

DSSHerbicide: Feldversuche zur Unkrautbekämpfung im Winterweizen – Wege zur Entscheidung

DSSHerbicide: Herbicide field trials in winter wheat. How to come to a decision

David Sefzat*, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Abteilung Phytomedizin,
Satower Straße 48, 18059 Rostock, Deutschland

*Korrespondierender Autor, david.sefzat@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.052

Zusammenfassung

Entscheidungshilfesysteme für die Herbizidauswahl können wirksame, ökonomisch optimierte Herbizidmischungen mit reduzierten Aufwandmengen errechnen, wenn Daten zur schlagspezifischen Verunkrautung eingegeben werden. Damit sind sie ein sinnvolles Hilfsmittel für die Integrierte Unkrautbekämpfung. Bevor sie in der Praxis empfohlen werden können, müssen ihre Empfehlungen geprüft werden. In Mecklenburg-Vorpommern wurden auf Winterweizenschlägen zwei Herbizidfeldversuche angelegt, in denen vier verschiedene Prototypen von Entscheidungshilfesystemen als Prüfglieder getestet wurden. Drei weitere Prüfglieder waren Expertenempfehlungen von privaten Beratern, amtlichem Warndienst und Landwirten sowie eine unbehandelte Kontrollvariante. Herbizidwirkungen im Herbst, Unkrauttrockenmasse nach Abschluss der Bekämpfungsmaßnahmen im Frühjahr, Herbizidkosten und Weizenerträge wurden zur Bewertung der Empfehlungen der Entscheidungshilfesysteme erfasst. In dem ersten Feldversuch mit geringer Unkrautdichte vor der Bekämpfung lag die Wirkung bei mindestens 85 %. Wirkungsgrade waren in zwei Prototypen geringer als in den Expertenvarianten. Es wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Restverunkrautung in den verschiedenen Entscheidungsvarianten gefunden. Die Herbizidkosten waren auf diesem Standort in den Expertenvarianten höher als in den Varianten der Entscheidungshilfesysteme. Für die Weizenerträge konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten, selbst im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, gefunden werden. Auf dem zweiten Feldversuch mit höherer Unkrautdichte lagen die Wirkungsgrade in allen Entscheidungsvarianten niedriger. Für *Poa annua* und *Matricaria recutita* wurden signifikante Unterschiede in der Wirkung zwischen den Entscheidungsvarianten gefunden. Diese Unterschiede wirkten sich nicht in signifikant unterschiedlichen Restverunkrautungen und Erträgen zwischen den behandelten Varianten aus. Drei der Prototypen hatten sehr niedrige Herbizidkosten bei der Herbstapplikation, aber sehr hohe bei der folgenden Frühjahrsbekämpfung. So waren die Herbizidkosten insgesamt höher als bei den Expertenvarianten. Aus den Versuchen kann das Fazit gezogen werden, dass mehrere Prototypen von Entscheidungshilfesystemen sinnvolle Bekämpfungsempfehlungen geben. Auf unkrautarmen Schlägen wurde ein deutliches Einsparpotential an Herbizidkosten offensichtlich.

Stichwörter: Crop Protection Online, Entscheidungshilfesystem, Herbizid, Unkrautbekämpfung

Abstract

Herbicide decision support systems can calculate efficient, economically optimized herbicide mixtures with reduced dosages, if field specific weed data are given. Thus, they can be a sensible tool for integrated weed control. However, advises of decision support systems have to be tested before introducing them into practical farming. In Mecklenburg-Vorpommern two herbicide field trials were installed with four different prototypes of decision support systems. An untreated plot and three expert advices, private advisors, official advisory service and a farmer decision, were included as additional test variables. Herbicide efficacies in autumn, weed dry matter after spring applications, herbicide costs and wheat yield were measured to evaluate the decision support system prototypes. In one field trial with low weed density before treatments efficacies were at least 85%. In two prototypes efficacies were lower than in the expert plots. No significant differences between decision variables were found regarding weed dry matter after spraying in spring. On this site, herbicide costs were higher when expert advices were used compared to decision support system advices. No significant differences were detected in yield. Even yield in "untreated" was not significantly different. The second field trial carried higher weed densities. Here herbicide efficacies were lower in all treatments. *Poa annua* and *Matricaria recutita* were significantly affected by the treatments resulting from the decision tools. However, these differences did not result in statistically different weed dry matter or wheat yield. Three of the prototypes advised solutions with very low herbicide costs in autumn, but high costs in spring. As a result, total weed costs in these plots were higher than in the plots advised by experts. It is concluded from the field trials, that

different prototypes of decision support systems are giving sensible herbicide advice. In fields with low weed density, reduction of herbicides costs seems possible.

Keywords: Crop Protection Online, decision support system, herbicide, weed control

Einleitung

Der Einsatz von Herbiziden beeinflusst die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenproduktion und kann die Umwelt mit Pflanzenschutzmitteln belasten. Der Integrierte Pflanzenschutz, wie er von der EU in der EU-Richtlinie 2009/128/EG (2009) und vom deutschen Gesetzgeber im Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (2012) gefordert ist, zielt darauf ab, dass nur Pflanzenschutzmaßnahmen ergriffen werden, die notwendig sind, um einen optimalen – nicht maximalen – Bekämpfungserfolg zu gewährleisten. Für die Ausrichtung auf das notwendige Maß im chemischen Pflanzenschutz (BÜRGER *et al.*, 2008) ist eine gute Beratung sinnvoll. Bei der Unkrautbekämpfung ist es aufgrund der Vielfalt möglicher Unkrautsituationen oft schwierig, eine Herbizidentscheidung in Mittel und Aufwandmenge zu optimieren. Hinzu kommt, dass auf jede Situation mit einer Vielzahl zugelassener Herbizide mit unterschiedlichem Wirkungsprofil reagiert werden kann.

Landwirte nutzen neben ihrer Erfahrung aus Vorjahren unterschiedliche Quellen für Informationen über Herbizidanwendungen. Verbreitet sind die Beachtung regionaler Warndiensthinweise des Pflanzenschutzamtes und/oder die Konsultation privater Berater. JØRGENSEN *et al.* (2007) konnten auf Grundlage von Interviews Landwirte in drei unterschiedliche Typen von Entscheidungsfindern einordnen. Landwirte, die Herbizidentscheidungen Externen übertrugen, bildeten die erste Gruppe. Einer weiteren Gruppe ließen sich Landwirte zuordnen, die sich bei ihrer Entscheidung hauptsächlich auf ihre Erfahrung aus den Vorjahren stützten, während die aktuelle Verunkrautung eine geringere Rolle spielte. Als dritte Gruppe gab es die System-orientierten Landwirte, bei denen kurzfristige Herbizidentscheidungen von langfristigen Strategien zur Anbauentwicklung bestimmt waren. Landwirte dieses Typs überwachten die Unkrautentwicklung auf ihren Feldern genau.

Entscheidungshilfesysteme können sich in den zu optimierenden Zielgrößen unterscheiden. Meist sind die Zielgrößen in Herbizid-Entscheidungshilfesystemen ökonomischer Art. Auf dem dänischen Markt ist das System Crop Protection Online (CPO) eingeführt (RYDAHL, 2003). Crop Protection Online verfolgt das Ziel der Herbizidkostenreduktion bei konstantem Ertrag. Grundlage der Algorithmen sind Herbizidpreise und über einen weiten Aufwandmengenbereich ermittelte Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu allen Unkrautarten, zu denen das System berät. Zielwirkungsgrade sind von dänischen Experten für jede Unkrautart in verschiedenen Unkrautdichteklassen definiert. Es wird die Herbizidmischung gesucht, die mit den geringsten Kosten die Zielwirkungen für alle auf dem Schlag vorkommenden Arten ermittelt. Die Wirkung von Tankmischungen wird unter Nutzung des Additive Dose Model errechnet (STREIBIG *et al.*, 1998). CeBrUs, ein deutsches Entscheidungshilfesystem im Versuchsstadium (WERNER *et al.*, 2002), hat als Zielgröße den direktkostenfreien Mehrerlös. Indem finanzieller Aufwand und finanzieller Ertrag einander gegenübergestellt werden, wird eine Art flexibler Schadschwellen errechnet. Auch hier sind Herbizidpreise und Dosis-Wirkungsbeziehungen als Datengrundlage notwendig. Anders als bei CPO werden zusätzlich Ernteproduktpreise benötigt.

Zurzeit wird in einem EU-Projekt (DSSHerbicide, www.dssherbicide.eu) geprüft, ob das System CPO mit deutschen Daten auf norddeutsche Verhältnisse so angepasst werden kann, dass sinnvolle Beratungsempfehlungen ausgegeben werden. Es werden zwei Herbizidversuche vorgestellt, die unterschiedliche Prototypen des CPO testeten. Zum Vergleich dienten Bekämpfungsentscheidungen des CeBrUs-Systems sowie drei Expertenentscheidungen.

Material und Methoden

In Mecklenburg-Vorpommern wurden Herbizidversuche auf Winterweizenschlägen an zwei Standorten (Kritzow (54,043521 N, 12,059248 E) und Stover Acker (54,060521 N, 12,081735 E)) angelegt. Als Bodenart herrschte schwach lehmiger Sand vor. Die Felder hatten mittlere Ackerzahlen mit 42 bzw. 45 Bodenpunkten.

Die Versuche wurden nach EPP0 Standards (ANONYMUS, 2007) als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit sieben Prüfgliedern und einer unbehandelten Kontrolle in vier Wiederholungen (Blöcken) angelegt. Die Parzellen waren 3 m * 10,5 m (Kritzmow) bzw. 3 m * 11 m (Stover Acker) groß. In üblichen Herbizidversuchen sind die Prüfglieder Testprodukte und Referenzprodukte, von denen bekannt ist, dass sie unter praktischen Bedingungen zufrieden stellend wirken, werden zusätzlich geprüft. Den Testprodukten entsprachen in den Versuchen dieser Arbeit die Herbizidentscheidungen, die von vier Prototypen von Entscheidungshilfesystemen gefällt wurden. Den Referenzprodukten entsprachen drei Entscheidungen, die auf der Grundlage von unterschiedlichen Beratungsangeboten, die dem Landwirt üblicherweise zur Verfügung stehen, getroffen wurden. Geprüft wurden also sieben unterschiedliche Varianten:

- „CPOStandard“: entsprach in den Algorithmen dem dänischen Entscheidungshilfesystem Crop Protection Online, rechnete aber mit Daten zu 21 in Deutschland zugelassenen Herbiziden und 21 in norddeutschen im Winterweizen bedeutenden Unkrautarten. In CPOStandard haben dänische Pflanzenschutzexperten für vier frühe Entwicklungsstadien des Unkrauts für jede Unkrautart und fünf Unkrautdichteklassen eine angestrebte Wirkung („Zielwirkung“) vorgegeben, die durch die Herbizidapplikation erreicht werden muss.
- „CPOrisky“: entsprach in allem CPOStandard, arbeitete jedoch mit um 15 % erniedrigten Zielwirkungen, um die Grenzen des Herbizidreduktionspotentials zu erkennen.
- „CPOCeBrUs“: nutzte die Optimierungsalgorithmen von „CPOStandard“. Zielwirkungen waren mit Hilfe des Entscheidungshilfesystems „CeBrUs“ (siehe nächstes Prüfglied) für einen Durchschnitts-Herbizidpreis angepasst.
- „CeBrUs“: optimierte den prognostizierten, direktkostenfreien Mehrerlös. Die hinterlegten Daten zu Herbizidpreisen und Dosis-Wirkungsbeziehungen waren dieselben wie bei CPOStandard.
- „Berater“: die Herbizidentscheidungen wurden einem privaten Berater überlassen, der die Parzellen in Augenschein nahm. Der Berater hatte nur eine eingeschränkte Mittelauswahl zur Verfügung, die auch von den Entscheidungshilfesystemen genutzt wurde.
- „Warndienst“: die Herbizidentscheidung wurde nach Empfehlungen der vom Pflanzenschutzamt herausgegebenen Warndienstunterlagen getroffen.
- „Praxis“: der Herbizideinsatz entsprach der Unkrautbekämpfung, die auf dem Schlag um die Versuchsfläche herum vom Landwirt durchgeführt wurde.

Sowohl im Herbst wie auch im Frühjahr wurden auf Grundlage der Verunkrautungssituation Bekämpfungsentscheidungen gefällt. Die Unkrautbonituren erfolgten in Stichproben von 1/10 m². Im Herbst wurden die Versuchsflächen mit zehnfacher Wiederholung pro Block beprobt. Im Frühjahr wurde die Beprobung mit fünffacher Wiederholung pro Parzelle durchgeführt.

Bei der Eingabe in die Entscheidungshilfesysteme wurden alle Arten, nicht nur die Leitunkräuter, die dort eingepflegt waren, in ihren Dichten und Entwicklungsstadien berücksichtigt. Die Versuchspartellen wurden nach den Entscheidungen der verschiedenen Entscheidungsvarianten mit Herbiziden behandelt (Tab.1). Die Ausbringung der Herbizide erfolgte mit einer handgeschobenen Feldversuchsspritze.

Vier Wochen nach der Bekämpfung erfolgten die Wirkungsbonturen.

Im Milchreifestadium des Weizens wurde die gesamte oberirdische Biomasse von jeweils 1 m² pro Parzelle geerntet. Die Biomasse wurde frisch nach Arten getrennt, 72 Stunden bei 60 °C getrocknet (bis zur Gewichtskonstanz) und die Trockenmassen gewogen.

Der Weizen wurde zur Druschreife im Kerndrusch auf 18 m² (Kritzmow) bzw. 15 m² (Stover Acker) geerntet. Die Erträge wurden auf 14 % Feuchte standardisiert.

Für den Herbizidkostenvergleich wurden Preise von Herbizid-Großgebinden herangezogen, die auch in den Entscheidungshilfesystemen eingepflegt waren.

Ergebnisse

Unkrautsituation im Herbst vor der Behandlung

Auf dem Standort Kritzmow wurden im Mittel 57 Pflanzen/m² gezählt. Die Echte Kamille (*Matricaria recutita*) kam mit 30 Pflanzen/m² in der höchsten Dichte vor, gefolgt von Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) mit 13 Pflanzen/m² und Jähriger Risppe (*Poa annua*) mit 6 Pflanzen/m². Mit sechs Arten insgesamt war der Standort Kritzmow wesentlich artenärmer als der Standort Stover Acker, wo 22 Arten wuchsen. Auf dem Stover Acker wurde eine durchschnittliche Unkrautdichte von 276 Pflanzen/m² gezählt. Unkräuter mit der höchsten Dichte waren Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*: 87/m²), Jährige Risppe (*Poa annua*: 35/m²), Windhalm (*Apera spica-venti*: 29/m²), Echte Kamille (*Matricaria recutita*: 27/m²) und Stiefmütterchen (*Viola arvensis*: 26/m²).

Bekämpfungserfolg der Herbstapplikation

Die Herbizidwirkungen im Herbst für die Unkrautarten mit den höchsten Dichten sind in Abb. 1 dargestellt. Der Windhalm gehörte auf dem Stover Acker ebenfalls zu der Leitverunkrautung. Weil er oft nur in einer oder zwei Wiederholungen vorkam, wurde für den Windhalm jedoch keine Wirkung berechnet.

Zusammenfassend gilt, dass die Herbizidwirkungen auf dem Standort Kritzmow höher waren - meist mehr als 95 % Wirkung - und geringere Spannweiten aufwiesen. Für die Jährige Risppe wurden in Kritzmow in der Variante CPOStandard und in der Variante Berater mit 85 % nur geringere Wirkungen erreicht. Auf dem Stover Acker fielen besonders in den CPO-Varianten geringere Wirkungen (80 - 85 % für Hirtentäschel, Echte Kamille und Jährige Risppe) auf. Mit dem Kruskal-Wallis-Test wurde getestet, ob sich die Wirkungsgrade der betrachteten Unkräuter unter Berücksichtigung der Varianten statistisch voneinander unterschieden ($\alpha = 0.05$). Für die Herbstapplikation konnte ein signifikanter Unterschied in den Varianten nur für die Echte Kamille und die Jährige Risppe auf dem Standort Stover Acker nachgewiesen werden.

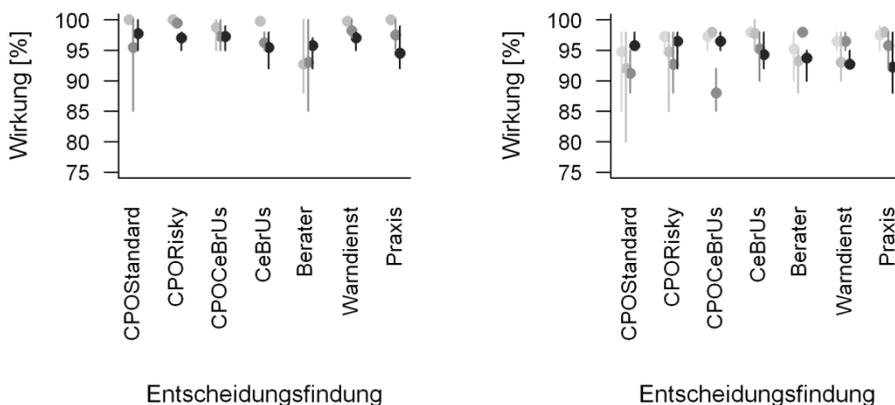


Abb. 1 Wirkung der Herbizidbehandlung im Herbst auf häufig vorkommende Unkrautarten in zwei Herbizidversuchen (links: Kritzmow, rechts: Stover Acker) in Abhängigkeit von der Art der Entscheidungsfindung. Dargestellt sind Mittelwert (Kreise) und Spannweite (Linien) ($n = 4$). Unkrautarten: ● *Capsella bursa-pastoris*, ● *Matricaria recutita*, ● *Poa annua*, ● *Viola arvensis*.

Fig. 1 Efficacy of autumn herbicide treatment on weed species with high frequency in two herbicide field trials (left: Kritzmow, right: Stover Acker) depending on the way of decision-making. Mean (circles) and range (lines) are indicated ($n = 4$). Weed species: ● *Capsella bursa-pastoris*, ● *Matricaria recutita*, ● *Poa annua*, ● *Viola arvensis*.

Trockenmasse der Unkräuter nach Abschluss der Applikationen

Die Trockenmasse der Unkräuter lag auf dem Standort Kritzmow in der unbehandelten Variante bei 111,6 g/m² (Mittelwert der vier Wiederholungen). Im Vergleich dazu wiesen alle behandelten Varianten eine signifikante Reduktion der Trockenmasse auf. Zwischen den Entscheidungsvarianten unterschied sich die Unkrauttrockenmasse nicht signifikant (Tukey-Test, $\alpha = 0.05$). In der Tendenz blieb am meisten Unkrautmasse in den Varianten „CPOrisky“ (14,8 g/m²) und „CPOCeBrUs“ (12,8 g/m²) stehen. In den behandelten Parzellen wurde die meiste Trockenmasse durch Ausfallgerste gebildet. In den unbehandelten Parzellen wurde die höchste Trockenmasse durch die Kornblume (*Centaurea cyanus*) gebildet. Die Kornblume gehörte nicht zur Leitverunkrautung, trat aber in der Probefläche in einer Wiederholung mit 262,7 g/m² stark auf und hob damit auch den Mittelwert der Gesamttrockenmasse an.

Auf dem Stover Acker lag die Unkrauttrockenmasse in der unbehandelten Variante bei 82,6 g/m². Auch hier reduzierten alle Entscheidungsvarianten die Trockenmasse signifikant, und unterschieden sich untereinander nicht (Tukey-Test, $\alpha = 0.05$). In der Tendenz wurde die höchste Trockenmasse in der Variante „Praxis“ gemessen (30,4 g/m²). Sie wurde hauptsächlich von Quecke (*Agropyron repens*) und Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvensis*) gebildet. In den unbehandelten Parzellen war die Unkrautzusammensetzung zum Stadium der Milchreife des Weizens mit 25 Arten artenreich. Die höchste Trockenmasse wurde hier von Echter Kamille gebildet.

Herbizidkosten

Einen Überblick über die eingesetzten Herbizide gibt Tabelle 1. Die Kosten der Herbizide sind, aufgeteilt in Kosten für die Herbst- und die Frühjahrsapplikation, in Abb. 2 dargestellt.

Auf dem Standort Kritzmow sind die Herbizidkosten in den behandelten Varianten im Mittel (33,96 €/ha) geringer als auf dem Standort Stover Acker (53,95 €/ha).

In Kritzmow lag die Spannweite der Kosten zwischen 5,85 €/ha für „CPOCeBrUs“ und 62,98 €/ha für die Variante „Praxis“. Die Kosten nach der Entscheidung mit allen vier Entscheidungshilfesystemen lagen unter den Kosten der preiswertesten Expertenvariante „Warndienst“. Alle Entscheidungswege führten dazu, dass zur Herbstapplikation höhere Kosten anfielen als zur Frühjahrsapplikation.

Auf dem Stover Acker waren „CPOrisky“ und „CPOStandard“ die teuersten Bekämpfungsvarianten mit 79,54 €/ha bzw. 75,21 €/ha, die preiswerteste war „CeBrUs“ mit 29,71 €/ha. Es fällt auf, dass die Herbstbehandlungen der CPO-Varianten nicht viel kosteten. Nur diese Varianten mussten im Frühjahr behandelt werden, sodass die Gesamtkosten dann für zwei CPO-Varianten im Vergleich zu den anderen am höchsten waren.

Tab. 1 Herbizidauswahl zur Nachauflaufbehandlung im Herbst und im Frühjahr in zwei Herbizidversuchen mit Varianten unterschiedlicher Entscheidungsfindung.

Tab. 1 Choice of herbicides for autumn resp. spring application in two field trials. Treatments are different ways of decision making.

Standort	Saison	Entscheidung	Datum	Herbizide (Aufwandmenge l/ha o. kg/ha)		
Kritzmow	Herbst	CPOStandard	24.10.12	Absolute M [®] (0,028) + Cadou SC [®] (0,18)		
		CPORisky	24.10.12	Absolute M [®] (0,022) + Cadou SC [®] (0,15)		
		CPOCeBrUs	24.10.12	Absolute M [®] (0,034)		
		CeBrUs	24.10.12	Absolute M [®] (0,072)		
		Berater	24.10.12	Herold SC [®] (0,3)		
		Warndienst	29.10.12	Bacara Forte [®] (0,8)		
		Praxis	24.10.12	Bacara Forte [®] (0,5) + Lexus [®] (0,013)		
	Frühjahr	CPOStandard	13.05.13	Ariane C [®] (0,112)		
		CPORisky	13.05.13	Pointer SX [®] (0,019)+ Ariane C [®] (0,15)		
		CPOCeBrUs		keine Applikation		
		CeBrUs	13.05.13	Starane XL [®] (0,36)		
		Berater	13.05.13	Ariane C [®] (0,75)		
		Warndienst	13.05.13	Tomigan 180 [®] (0,6)		
		Praxis	13.05.13	Ariane C [®] (1,0)		
		Stover Acker	Herbst	CPOStandard	24.10.12	Absolute M [®] (0,037) + Cadou SC [®] (0,23)
				CPORisky	24.10.12	Absolute M [®] (0,032) + Cadou SC [®] (0,18)
				CPOCeBrUs	24.10.12	Absolute M [®] (0,038) + Cadou SC [®] (0,05)
CeBrUs	24.10.12			Herold SC [®] (0,24) + Lexus [®] (0,006)		
Berater	30.10.12			Bacara Forte [®] (0,8)		
Warndienst	24.10.12			Bacara Forte [®] (0,75) + Cadou SC [®] (0,3)		
Praxis	24.10.12			Herold SC [®] (0,4) + Lexus [®] (0,02)		
Frühjahr	CPOStandard		08.05.13	Broadway [®] (0,173) + FHS [®] (0,6)		
	CPORisky		08.05.13	Monitor [®] (0,025) + Starane XL [®] (0,74) + Monfast [®] (0,4)		
	CPOCeBrUs		08.05.13	Monitor [®] (0,019) + Monfast [®] (0,4)		
	CeBrUs			keine Applikation		
	Berater			keine Applikation		
	Warndienst			keine Applikation		
Praxis		keine Applikation				

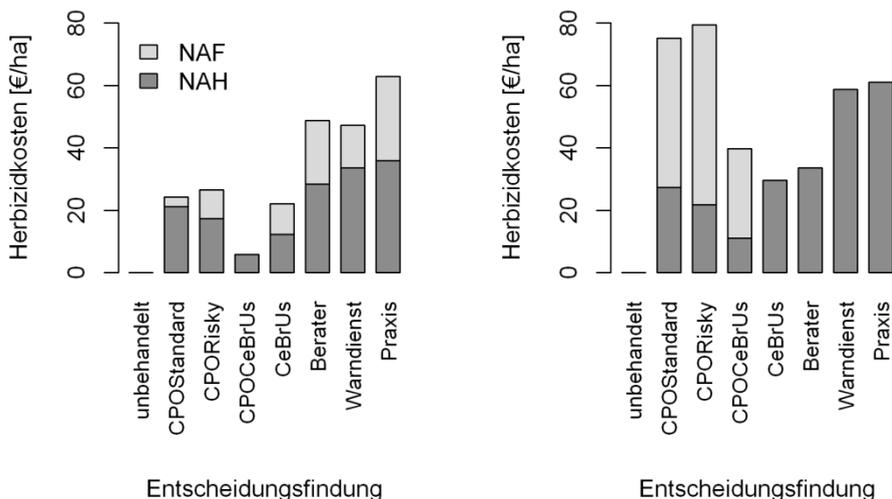


Abb. 2 Herbizidkosten der Nachauflauf-Unkrautbekämpfung im Herbst (NAH) und im Frühjahr (NAF) in Abhängigkeit vom Weg der Entscheidungsfindung auf den Versuchsstandorten Kritzmow (links) und Stover Acker (rechts).

Fig. 2 Herbicide costs of weed treatment in autumn (NAH) and spring (NAF), depending on the way of decision-making in Kritzmow (left) and Stover Acker (right).

Weizenertrag

Die Weizenerträge lagen auf dem Standort Kritzmow bei 92,0 dt/ha im Mittel der behandelten Varianten (Abb. 3). In der unbehandelten Variante war der Ertrag um 5,7 dt/ha reduziert. „CPOCeBrUs“ und „Praxis“ hatten mit 90,9 und 90,5 dt/ha die geringsten, „CPOStandard“ und „Berater“ mit 93,2 bzw. 93,3 dt/ha die höchsten gemessenen Erträge. Die „Berater“- Variante wies geringste die Standardabweichung auf. Die Ertragsunterschiede ließen sich nicht absichern (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$; Varianzanalyse: Tab. 2).

Tab. 2 Tabelle der Varianzanalyse für Herbizidfeldversuche an zwei Standorten. Prüfglieder sind unterschiedliche Wege der Entscheidungsfindung.

Tab. 2 Table of variance for yields in two herbicide field trials. Treatments are different ways of decision making.

Standort	Ursache	FG	Quadratsumme	Mittlere Quadratsumme	F-Wert	p (> F)
Kritzmow	Entscheidungsfindung	7	150.3	21.5	0.580	0.76
	Block	3	1128.1	376.0	10.159	< 0.001
	Residuen	21	777.3	37.0		
Stover Acker	Entscheidungsfindung	7	94.1	13.4	1.479	0.23
	Block	3	14.2	4.7	0.521	0.67
	Residuen	21	191.0	9.1		

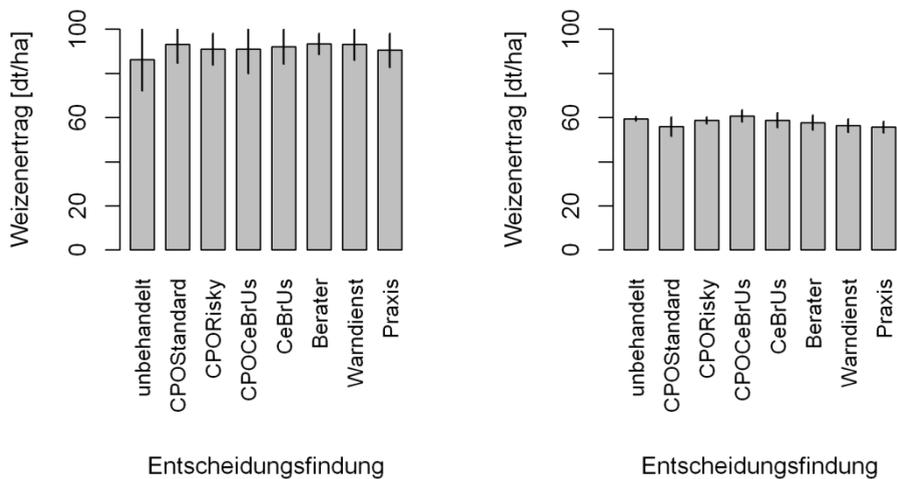


Abb. 3 Winterweizenertrag in Abhängigkeit vom Weg der Entscheidungsfindung auf den Versuchsstandorten Kritzmow (links) und Stover Acker (rechts). Mittelwerte (Balken) und Standardabweichungen (Linien) von vier Wiederholungen.

Fig. 3 Winter wheat yield depending on the way of decision-making in Kritzmow (left) and Stover Acker (right). Means (bars) and standard deviations (lines) of four replications.

Auf dem Stover Acker war das Ertragsniveau der behandelten Varianten mit einem Mittelwert von 57,7 dt/ha deutlich niedriger verglichen zum Standort Kritzmow (Abb. 3). Den höchsten Ertrag hatte hier die Variante „CPOCeBrUs“ mit 60,8 dt/ha. Sie brachte damit 5,0 dt/ha mehr als „Praxis“ mit den niedrigsten Erträgen. Auch auf dem Stover Acker unterschieden sich die Erträge nicht signifikant voneinander (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$; Varianzanalyse: Tab. 2).

Diskussion

In der Herbstapplikation fallen bei den Entscheidungshilfesystemen einzelne Wirkungen unter 90 % auf, die im Allgemeinen als unbefriedigend angesehen werden. Diese Minderwirkungen müssen im Zusammenhang mit der Unkrautdichte gesehen werden. Die CPO-Prototypen ermitteln das notwendige Maß des Herbizideinsatzes, die notwendige Aufwandmenge anhand der angestrebten Wirkungen („Zielwirkungen“), die von der Unkrautart, der Unkrautdichte und der Unkrautgröße abhängen. Diese wurden von dänischen Pflanzenschutzexperten geschätzt und im Entscheidungshilfesystem gespeichert (RYDAHL, 2003). Eine Zielwirkung kann bei geringer Unkrautdichte und Unkräutern im kleinen Entwicklungsstadium artabhängig bei nur 50 % liegen. Die durch die Minderwirkung nicht erfasste Verunkrautung wird als tolerierbare Restverunkrautung eingeschätzt, die keine Auswirkung auf den Ertrag hat. CeBrUs ermittelt das notwendige Maß anhand von flexiblen Schadensschwellen (WERNER *et al.*, 2002). Bei geringen Ausgangsverunkrautungen, und als solche müssen die Dichten in Kritzmow gewertet werden (vgl. DE MOL *et al.*, dieser Band), ist es ökonomisch nicht sinnvoll, mehr Herbizide auszubringen als zum Erreichen einer tolerierbaren Restverunkrautung notwendig ist. Im Unterschied zu den CPO-Prototypen wird bei CeBrUs eine Ertragsminderung in Kauf genommen, wenn die Kosten für die Herbizidbehandlung über den Kosten des entgangenen Ertrags liegen würden. Sowohl bei den CPO-Prototypen wie auch bei CeBrUs sind also geringere Wirkungen in schwach verunkrauteten Beständen zu erwarten, da die Wirkung nur so hoch angestrebt wird, dass die Dichte der tolerierbaren Restverunkrautung nicht überschritten wird.

Die Ergebnisse des Ertrags lagen für die unterschiedlichen Entscheidungsvarianten erstaunlich nahe beieinander. In Kritzmow hatte die unbehandelte Variante zwar geringere Erträge, diese ließen sich statistisch jedoch wegen hoher Blockeffekte (Tab. 2) nicht absichern. Die geringe Verunkrautung auf diesem Standort führte wahrscheinlich dazu, dass auch in der unbehandelten Kontrolle Auswirkungen auf den Ertrag gering waren. Auf dem Stover Acker entschied sich der Bewirtschafter gegen den Einsatz von Wachstumsregulatoren und gegen eine zweite Fungizidbehandlung. Das hatte in allen Varianten und allen Wiederholungen sehr hohe Weizenbestände und starken Mehлтаubefall zur Folge. Der hohe Weizen kann wesentlich zur Unkrautunterdrückung beigetragen haben, der Mehltau der ertragsbegrenzende Parameter gewesen sein, so dass Ertragsunterschiede selbst zur unbehandelten Kontrolle nicht mehr zu bestimmen waren. Dass die Erträge der Varianten, bei denen über eine etwaige Behandlung entschieden wurde, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht erhöht waren, schmälert die Aussagekraft der Versuche nicht, denn jeder Weg der Entscheidung hätte auch zu dem Entschluss führen können, keine Herbizide einzusetzen.

Die Trockenmassen der Unkräuter nach Abschluss aller Bekämpfungsmaßnahmen unterschieden sich wie die Erträge nicht signifikant zwischen den Entscheidungsvarianten. Das heißt insbesondere, dass die Unkrautbekämpfung, für die sich auf herkömmlichen Wegen entschieden wurde (Berater, Warndienst, Praxiserfahrung), hinsichtlich der Restverunkrautung und dem Weizenertrag den durch Entscheidungshilfesysteme empfohlene Bekämpfungsmaßnahmen weder unterlegen noch überlegen waren. Die Unkrauttrockenmassen in den behandelten Parzellen wurden hauptsächlich von Arten gebildet, die nicht zu den oben beschriebenen Leitunkräutern im Herbst gehörten (Wintergerste in Kritzmow, Quecke und Ackerschachtelhalm auf dem Stover Acker). Die Herbizidwirkungen waren offensichtlich hoch genug, um die Herbstleitunkräuter ausreichend zu bekämpfen.

Die Herbizidkosten in den Expertenvarianten der Herbizidversuchen lagen in ähnlicher Höhe wie die Kosten der Testbetriebe in Mecklenburg-Vorpommern (im Jahr 2012 bei 46 €/ha) (ZIESEMER und HEILMANN, 2013). In den getesteten Expertenvarianten betragen die Herbizidkosten im Mittel 52,06 €/ha. Die Expertenvarianten liegen damit in dem Kostenbereich, der in der Praxis üblich ist. Die Werte der computergestützten Alternativen lassen in Kritzmow ein Einsparpotential durch die Nutzung eines Entscheidungshilfesystems erkennen. Auf dem Stover Acker hingegen waren die Kosten für die Herbstbehandlung zwar gering, dafür wurde jedoch im Frühjahr in den CPO-Varianten eine kostspielige Bekämpfung benötigt. Die in der Praxis bekannte Empfehlung einen hohen Bekämpfungserfolg im Herbst anzustreben, wurde hier untermauert. Offensichtlich waren die niedrigeren Wirkungen (Abb. 1) auf dem Stover Acker im Herbst nicht ausreichend.

Aus den Ergebnissen der Versuche lässt sich schlussfolgern, dass DSSHerbizide im Vergleich zu herkömmlichen Expertenentscheidungen ähnlich gute Ergebnisse ergab. Es soll deswegen in der Praxis weiter getestet werden. Voraussetzung für eine Akzeptanz in der Praxis ist allerdings nicht nur ein intelligentes, aktuelles Entscheidungshilfesystem, sondern auch Nutzer des Systemorientierten Typs nach JØRGENSEN *et al.* (2007), die ihre Schläge mit der jeweiligen Verunkrautung kennen.

Danksagung

Die EU ermöglichte mit der Finanzierung des Projekts DSSHerbizide die Entwicklung von drei Prototypen im Rahmen des South Baltic Programmes, wofür die Autoren danken.

Literatur

- ANONYMUS, 2007: Weeds in cereals: Efficacy evaluation of herbicides., OEPP Bull **37** (3), 482–485.
- BÜRGER, J., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2008: The "necessary extent" of pesticide use - thoughts about a key term in German pesticide policy. Crop Prot. **27** (3-5), 343-351.
- RYDAHL, P., 2003: A web-based decision support system for integrated management of weeds in cereals and sugarbeet. OEPP Bull. **33** (3), 455-460.
- STREIBIG, J.C., P. KUDSK und J. E. JENSEN, 1998: A general joint action model for herbicide mixtures. Pestic. Sci. **53** (1), 21-28.

- WERNER, B., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2002: CeBrUs - ein Beratungssystem für die Unkrautbekämpfung in Raps und Getreide im Internet. *J. Plant. Dis. Protect., Spec. Iss.* **XVIII**, 391-398.
- WILSON, B. J., K. J. WRIGHT, P. BRAIN, M. CLEMENTS und E. STEPHENS, 1995: Predicting the competitive effects of weed and crop density on weed biomass, weed seed production and crop yield in wheat. *Weed Res.* **35** (4), 265-278.
- ZIESEMER, A., und H. HEILMANN, 2013: Jahresbericht 2012. Ökonomische Bewertung ausgewählter Verfahrensabschnitte im Acker- und Pflanzenbau auf der Basis von Schlagkarteidaten. Hg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Gülzow, 21 Seiten.