

Anwendung eines neuen Internet-basierten Entscheidungshilfemodells für das integrierte Unkrautmanagement in Winterweizen und Mais (DSS-IWM) – Erfahrungen aus der praxisnahen Anwendung

Application of a new Internet-based decision support model for integrated weed management in winter wheat and maize (DSS-IWM) - experiences from practical applications

Heidrun Bückmann^{1*}, Ole Mission Bøjer², Per Rydahl², Arnd Verschwele¹

¹Julius Kühn-Institut, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

²IPM Consult Ltd., Hovedgaden 32, 4295 Stenlille, Denmark

*Korrespondierende Autorin, heidrun.bueckmann@julius-kuehn.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.035



Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der allgemeinen Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes (Richtlinie 2009/128/EG Anhang III) wurde im Rahmen eines dreijährigen europäischen ERA-Net-Projektes (Co-ordinated Integrated Pest Management in Europe - C-IPM) ein Internet-gestütztes Entscheidungshilfemodell für die Unkrautbekämpfung in Winterweizen und Mais entwickelt (DSS-IWM). Der Prototyp dieses DSS-Modells, IPMwise, wurde im Rahmen des Projektes in drei europäischen Ländern erarbeitet, geprüft und verbessert. Die Behandlungsvorschläge des Programms richten sich nach der aktuellen Verunkrautung der Fläche und beruhen auf Dosis-Wirkungsdaten und spezifischen Ziel-Wirksamkeiten. Das Programm soll sowohl Landwirte als auch Berater verlässlich dabei unterstützen, Unkräuter zum richtigen Zeitpunkt mit den geeignetsten Herbiziden in optimierter Aufwandmenge zu bekämpfen und somit dazu beitragen, den Herbizidaufwand zu reduzieren, ohne Ertragseinbußen zu riskieren. In die Entscheidungen werden lokale Bedingungen, Schadensschwellen und ökonomische Berechnungen der Behandlungen einbezogen. Das Programm soll zukünftig auch als Tablet- oder Smartphone-Version dem Anwender zur Verfügung stehen.

Validierungsversuche an verschiedenen Standorten in Deutschland zeigten, dass Wirkungsgrade sowohl im Mais als auch im Winterweizen nach Behandlungsvorschlägen des DSS-Programms im Mittel etwas niedriger waren als nach der lokalen Standardbehandlung, an einzelnen Standorten aber gleich hoch. Der Behandlungsindex wurde in den DSS-Varianten bis zu 50 % verringert, wodurch Kosteneinsparungen für Herbizide von 50 % bis 60 % möglich waren. Das Programm ist demnach geeignet, um ökologische und ökonomische Ziele der Unkrautregulierung im Rahmen der Integrierten Unkrautbekämpfung zu fördern.

Stichwörter: Entscheidungshilfesystem, Herbizide, Integrierte Unkrautbekämpfung

Abstract

In accordance with the general principles of Integrated Pest Management (Directive 2009/128/EC Annex III), an Internet-based decision support model for weed control in winter wheat and maize (DSS-IWM) was developed as part of a three-year European ERA-Net project (Co-ordinated Integrated Pest Management in Europe - C-IPM). The prototype of this DSS model, IPMwise, was developed, tested and improved in three European countries. The treatment suggestions of the program are based on the current weed infestation of the field, on dose-response data and on specific target efficiencies. The program will provide reliable support to both farmers and advisors in controlling weeds at the right time with the most appropriate herbicides in optimised application rates, thus helping to reduce herbicide use without risking yield losses. Decisions are based on local conditions, damage thresholds and economic calculations of treatments. In future, the program will also be available to users as a tablet or smartphone version.

Validation trials at various sites in Germany showed that the average efficacy in both maize and winter wheat according to treatment suggestions of the DSS program was slightly lower than according to the local standard treatments, but at many sites it exceeded 90%. The treatment index in the DSS variants was reduced by up to 50%, resulting in cost savings for herbicides of 50% to 60%. The program is therefore suitable for supporting the ecological and economic objectives of weed control within the framework of Integrated Weed Control.

Keywords: Decision Support System, herbicides, integrated weed management

Einleitung

Unkrautbekämpfung im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes (Richtlinie 2009/128/EG Anhang III) erfordert ein genaues Erfassen der Verunkrautung einer Fläche und einen spezifischen Einsatz

von Herbiziden, der auf das notwendige Maß begrenzt sein sollte. In der Praxis wird häufig aus organisatorischen Gründen (Zeitersparnis, Personaleinsatz u.a.) auf die flächenbezogene Kontrolle der Verunkrautung verzichtet und Herbizide routinemäßig im Voraufbau ausgebracht. Hierdurch können ökonomische und ökologische Nachteile entstehen, weil einerseits die tatsächliche Verunkrautung überschätzt werden kann und andererseits hohe Wirkungsreserven der Herbizide bei geringeren Aufwandmengen nicht genutzt werden. Dagegen können präzise Kombinationen verschiedener Nachaufbauherbizide mit angepassten Aufwandmengen deutliche ökonomische und ökologische Vorteile bewirken, ohne den wirtschaftlichen Erfolg des Anbaus zu gefährden (VERSCHWELE et al., 2018). Bereits vor mehr als 20 Jahren wurde in Dänemark damit begonnen, Einflussfaktoren auf die Wirkung einzelner Herbizide auf einzelne Unkrautarten zu untersuchen, um politische Entscheidungen und nationale Aktionspläne zum Grundwasserschutz umsetzen zu können (KUDSK, 2008). Seitdem wurden umfangreiche Dosis-Wirkungs-Versuche mit mehr als 100 Unkrautarten in Dänemark und anderen europäischen Ländern durchgeführt, deren Ergebnisse ein Reduktionspotential des Herbizid-Einsatzes von bis zu 60 % der zugelassenen Aufwandmenge belegen (MONTULL et al., 2014). Parallel wurden Internet-gestützte Entscheidungshilfesysteme (DSS - decision support systems) entwickelt, um den Anwender bei der Entscheidung für die optimierte Unkrautbekämpfungsstrategie zu unterstützen (VERSCHWELE et al., 2018; BÜCKMANN et al., 2018; SONDERSKOV et al., 2015; MONTULL et al., 2014; KUDSK, 2008; RYDAHL, 2003).

Das neue Entscheidungshilfemodell „DSS-IWM“ wurde von 2016 bis 2019 im Rahmen des ERA-NET-Projektes „C-IPM, Co-ordinated Integrated Pest Management in Europe“ entwickelt und baut auf Vorläufermodelle (DSSHerbizide und PURE) auf (SONDERSKOV et al., 2015; VERSCHWELE et al., 2018). Partner aus Dänemark, Spanien und Deutschland erarbeiteten den verlässlichen Internet-gestützten DSS-Prototyp IPMwise zur Unkrautbekämpfung in Winterweizen und Mais, mit dem ein ökologisch und ökonomisch begründeter sparsamer Herbizideinsatz nach den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes gewährleistet werden kann (RYDAHL et al., 2019; <http://dss-iwm.juliuskuehn.de>). Zudem wurden weitere Ziele zur Optimierung der Unkrautbekämpfung verfolgt und das Programm durch Feldversuche validiert:

- Eignung für den Online-Einsatz zur Unkrautbekämpfung in Mais und Winterweizen
- Lieferung zuverlässiger Bekämpfungsvorschläge und Berücksichtigung nationaler Bedingungen
- Berücksichtigung von Schwellenwerten für Unkrautdichten
- Wirtschaftliche Berechnung der Herbizidkosten
- Vorschläge, wo möglich, für mechanische Bekämpfungsoptionen
- Erleichterung des Herbizidrestistenz-Managements
- Basisplattform für die Nutzung in anderen Kulturen und Ländern.

Im Folgenden werden praxisnahe Versuche der Jahre 2017 und 2018 aus Deutschland vorgestellt.

Material und Methoden

Die Basis der Empfehlung von Herbiziden und Aufwandmengen ist neben Dosis-Wirkungs-Daten die sogenannte Zielwirksamkeit (TE), die für jede Unkrautart festgelegt wurde (Tab. 1). Hierbei handelt es sich um ein modifiziertes Schadensschwellenkonzept (VERSCHWELE und BÜCKMANN, 2019). Sensitive und resistente Unkräuter werden mit unterschiedlichen Zielwirksamkeiten im Programm berücksichtigt. Zu Testzwecken wurden neben Zielwirksamkeiten, die eine sichere Unkrautbekämpfung ermöglichen, noch stärker abgesenkte, gewagte Zielwirksamkeiten festgelegt. Für die Nutzung des Programms in der landwirtschaftlichen Praxis wird zukünftig aber nur die sichere Variante angewendet. Die angestrebten Zielwirksamkeiten nehmen mit der Größe und der Anzahl der Unkräuter zu. Auf Grundlage der Dosis-Wirkungsbeziehungen und der Zielwirksamkeiten der Einzelunkräuter werden Tankmischungen oder auch Einzelherbizide berechnet (STREIBIG et al., 1998).

Für die Nutzung des Programms wird zunächst die Verunkrautung auf der Fläche visuell bestimmt. Anschließend werden die Unkrautart, die Unkrautgröße und die -dichteklasse ins IPMwise eingegeben. Bei den Unkrautarten kann zwischen sensitiven und resistenten Typen unterschieden

werden. Weitere Informationen wie das Entwicklungsstadium der Kultur, die Temperaturspanne zum Zeitpunkt der geplanten Herbizid-Behandlung und möglicher Trockenstress werden ergänzt.

Tab. 1 Zielwirksamkeiten (%) für Unkrautarten und -dichten am Beispiel ausgewählter sensibler Mais-Unkräuter.

Tab. 1 Target efficacies (%) of weed species and weed densities using the example of selected sensitive maize weeds.

Zielwirksamkeit	Unkrautdichte (Pfl./m ²)				
	0 - 1	2 - 10	11 - 40	41 - 150	> 150
<i>Chenopodium album</i>					
sicher	60	85	97	98	98
gewagt	40	70	87	88	88
<i>Digitaria sanguinalis</i>					
sicher	60	85	95	96	96
gewagt	40	70	85	86	86
<i>Stellaria media</i>					
sicher	50	85	85	90	90
gewagt	30	70	70	80	80

Aus diesen Informationen berechnet das Programm Wirkungsziele und Herbizid-Dosierungen oder mechanische Lösungsmöglichkeiten (RYDAHL et al., 2019). Zudem ist es möglich, die Vorschläge des Programms zu steuern, indem z. B. eigene Zielwirksamkeiten, die von denen des Programms abweichen, angegeben werden oder die Auswahl der Herbizide (Funktion „Eigene Herbizide“) beschränkt.

Abbildung 1 veranschaulicht die Ausgabe der Behandlungsvorschläge des Programms an einem Beispiel für Winterweizen. Aus diesen Vorschlägen sucht der Anwender die für sich passende und geeignete Tankmischung oder ggf. Einzelherbizide aus. Jeder Vorschlag kann angeklickt werden, um weitere Informationen zu den zu erwartenden Wirkungsgraden, den Wirkungsweisen (MoA) und den Preisen für die Herbizide zu erhalten.

Beratung

Kulturart:

Weizen, sicher (im Test)

Trockenstress:

Keiner

Ehrenpreis, Arten:

>6 Laubblätter, 51 - 150 Pfl/m², 88%

Stiefmütterchen, Acker-:

3-4 Laubblätter, 11 - 50 Pfl/m², 87%

Saison:

Frühling/Sommer

Temperatur:

8 °C - 14 °C

Fuchsschwanz, Acker, res. Risiko (A,B,C2):

>6 Laubblätter, 11 - 50 Pfl/m², 91%

Taubnessel, Arten:

5-6 Laubblätter, 2 - 10 Pfl/m², 0%

Entwicklungsstadium:

23.3. Bestockungsstreb sichtbar

Find lowest:

Kosten (Price)

Labkraut, Kletten-:

>6 Laubblätter, 2 - 10 Pfl/m², 79%

© 2019 - IPM Consult ApS

Vorschläge				Preis (€/ha)	Wirkmechanismus
✓ BROADWAY (275 G) + Husar OD (0.015 L) + Broadway Netzmittel (1.375 L)				20.795	B*,B*
Handelsname	Dosis / ha	Max. Dosis / ha	Einheit	Preis (€/ha)	Wirkmechanismus
Husar OD	0.015	0.1	L	0.5	B*
> BROADWAY	275	275	G	13.42	B*
Broadway Netzmittel	1.375	1.375	L	6.875	
Unkrautname	Erwarteter Effekt (%)	Gewünschter Effekt (%)	Ausreichender Effekt nach IPM (%)		
Labkraut, Kletten-	97	79	79		
Fuchsschwanz, Acker-	91	91	91		
Stiefmütterchen, Acker-	98	87	87		
Ehrenpreis, Arten	93	88	88		
> Atlantis OD (0.57 L) + Husar PLUS (0.2 L) + Mero (1 L)				31.35	B*,B*
> Atlantis Flex (0.22 Kg) + POINTER SX (43.5 G) + Biopower (1 L)				47.32	B*,B*
> Tracos (1.15 L) + POINTER SX (46.4 G)				63.97	A*,B*
> Biathlon 4D (70 G) + Atlantis WG (0.48 Kg) + FHS (1 L)				65.26	B*,B*
> Atlantis WG (0.33 Kg) + POINTER SX (35.2 G) + FHS (1 L)				67.75	B*,B*

Abb. 1 Vorschläge zur Bekämpfung der eingegebenen Verunkrautung, beispielhaft für die Frühjahrsbehandlung von Winterweizen 2019 mit sensiblen Unkräutern.

Fig. 1 Suggestions for controlling the entered weed infestation, exemplary for the spring treatment of winter wheat 2019 with sensitive weeds.

Zur Validierung der deutschen Version von IPMwise wurden gemeinsam mit den amtlichen Diensten der Bundesländer Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen (Rheinland und Westfalen), Sachsen, Thüringen und Brandenburg Ringversuche in Mais und Winterweizen durchgeführt.

Eigene Versuche deckten die Region Niedersachsen ab. Auf Grundlage der Ergebnisse wurde das Programm optimiert und damit eine stetige Verbesserung der Algorithmen durch angepasste Zielwirksamkeiten, Dosis-Wirkungs-Daten, neue Herbizide und Unkräuter erreicht. Ziel war es, Fehlerquellen aufzudecken und die Einflussgrößen anzupassen, um die Empfehlung zu optimieren.

Aufbau der Validierungsversuche: 4 Varianten wurden in 4-facher Wiederholung als randomisierte Blockanlage mit 3 x 5 m großen Parzellen angelegt: 1. Kontrolle (unbehandelt), 2. Regionaler Standard (nach Beraterempfehlung), 3. DSS 1 (sichere Behandlung), 4. DSS 2 (gewagte Behandlung). Letztere wurde aus wissenschaftlichen Zwecken ergänzt. Alle Versuche wurden nur einmal behandelt. Zu verschiedenen Terminen wurden Erhebungen bzw. Behandlungen durchgeführt: Termin 1: Bestimmung der Verunkrautung der Parzelle (Unkrautart, -größe, -dichte), Eingabe ins IPMwise, Auswahl eines Vorschlags, Termin 2: Unkrautbekämpfung nach dem ausgewählten Vorschlag, Termin 3: erste Wirkungsbonitur ca. 4 Wochen nach der Applikation, Termin 4: Abschlussbonitur kurz vor der Ernte.

Die Wirkung der Varianten wurde im Vergleich zur unbehandelten Kontrollvariante geschätzt. Die erste Bonitur nach der Behandlung war für den Wirkungsvergleich der Varianten entscheidend, wobei der erzielte Wirkungsgrad (%) der Behandlungsvorschläge von IPMwise mit dem des regionalen Standards verglichen wurde. Bonituren kurz vor der Ernte zielten auf die Bewertung der Restverunkrautung und den Neuaufbau von Unkräutern ab. Neben der Gesamtverunkrautung wurden auch einzelne Unkrautarten bewertet. Es erfolgte zusätzlich ein Vergleich der ermittelten Wirkungsgrade mit den Wirkungszielen des Programms. Die Intensität der Herbizidbehandlung in den Versuchen wurde durch den Behandlungsindex (BI) bestimmt, der im Rahmen des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) als quantitatives Maß hierzu dient. Der Behandlungsindex errechnet sich aus den tatsächlich aufgewendeten Mengen der Herbizide in Relation zur zugelassenen Aufwandmenge (<https://papa.julius-kuehn.de/>). Er wurde den Wirkungsgraden der Versuche gegenübergestellt. Hieraus ergab sich auch ein logischer Zusammenhang mit den Preisen für die angewendeten Herbizide.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Versuchsjahre 2017 und 2018 zusammengefasst, die beide durch extreme Witterungsverläufe gekennzeichnet waren. So traten im Jahr 2017 starke und überdurchschnittlich hohe Niederschläge auf. Das Jahr 2018 war dagegen aufgrund extremer Trockenheit und Hitze die Durchführung und Auswertung einzelner Versuche erschwert. Alle Versuche wurden individuell ausgewertet, aber nicht alle konnten witterungsbedingt in die Gesamtbewertung einfließen.

In die Auswertung der Winterweizenversuche sind sowohl Frühjahrs- als auch Herbstbehandlungen (aus 2017) eingeflossen. Zusammenfassend wurde in den regionalen Standard-Varianten zur ersten Wirkungsbonitur ein mittlerer Wirkungsgrad von 93 % und ein Behandlungsindex von 1,61 bei einem mittleren Preis von rd. 39 € bestimmt. Die beiden DSS-Varianten wiesen insgesamt niedrigere Wirkungsgrade von 86 % bzw. 83 % aus (Tab. 1). Erwartungsgemäß waren die mittleren Behandlungsindices in den DSS-Varianten deutlich niedriger als in der Standard-Variante (1,14 bzw. 0,80 gegenüber 1,61). Die Kosten für die Herbizid-Behandlung in der sicheren DSS-Variante (1) lag 32 % niedriger als in der lokalen Standard-Variante, mit der gewagten DSS-Variante (2) konnten sogar 57 % niedrigere Kosten realisiert werden.

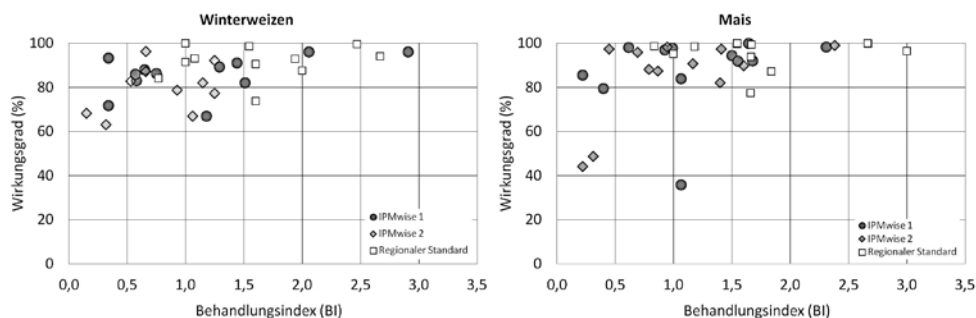
In den Maisversuchen der Jahre 2017 und 2018 traten nach regionaler Standardbehandlung mittlere Wirkungsgrade von 99 % auf. In der sicheren Variante DSS 1 wurde ein mittlerer Wirkungsgrad von 92 % ermittelt und in der gewagten Variante DSS 2 ein Wirkungsgrad von 88 % (Tab. 1). Der mittlere Behandlungsindex in den DSS-Varianten lag mit 1,19 bzw. 0,99 deutlich unter dem des regionalen Standards (1,72). Der Behandlungsindex und die mittleren Kosten korrelierten positiv. Die DSS-Varianten erzielten mittlere Kosteneinsparungen von bis zu 47 €/ha (DSS 2) bzw. 37 €/ha (DSS 1) gegenüber der regionalen Standard-Behandlung, die 85 €/ha kostete und erreichten Kosteneinsparungen von 55 % bzw. 44 %.

Tab. 2 Mittlere Wirkungen, Behandlungsindizes und Preise in den Versuchen mit Winterweizen und Mais, Bonitur ca. 4 Wochen nach Applikation, DSS 1 (sicher), DSS 2 (gewagt).**Tab. 2** Mean efficacy, treatment indices and prices in the trials with winter wheat and maize, assessment approx. 4 weeks after application, DSS 1 (safe), DSS 2 (risky).

2017 + 2018	Variante	Wirkung		Behandlungsindex		Preis	
		(%)	STAW	BI	STAW	€	STAW
Winterweizen n=11	Reg. Standard	93	7,63	1,61	0,62	39,38	21,73
	DSS 1	86	8,97	1,14	0,77	26,68	24,47
	DSS 2	83	11,04	0,80	0,39	17,03	16,96
Mais n=15	Reg. Standard	99	6,13	1,72	0,62	85,24	21,72
	DSS 1	92	25,91	1,19	0,55	47,83	26,85
	DSS 2	88	24,93	0,99	0,57	38,47	27,65

STAW=Standardabweichung

Bei einer Gegenüberstellung des Wirkungsgrads und des Behandlungsindex der Einzelversuche zeigt sich deutlich, dass in beiden Kulturen ein hoher Wirkungsgrad auch mit einem niedrigen Behandlungsindex, d.h. mit reduzierten Aufwandmengen erreicht werden kann (Abb. 3). Im Mais wurden insgesamt 30 DSS-Vorschläge (sicher und gewagt) für die Vergleiche mit der regionalen Standard-Variante getestet. In 15 Fällen wurde ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von über 90 % erreicht, in 9 Fällen sogar von über 95 %. In einzelnen Mais- und Winterweizenversuchen wurden mit niedrigen Behandlungsindizes jedoch auch Wirkungsgrade unter 80 % ermittelt (Abb. 2). Dies galt insbesondere für die gewagte Variante DSS 2. Im Mais traten vereinzelt sehr schwache Wirkungsgrade in den DSS-Varianten 1 und 2 (36 % und 44 % bzw. 48 %) auf. Hier waren die Aufwandmengen der Herbizide sehr niedrig berechnet.

**Abb. 2** Wirkungsgrad und Behandlungsindex von zwei IPMwise-Varianten im Vergleich zur regionalen Standardbehandlung (Regionaler Standard) in Winterweizen und Mais, 2017 und 2018, IPM 1 (DSS 1, sicher), IPM 2 (DSS 2, gewagt).**Fig. 2** Efficacy (Wirkungsgrad) and frequency treatment index (Behandlungsindex) of two IPMwise variants compared to regional standard treatment (Regional Standard) in winter wheat and maize, 2017 and 2018, IPM 1 (DSS 1, sicher), IPM 2 (DSS 2, risky).

Da die Behandlungsvorschläge des DSS-Programms IPMwise auf der Verunkrautung der Fläche basieren, ist der Behandlungsindex nicht grundsätzlich niedriger als in der regionalen Standardbehandlung. Dies zeigte sich deutlich an einem Winterweizenversuch, in dem im regionalen Standard Herbizide mit einem Behandlungsindex von 2,67 und in der sicheren DSS-Variante 1 mit 2,91 ausgebracht wurden (Abb. 2, Winterweizen).

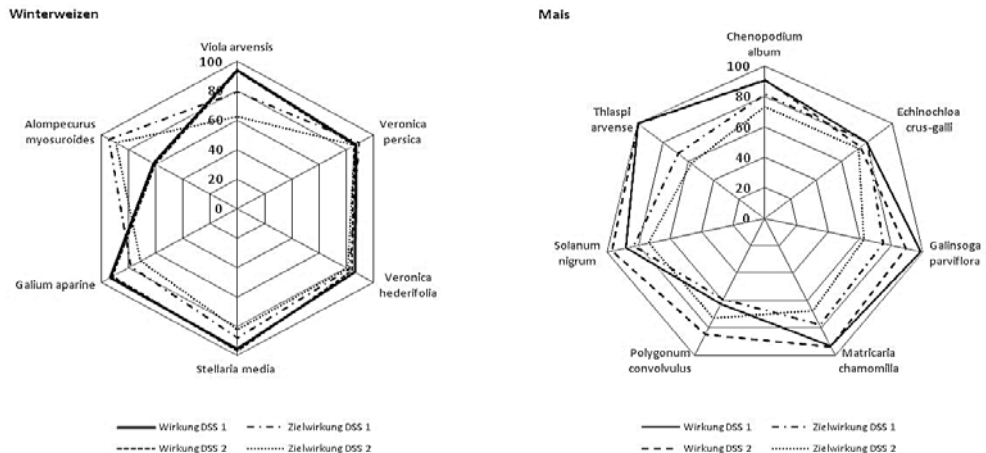


Abb. 3 Ermittelte Wirkungsgrade und Wirkungsziele von zwei IPMwise-Varianten (DSS 1 und 2) auf ausgewählte Unkräuter in Winterweizen und Mais, Mittelwerte aller Versuche in 2017 und 2018, DSS 1 (sicher), DSS 2 (gewagt).

Fig. 3 Evaluated efficacies and efficacy targets of two IPMwise variants (DSS 1 and 2) on selected weeds in winter wheat and maize, mean values of all trials in 2017 and 2018, DSS 1 (safe), DSS 2 (risky).

Neben den Wirkungen auf die Verunkrautung wurde auch geprüft, ob die vom IPMwise berechneten Wirkungsziele für einzelne Unkrautarten erreicht wurden. Am Beispiel ausgewählter typischer Unkräuter in Winterweizen und Mais zeigte sich, dass die Wirkungsziele durchweg erreicht (Abb. 3) und in vielen Fällen sogar weit übertroffen wurden. Die Ausnahme bildet der Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Winterweizen, der als sensibler Typ ins Programm eingegeben wurde, an vielen Versuchsstandorten aber Anzeichen von Resistenzen aufwies.

Diskussion

Das Entscheidungshilfemodell DSS-IWM soll mit dem aktuellen Prototypen IPMwise Vorschläge zur Unkrautbekämpfung nach den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes (Richtlinie 2009/128/EG Anhang III) liefern. Eine Reduktion der Aufwandmengen von Herbiziden steht dabei im Fokus.

Die Validierungsversuche zum Programm wurden in den Kulturen Winterweizen und Mais an verschiedenen Standorten in Deutschland durchgeführt. Die berechneten Bekämpfungsvorschläge bzw. die Dosierungen der Herbizide richten sich nach der Verunkrautung auf Basis von Dosis-Wirkungsbeziehungen von Herbiziden und Unkräutern sowie der Zielwirksamkeit für jede Unkrautart (RYDAHL et al., 2019). Dabei hatte der Anwender die Möglichkeit, aus verschiedenen Vorschlägen zur Bekämpfung der spezifischen Verunkrautung seiner Fläche die für ihn passende Alternative auszuwählen. Das Programm bietet viele Möglichkeiten, zusätzliche Informationen zur Unterstützung der Entscheidung zu erhalten (BÜCKMANN und VERSCHWELE, 2019). Grundsätzlich wird nach der Behandlung eine geringe Restverunkrautung, abhängig von der Unkrautart, toleriert. Aus Vorläuferprogrammen wie DSSHerbicide zeigt sich, dass der Ertrag dadurch nicht beeinträchtigt wird (SØNDERSKOV et al., 2015).

Die vorgestellten Ergebnisse der 1. Wirkungsbonitur, ca. 4 Wochen nach der Applikation, belegen die höchsten Wirkungsgrade in den regionalen Standard-Varianten. Dies gilt sowohl für Winterweizen als auch für Mais. In den Winterweizenversuchen waren die mittleren Wirkungsgrade der beiden DSS-Varianten, sicher und gewagt, um 7 bis 10 %-Punkte reduziert. Jedoch zeigten sich in einigen Versuchen auch Wirkungsgrade, die deutlich über 90 % lagen. Manche DSS-Vorschläge zur Bekämpfung der Verunkrautung erschienen ungewöhnlich und werden üblicherweise nicht in die Empfehlungen der amtlichen Pflanzenschutzberatung aufgenommen (BEHR, 2017). Trotz allem

waren die Wirkungen dieser Vorschläge zufriedenstellend. Der Anwender wird dazu angeregt, neben ortsüblichen und bekannten Tankmischungen auch Alternativvorschläge zu berücksichtigen und damit seine Bekämpfungsmöglichkeiten zu erweitern.

Die mittleren Wirkungsgrade der Winterweizenversuche von 86 % bzw. 83 % erscheinen auf den ersten Blick unbefriedigend. Für die Herbstbehandlungen in den Versuchen mit Winterweizen ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung in allen Varianten nach 4 Wochen aufgrund der niedrigen Temperaturen noch nicht voll entwickelt sein könnte. Eine Restverunkrautung ist wegen des zügigen Reihenschlusses gerade im Weizen für viele Unkrautarten aber tolerierbar und wirkt sich nicht ertragsmindernd aus (SØNDERSKOV et al., 2015), solange keine deutlichen Wirkungslücken gegen konkurrenzstarke Unkräuter wie *Galium aparine* u.a. auftreten. Die Abschlussbonitur kurz vor der Ernte zeigte in 90% der Versuchen und Varianten Wirkungsgrade, die sich in Richtung 99 % entwickelten (Ergebnisse nicht gezeigt).

In den Maisversuchen lagen die mittleren Wirkungsgrade in allen Varianten auf einem höheren Niveau als in den Winterweizenversuchen. Höhere Luft- und Bodentemperaturen zum Zeitpunkt der Applikation könnten sich positiv auf die Wirkung der Herbizide ausgewirkt haben. In den meisten Fällen reichte die einmalige Behandlung der Flächen aus. An manchen Standorten liefen zu einem späteren Zeitpunkt erneut Unkräuter auf, die in den Versuchen der Jahre 2017 und 2018 nicht bekämpft wurden. Das IPMwise eignet sich aber dazu, eine zweite Unkrautwelle ebenso zu behandeln. Es erfordert dann eine erneute Bestimmung und Eingabe der Verunkrautung ins Programm. Interne Tests belegen einen guten Erfolg einer zweiten Spritzung bei insgesamt niedrigen Behandlungsindices (Ergebnisse nicht gezeigt). Zukünftig wird IPMwise eine Funktion enthalten, die eine Planung von Spritzfolgen oder Splittings in Mais ermöglicht und geeignete Vorschläge errechnet.

Besonders niedrige Wirkungsgrade, die zwischen 60 % und 70 % lagen, durchliefen einen gesonderten Check und aufgetretene Fehler des Programms wurden, sofern möglich, behoben und die Nutzungssicherheit somit erhöht. Einzelne Ergebnisse können jedoch auch immer durch inkorrekte Anwendung des Programms, der Auswahl des geeigneten Bekämpfungsvorschlags (nicht standortangepasst) oder durch Fehler bei der Anwendung der Herbizide vor Ort auftreten und sind somit nur bedingt auf die Berechnung des Programms zurückzuführen. So können z. B. Bodenherbizide ihre Wirkung bei großer Trockenheit nicht voll entfalten. Witterungsverläufe sind nicht vorhersehbar und stellten insbesondere im trockenen Versuchsjahr 2018 ein Problem dar. Zudem können Bodeneigenschaften wie ein hoher Gehalt an organischer Substanz die Wirkung von Bodenherbiziden negativ beeinflussen (NORDMEYER, 2015). Ferner bleibt auch der festgesetzte Zeitpunkt der Wirkungsbonitur zu berücksichtigen, der für einzelne Versuche (je nach Witterung und Bodeneigenschaften) möglicherweise zu früh war für eine vollständige Wirkungsentwicklung der Herbizide. Grundsätzlich sind Fehler nicht immer als solche zu bewerten und können auch bei Standardbehandlungen auftreten. Sie sind vielmehr hilfreich, um das Programm zu verbessern (VERSCHWELE und BÜCKMANN, 2019). Abgesehen von den wenigen extremen Einzelwerten zeigt sich, dass hohe Wirkungsgrade mit niedrigeren Aufwandmengen erzielt werden können. Insgesamt werden die Ergebnisse positiv bewertet. Abgesehen von wenigen extremen Einzelwerten zeigen die Versuche, dass ein sicherer Unkrautregulierungserfolg auch bei stark reduzierten Aufwandmengen möglich ist, sofern es sich um sensitive Unkräuter handelt.

Der Behandlungsindex war erwartungsgemäß in fast allen DSS-Varianten deutlich niedriger als in der lokalen Standard-Variante, in welcher sich ein mittlerer Behandlungsindex von 1,61 im Winterweizen und von 1,72 im Mais bestimmt ergab. Beide Werte liegen unterhalb des mehrjährigen Niveaus für diese Kulturen in Deutschland und verdeutlichen eine verantwortungsvolle Vorgehensweise der Anwender (<https://papa.julius-kuehn.de/>). Das Programm schlägt aber nicht grundsätzlich niedrige Aufwandmengen der Herbizide vor. Bei einem starken Besatz insbesondere mit konkurrenzstarken Unkräutern wie z. B. *Galium aparine* werden die Aufwandmengen nach oben angepasst, wie ein Beispiel im Winterweizen verdeutlicht.

Die Bekämpfungsvorschläge richten sich immer nach den Wirkungszielen aller Unkräuter auf der Fläche, wodurch zwangsläufig einzelne Unkrautarten überproportional stark bekämpft werden. Sollten einzelne Unkrautarten bereits Resistenzen aufweisen, wie am Beispiel von *Alopecurus myosuroides* im Winterweizen, werden die Zielwirksamkeiten, die IPMwise berechnet, nicht erreicht. Inzwischen wurde eine Funktion zum Resistenzmanagement ins IPMwise eingepflegt (RYDAHL et al., 2019), jedoch noch nicht umfangreich getestet. Mit dieser Funktion können resistenzfördernde Herbizid-Gruppen (MoA) ausgeklammert werden. Die Bekämpfungsmöglichkeiten reduzieren sich entsprechend.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Validierungsversuche haben gezeigt, dass das DSS-Programm IPMwise Entscheidungshilfen für eine verlässliche Unkrautregulierung in Winterweizen und Mais liefert. Die erzielten Wirkungsgrade sind gleich hoch oder besser als die zu erwartenden Wirkungsziele des Programms. DSS- Vorschläge sind sowohl in Bezug auf die Kosten als auch auf die Behandlungsindices besser als die Standardbehandlungen und sind damit in ökologischer und ökonomischer Hinsicht ein geeignetes Instrument zur Unkrautbekämpfung.

Das IPMwise ist einfach in der Anwendung und für den Einsatz in der Praxis geeignet. Eine Herausforderung bleibt jedoch die visuelle Bestimmung der Verunkrautung im Feld, die insbesondere auf großen Flächen zeitaufwendig ist. Hier könnte zukünftig der Einsatz digitaler Bilderkennungsprogramme einen Vorteil darstellen. Auch eine Kombination mit digitalen Farm-Management-Systemen könnte die Entscheidungshilfe verbessern und die Flächenplanung erleichtern, indem z. B. Auflagen der Herbizide leichter berücksichtigt werden können.

Durch das mittlerweile abgeschlossene Projekt DSS-IWM konnte das Programm zur Entscheidungshilfe deutlich verbessert werden.

Danksagung

Der Dank gilt den Kollegen der amtlichen Pflanzenschutzdienste in Brandenburg, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Thüringen für die Durchführung von Validierungsversuchen und die vielen Diskussionen und Anregungen zur Verbesserung des Programms.

Das Projekt wurde von der Europäischen Union im Siebten Rahmenprogramm KBBE.2013.1.4-02 finanziert: Integrated Pest Management (IPM) - ERANET Co-ordination and Support Action, Grant Agreement No.: 618110

Literatur

- BÜCKMANN, H., A. VERSCHWELE, 2019: Einsparpotential für Herbizide – Die Internet-gestützte Entscheidungshilfe IPMwise zur integrierten Unkrautbekämpfung in Winterweizen und Mais – erste Erfahrungen aus der praxisnahen Anwendung. Landwirtschaft ohne Pflug LOP **3**, 26-29.
- BÜCKMANN, H., O.M. BØJER, J.M. MONTULL, M. RÖHRIG, P. RYDAHL, A. TABERNER, A. VERSCHWELE, 2018: DSS-IWM: An improved European Decision Support System for Integrated Weed Management. Julius-Kühn-Archiv **458**, 205-208.
- BEHR, K.-J., 2017: Persönliche Mitteilung.
[HTTP://DSS-IWM.JULIUS-KUEHN.DE/](http://DSS-IWM.JULIUS-KUEHN.DE/)
[HTTPS://NAP-PFLANZENSCHUTZ.DE/](https://NAP-PFLANZENSCHUTZ.DE/)
[HTTPS://PAPA.JULIUS-KUEHN.DE/](https://PAPA.JULIUS-KUEHN.DE/)
- JØRGENSEN, L.N., E. NOE, J.E. JENSEN, J.E. ØERUM, P. RYDAHL, 2007: Decision support systems: barriers and farmer's need for support. 2007 OEPP/EPPO, Bulletin OEPP/EPPO Bulletin **37**, 374-377.
- KUDSK, P., 2008: Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effects of herbicides. Environmentalist **28**, 49-55.
- MONTULL, J.M., M. SØNDERSKOV, P. RYDAHL, A. TABERNER, 2014: Four years validation of decision support optimising herbicide dose in cereals under Spanish conditions. Crop Protection **64**, 110-114.
- NORDMEYER, H., 2015: Herbicide application in precision farming based on soil organic matter. American Journal of Experimental Agriculture **8** (3), 144-151.
- RICHTLINIE 2009/128/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden, Amtsblatt der Europäischen Union L 309/71.

- RYDAHL, P., 2003: A web-based decision support system for integrated management of weeds in cereals and sugarbeet. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin **33**, 455-460.
- RYDAHL, P., O.M. BØJER, J.M. MONTULL, A. TABERNER, H. BÜCKMANN, A. VERSCHWELE, 2019: IPM-solutions from a generic Decision Support System (DSS) in Germany, Spain and Denmark, Crop Protection, submitted.
- SØNDERSKOV, M., R. FRITZSCHE, F. DE MOL, B. GEROWITT, S. GOLTERMANN, R. KIERZEK, R. KRAWCZYK, O.M. BØJER, P. RYDAHL, 2015: DSSHerbicide: Weed control in winter wheat with a decision support system in three South Baltic regions – Field experimental results. Crop Protection **46**, 15-23.
- STREIBIG, J.C., P. KUDSK, J.E. JENSEN, 1998: A general joint action model for herbicide mixtures. Pesticide Science **53**, 21-28.
- VERSCHWELE, A., K. –J. BEHR, K. GEHRING, K. HÜSGEN, E. MEINLSCHMIDT, C. TÜMMLER, 2018: Erfahrungen mit einem neuen Programm zum gezielten und reduzierten Einsatz von Herbiziden in Mais (DSS-IWM), Julius-Kühn-Archiv **458**, 186-188.
- VERSCHWELE, A., H. BÜCKMANN, 2019: Gezielt und sparsam Unkräuter in Mais bekämpfen - Ein neues internetbasiertes Programm zur Herbizidauswahl vor der Praxiseinführung. Mais **2**, 68-70.