) in Frage.

Material und Methoden

Großflächige Streifenversuche wurden in Möhrenfeldern der Jessener Frischgemüse Verarbeitungs GmbH am ehemaligen Standort Holzdorf durchgeführt. Die Flächen sind im Nordosten von Deutschland etwa 100 km südlich von Berlin gelegen. Die geografischen Koordinaten im WGS 84-Format der 2 Felder sind wie folgt:

- 2005: 51.79 Lat, 13.15 Long,
- 2006: 51.79 Lat, 13.09 Long.

Der Standort ist ein grundwasserbeeinflusster humoser Sand mit einer jährlichen durchschnittlichen Niederschlagsmenge von etwa 400 bis 600 mm. Bei längerer Trockenheit werden in dieser Anbauregion daher Feldmöhren mit Hilfe von Kreisberegnungsanlagen bewässert.

Die Aussaat der Möhren erfolgte im Frühjahr in 2 m breiten Beeten mit 4 Reihen pro Beet. Für die Versuche wurden im jeweiligen Feld durch Begehung die Bereiche mit einem heterogenen Unkrautauftreten festgelegt. Entlang eines Stichprobengitters erfolgte die Bonitur nach Unkrautart und Anzahl mit Hilfe eines quadratischen Zählrahmens (0,25 m²) in der Mitte des Möhrenbeetes. Die kleinräumige Unkrautverteilung wurde mit einem Kamerasensor zum 3-Blattstadium der Möhren 5 Tage (2005) und 3 Tage (2006) vor der Herbizidapplikation erfasst. Die Detektionsspur des Sensors lag zwischen den Aussaatreihen in der Mitte jedes Möhrenbeetes der Versuchsfläche.

Der Kamerasensor wurde neben der sensorgesteuerten Herbizidapplikation (DAMMER *et al.*, 2012) unter anderem auch zur Detektion von *Fusarium* ssp. in Winterweizen (DAMMER *et al.*, 2011) eingesetzt. Sein Aufbau und die Wirkungsweise kann wie folgt zusammengefasst werden und ist im Detail bei WARTENBERG *et al.* (2005) und DAMMER *et al.* (2011) beschrieben:

- Drei-Chip-CCD Kamera MS 2100 (DunCanTech, San Diego),
- Bildverarbeitungssoftware zur Unkrautdetektion (Symacon GmbH, Barleben): Berechnung $NDVI = (R_{800\text{ nm}} - R_{670\text{ nm}}) / (R_{800\text{ nm}} + R_{670\text{ nm}})$, Binarisierung in Boden und Pflanze durch vorher in einem Kalibrierungsschritt ermittelten Schwellenwert, Ausgabe des Unkrautdeckungsgrades in % (Mittelwert aus 25 Bildern je 5 m gefahrene Strecke, entspricht einer Detektionsfläche von 0,75 m²),
- Betrieb des Sensors in einer Höhe von 40 cm am Traktor-Frontdreipunkt,
- Aufzeichnung des Deckungsgrades und GPS-Signals (AgGPS, System EGNOS).

Die aufgezeichneten Daten wurden zur Visualisierung in ArcView (ESRI, Redlands) übernommen und anhand der erstellten Karten des Unkrautdeckungsgrades wurden 3 Applikationszonen mit 50 %, 75 % und 100 % der praxisüblichen Applikationsmenge festgelegt. Die Herbizidapplikation erfolgte durch die betriebseigene Feldspritze (Dual-Air-System, Fassungsvermögen: 4000 l, Gestängebreite: 24 m, Dammann, Buxtehude, Germany) der Jessener Frischgemüse Verarbeitungs GmbH. Das Versuchsdesign der Streifenversuche war so aufgebaut, dass sich an beiden Seiten eines teilflächenspezifisch gespritzten Streifens jeweils ein betriebsüblich einheitlich gespritzter Streifen befand. Eine Behandlungsvariante umfasste insgesamt 12 Möhrenbeete (12 x 2 m = 24 m).

Vor der Möhrenernte erfolgte eine manuelle Erfassung der Nachverunkrautung an den Orten der vorhandenen Stichprobenpunkte. Für den Ertragsvergleich einheitlicher gegenüber teilflächenspezifischer Applikation wurden jeweils gegenüberliegende Stichprobenpunkte in beiden Behandlungsvarianten unter Ausschluss des jeweiligen Randbeetes (Minimierung von Randeffekten) festgelegt. Mit einem Spaten wurden die Möhren einer der mittleren Beetreihen auf einer Länge von 1 m von Hand geerntet. Danach wurden die Möhren entkrautet, von anhaftenden Erdresten befreit, gewogen und gezählt. Die vermarktungsfähigen Möhren in der Gewichtsklasse 50 g-150 g wurden anschließend selektiert. Der statistische Vergleich zwischen den zwei Behandlungsvarianten erfolgte anhand der Ertragsparameter: Gesamtgewicht, Gewicht der Marktware, Gesamtanzahl und Anzahl Marktware. Im Jahr 2005 wurde an insgesamt 96 Stichprobenpunkten und 2006 an insgesamt 130 Stichprobenpunkten geerntet. Die Lage der Erntepunkte ist in Abbildung 1 im Ergebnisteil dargestellt. In Tabelle 1 sind die Angaben zu der kamerabasierten Unkrautdetektion, der manuellen Bonitur, der Herbizidapplikation und der Ernte in den Streifenversuchen zusammengefasst.

Tab. 1 Termine der kamerabasierten Unkrautdetektion, manuelle Bonitur, Herbizidapplikation und Ernte in den Streifenversuchen.

Tab. 1 Dates of camera detection, manual weed estimation, herbicide application and harvesting in field strip experiments.

Jahr	Termin Kame-raeinsatz	Termin Herbi-zidapplikation	Manuelle Spritzung/vor Ernte	Unkrautbonitur vor Ernte		Ernte Möhren		
				Raster-größe [m]	Stichproben-anzahl	Termin	Stichpro-benanzahl	Termin
2005	25.05.	30.05. ¹	25 x 18	90	24.05./	96	11./12.08.	
		08.06. ²						01.08.
		22.06. ³						
2006	23.06.	26.06. ⁴	45 x 5	122	19.06./	130	11./12.09.	
		19.07. ⁵						25.08.

¹ 0,3 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (Linuron); ² 0,8 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (Linuron); ³ 0,9 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (Linuron); ⁴ 0,5 L Afalon 450 SC (Linuron); ⁵ 1,0 L Afalon 450 SC (Linuron) + 100 g Sencor (Metribuzin), Wasseraufwandmenge bei allen 5 Spritzungen: 400 L ha⁻¹

Als statistischer Test (t-Test) auf die Unterschiede zwischen den 2 Behandlungsvarianten hinsichtlich der 4 Ertragsparameter wurde die Differenzenmethode für den Vergleich abhängiger Stichproben in Großversuchen (ANONYM, 1972) angewendet. Zunächst erfolgte eine Differenzbildung räumlich gegenüberliegender Werte (teilflächenspezifisch – einheitlich) mit dem Mittelwert und der Standardabweichung. Die mittleren Differenzen wurden gegen Null mit dem t-Test statistisch verglichen (SAS Analyst Application Version 9, two sample paired dependent t-test). Falls der t-Test zur Annahme der H₀ führte (mittlere Differenz = 0), hatte die teilflächenspezifische Herbizidapplikation keinen Einfluss auf die 4 Ertragsparameter.

Ergebnisse und Diskussion

Unkrautflora und kameradetektierter Deckungsgrad

In allen 2 Jahren erreichten an den Stichprobenpunkten nur einige Leitunkräuter höhere Abundanzen. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der manuellen Bonitur zusammengefasst. Es sind nur die Arten aufgeführt, welche Abundanzen > 10 % an der Gesamtanzahl erreichten.

Die Darstellung der Sensorwerte (Unkrautdeckungsgrad) in Box Whisker Plots (ohne Abbildung) ergab eine linksschiefe Verteilung, d.h. an nur wenigen Stichprobenpunkten erreichte der Unkrautdeckungsgrad höhere Werte. Im Jahr 2005 war im Mittel das Niveau der Verunkrautung höher als 2006:

- 2005: 25 %-Quartil: 7 %, 75 %-Quartil: 32 %;
- 2006: 25 %-Quartil: 1 %, 75 %-Quartil: 10 %.

In Abbildung 1 sind die Verteilung des kameraerfassten Deckungsgrades in den Spritzvarianten sowie die Position der Erntepunkte dargestellt. Basierend auf der langjährigen Erfahrung des Betriebes in der Unkrautbekämpfung auf den jeweiligen Feldern wurde der teilflächenspezifisch zu behandelnde Versuchsstreifen in 3 Applikationszonen (200 L ha⁻¹, 300 L ha⁻¹ und 400 L ha⁻¹) eingeteilt. Entlang der etwa 600 m langen Versuchsanlage wurde 2005 in der teilflächenspezifischen Variante insgesamt 6-mal die Aufwandmenge gewechselt. Im Jahr 2006 erfolgte entsprechend der Unkrautverteilung auf dem Möhrenfeld die Anlage des Versuches auf der Nord- und Südseite des Feldes mit einem 8 maligem Wechsel. Verglichen mit der Südseite war der Unkrautdeckungsgrad der Nordseite höher.

Tab. 2 Relative Häufigkeiten und mittlere Individuendichte der vorkommenden Unkrautarten (> 10 % an der Gesamtanzahl) vor der Herbizidspritzung.

Tab. 2 *Relative frequency and mean density by species (main weed species > 10 % relative frequency) before spraying.*

Jahr	Art	relative [%]	Häufigkeit	Mittlere Abundanz [m ⁻²]
2005	Weißer Gänsefuß <i>Chenopodium album</i> L.	38,0		178,1
	Acker-Stiefmütterchen <i>Viola arvensis</i> Murr.	36,1		169,3
2006	Acker-Stiefmütterchen <i>Viola arvensis</i> Murr.	42,9		30,4
	Gemeine Hühnerhirse <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Pal. Beauv.	16,9		12,0
	Weißer Gänsefuß <i>Chenopodium album</i> L.	11,5		8,1
	Gemeines Hirtentäschel <i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	9,7		6,9

Herbizideinsparungen und Ertragsvergleich

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Längen der Applikationszonen an der Gesamtlänge der Versuchsanlage (2005: 600 m; 2006: 1390 m) ergab sich als Einsparung der Spritzbrühe je Applikation ein gewogenes arithmetisches Mittel von 16 % (2005) und 20 % (2006) verglichen mit einer konventionellen flächeneinheitlichen Spritzung der empfohlenen Höchstmenge von 2,0 L ha⁻¹ Afalon 450 SC (2005) bzw. an die Verunkrautung angepasste Menge von 1,5 L ha⁻¹ Afalon 450 SC + 100 g Sencor (2006) in jeweils 400 L ha⁻¹ Wasser.

Bei den insgesamt 24 Tests auf signifikante Unterschiede der lokalen Ertragsparameterdifferenzen gegenüber Null führten nur 5 Tests zur Ablehnung der H₀ (Unterschiede in den Ertragsparametern), wenn man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ annimmt (Tab. 3). Keine der beiden Varianten war hinsichtlich dieser 5 Testergebnisse dabei im Vorteil. Die Parameter der teilflächenspezifischen Variante wies 3-mal höhere und 2-mal niedrigere Werte auf.

Die Bonitur der Nachverunkrautung in der Mitte der Möhrenbeete ergab nur an wenigen Stichprobenpunkten 1 bis 2 Individuen. Spät aufgelaufenes Unkraut befand sich hauptsächlich zwischen den Möhrenbeeten in den Fahrgassen. In allen 2 Versuchsjahren waren keine Unterschiede hinsichtlich der Nachverunkrautung zwischen den Behandlungsvarianten zu beobachten.

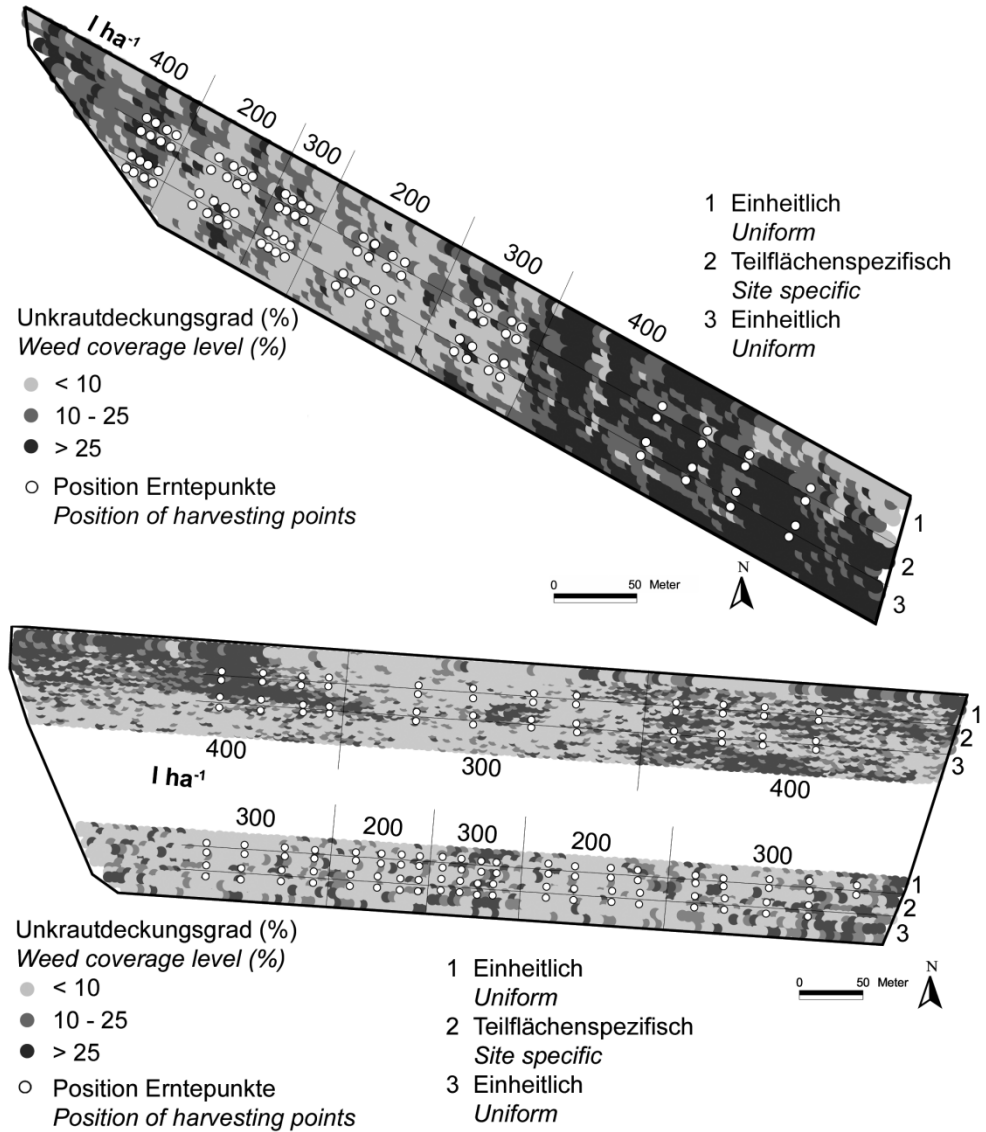


Abb. 1 Verteilung des kamerabasierten Deckungsgrades (oben) am 25.05.2005 und (unten) 23.06.2006 sowie die Position der Erntepunkte in den Streifenversuchen auf dem jeweiligen Möhrenfeld.

Fig. 1 Camera detected weed coverage level on (top) 25.05.2005 and (bottom) 23.06.2006, application zones and position of the harvesting points of the field strip trials.

Tab. 3 Mittelwert, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert für die Annahme der H_0 -Hypothese der lokalen Differenzen der Ertragsparameter (teilflächenspezifisch – einheitlich) in den Streifenversuchen 2005 und 2006.

Tab. 3 Mean, standard deviation, t-value, and p-value of the acceptance of H_0 -hypothesis of the local yield differences (site specific – uniform) in the strip trials 2005 and 2006.

Jahr/Ertragsparameter	Applikationsmenge [l ha ⁻¹]	Mittlere lokale Differenz	Standardabweichung	t-Wert	p-Wert H_0
2005/ Gesamtgewicht	200	0,08	0,57	0,54	0,60
	300	-0,07	0,46	-0,61	0,55
	400	-0,02	0,65	-0,12	0,91
2005/ Gesamtanzahl	200	-2,63	1,28	-0,93	0,37
	300	-2,06	7,78	-1,06	0,31
	400	-5,63	13,71	-1,64	0,12
2005/ Gewicht Marktware	200	0,26	0,43	2,44	0,03
	300	0,10	0,78	0,50	0,63
	400	0,05	0,88	0,22	0,83
2005/ Anzahl Marktware	200	1,75	5,34	1,31	0,21
	300	3,00	9,05	1,33	0,20
	400	-0,13	11,79	-0,04	0,97
2006/ Gesamtgewicht	200	-0,35	0,56	-2,45	0,03
	300	0,16	0,67	1,36	0,18
	400	-0,16	0,56	-1,16	0,26
2006/ Gesamtanzahl	200	4,75	15,91	1,195	0,25
	300	10,03	14,57	3,96	0,00
	400	1,94	10,83	0,72	0,49
2006/ Gewicht Marktware	200	-0,44	0,58	-2,99	0,01
	300	0,01	0,73	0,11	0,91
	400	-0,32	0,74	-1,70	0,11
2006/ Anzahl Marktware	200	-0,50	7,81	-0,26	0,80
	300	4,91	11,82	2,39	0,02
	400	-2,25	8,68	-1,04	0,32

Danksagung

Die Autoren danken den Mitarbeitern der Jessener Frischgemüse Verarbeitungs GmbH und der Abteilung Technik im Pflanzenbau des ATB für die Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Feldversuche.

Literatur

- ANONYM, 1972. Biometrische Versuchsplanung, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 352 S.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG und A. GIEBEL, 2006: Abundanz- und Dispersionsdynamik von Unkräutern bei sensorgestützter Herbizidapplikation am Beispiel eines Sommergerstenschlages. J. Plant Dis. Prot. Special Issue **XX**, 197-204.
- DAMMER, K.-H., G. WARTENBERG und F. WEINHOLD, 2008: Aufwandmengendifferenzierung bei sensorgestützter Herbizidapplikation in Unkrautpopulationen mit heterogener Altersstruktur. J. Plant Dis. Prot. Special Issue **XXI**, 161-166.
- DAMMER, K.-H., B. MÖLLER, B. RODEMANN und D. HEPPNER, 2011: Detection of head blight (*Fusarium* spp.) in winter wheat by color and multispectral image analyses. Crop Prot. **30** (4), 420-428.

- DAMMER, K.-H., H. BÖTTGER, G. WARTENBERG und ROSENAU, 2012: Echtzeitregelung der Applikationsmenge bei der Herbizidanwendung mit Hilfe eines Kamerasensors. *Julius-Kühn-Archiv* **434** (1), 191-198.
- DICKE, D., A. FRIES und R. GERHARDS, 2004: Ermittlung von Schadschwellen für die teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung im Braugerstenbau. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XIX**, 413-421.
- LAUER, E., 1953: Über die Keimtemperatur von Ackerunkräutern und deren Einfluss auf die Zusammensetzung von Unkrautgesellschaften. *Flora oder allgemeine Botanische Zeitung* **140**, 551-595.
- NORDMEYER, H., 2006: Teilflächenunkrautbekämpfung um Rahmen des Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XX**, 165-172.
- OEBEL, H. und R. GERHARDS, 2006: Kameragesteuerte Unkrautbekämpfung – eine Verfahrenstechnik für die Praxis. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XX**, 181-187.
- WARTENBERG, G., 1996: Teilflächenspezifischer Herbizideinsatz. *Landtechnik* **4**, 196-197.
- WARTENBERG, G., H.-R. LANGNER, H. BÖTTGER und H. SCHMIDT, 2005: Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens. *Bornimer Agrartechnische Berichte* **44**, 158 S.
- ZWERGER, P., H.-P. MALKOMES, H. NORDMEYER, H.-P. SÖCHTING und A. VERSCHWELE, 2004: Unkrautbekämpfung. Gegenwart und Zukunft – aus deutscher Sicht. *J. Plant Dis. Prot. Special Issue* **XIX**, 27-38.