

## Entwicklung und Anwendung einer Heuristik für flexible Herbizidentscheidungen in Fruchtfolgeversuchen

*Development and application of a heuristic for flexible decisions about herbicide use in crop rotation field experiments*

**Thomas Kunze\*, Friederike de Mol und Bärbel Gerowitz**

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Phytomedizin, Satower Straße 48, 18059 Rostock

\*Korrespondierender Autor, thomas.kunze@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.083

### Zusammenfassung

Zur Regulierung von Unkräutern im Ackerbau tragen langfristige strategische Maßnahmen wie die Gestaltung der Fruchtfolge, Düngung oder Bodenbearbeitung indirekt bei. Der Herbizideinsatz ist im Gegensatz dazu eine direkte und kurzfristige taktische Maßnahme. Strategische und taktische Entscheidungen wirken immer zusammen und beeinflussen die Messgrößen Unkrautbesatz und Herbizidaufwand. Im Rahmen dieser Studie werden Auswirkungen strategischer und taktischer Entscheidungen bei der Unkrautbekämpfung in Kombination untersucht. Dieser Beitrag erläutert die Entwicklung einer Heuristik für Bekämpfungsentscheidungen, die auf unterschiedliche Verunkrautungen angewendet werden kann. Unter Berücksichtigung der Unkrautdichte und artspezifischer Verlustfaktoren werden flexible Herbizidentscheidungen für situationsbezogene Verunkrautungen und einer vorgegebenen Herbizidintensität abgeleitet. Die Umsetzung in einem Fruchtfolgeversuch an den Standorten Rostock und Göttingen in der Fruchtart Winterweizen wird als Beispiel gezeigt. Die Herbizidintensität soll in drei Stufen (hoch, mittel und niedrig) kontrastierende Bekämpfungsziele von 100 %, 85 % und 60 % erreichen. Die entwickelte Heuristik ermöglicht reproduzierbare Entscheidungen bei unterschiedlichen Verunkrautungen. Erste Ergebnisse zeigen eine Abnahme des Herbizideinsatzes durch eine Reduzierung des Wirkstoffeinsatzes von der hohen zur niedrigen Herbizidintensität.

**Stichwörter:** Herbizideinsatz, strategische und taktische Entscheidungen, Unkrautbesatz, Winterweizen

### Abstract

Weeds in agriculture are controlled indirectly by strategic management tools (crop rotation, fertilization, tillage). Herbicide use is a direct tactical management tool for weed control. However, strategic and tactical measures interact together regarding weed management and thereby influence weed infestations and herbicide use. This study investigated the impact of strategic and tactical decisions in combination. It describes the development of a heuristic, which can be applied for different weed situations. By considering weed densities and species specific loss factors flexible herbicide decisions are derived for specific weed infestations and a given herbicide intensity. The implementation of decisions based on the heuristic is shown as an example for winter wheat crops in a rotation experiment at the study sites Rostock and Göttingen (Germany). The intensity of herbicide use serves for contrasts with three degrees (high, medium and low) representing three levels of target efficacy (100%, 85% and 60%). The introduced heuristic enables reproducible decisions for various weed infestations. First results show reduced herbicide use from high to the low level of herbicide intensity in terms of reduced numbers of active ingredients use.

**Keywords:** Herbicide use, strategic and tactical decisions, weed infestation, winter wheat

### Einleitung

Unkräuter können im Ackerbau mit ganz verschiedenen Instrumenten reguliert werden. Pflanzenbauliche Maßnahmen wie die Gestaltung der Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Düngung werden dabei in der Regel nicht direkt und maßgeschneidert für die Unkrautbekämpfung angewendet, sondern sind Teil der strategischen Planung des gesamten Anbausystems (ANDERSON, 1999; BUHLER, 2003). Nichtsdestotrotz beeinflussen sie die tatsächliche Unkrautsituation im Feld massiv. Insbesondere die Gestaltung der Fruchtfolge ändert die Unkrautartenzusammensetzung und längerfristig auch die Dichten der Arten (BUHLER, 2003). Ungeachtet dieses traditionellen und bewährten Wissens werden in der agrarischen Praxis die

Fruchtfolgen immer stärker verkürzt, Selbstfruchtfolgen oder Fruchtfolgen mit zwei Feldfrüchten sind keine Seltenheit (STEINMANN und DOBERS, 2013). Fruchtfolgen, die nur aus Winterungen oder nur aus Sommerungen bestehen, fördern das Auftreten von Unkrautarten, die gut an die daraus resultierenden Bedingungen angepasst sind (ULBER *et al.*, 2009). Das Vorherrschen solcher gut angepasster Arten erhöht meistens den direkten Bekämpfungsaufwand (TORRA *et al.*, 2008). Entscheidungen zur Fruchtfolgegestaltung sind klassische strategische Entscheidungen beim Management pflanzenbaulicher Anbausysteme. Strategische Entscheidungen betreffen Maßnahmen mit langfristigen Auswirkungen. Sie müssen komplexe Zusammenhänge berücksichtigen und sind in einer Anbauperiode schwer anpassbar oder gar revidierbar.

In der konventionellen landwirtschaftlichen Praxis werden Unkräuter mit Herbiziden bekämpft. Im Gegensatz zur Fruchtfolgegestaltung ist Herbizideinsatz eine direkte Bekämpfungsmaßnahme, die nur auf Unkräuter abzielt und auch immer unmittelbare Folgen für diese hat. Herbizide können maßgeschneidert für die jeweilige Situation eingesetzt werden. Herbizidmaßnahmen sind klassische taktische Maßnahmen: sie wirken zunächst kurzfristig und mit ihnen kann in der laufenden Anbauperiode justiert werden. Ob Taktiken zum Herbizideinsatz in einer Anbauperiode weitgehend fest geplant oder flexibel angepasst werden, entscheidet sich in der agrarischen Praxis zumeist auf Betriebsebene (BÜRGER *et al.*, 2012).

Strategische und taktische Entscheidungen wirken im letztendlichen Ergebnis selbstverständlich zusammen. Sie beeinflussen einerseits die Messgröße „Verunkrautung“, andererseits aber auch die Messgröße „Herbizideinsatz“. Beide Messgrößen können berücksichtigt werden, wenn das Zusammenwirken von strategischen und taktischen Entscheidungen in der Unkrautbekämpfung untersucht werden soll.

In der Unkrautforschung werden Fruchtfolgeversuche durchgeführt, um das Potenzial der Fruchtfolgegestaltung für die Unkrautregulierung zu testen (CHIKOWO *et al.*, 2009). In der Regel wird auch eine Unkrautbekämpfung durchgeführt. Dazu werden alle Fruchtfolgefelder mit einer standardisierten, über den Versuchszeitraum möglichst gleichbleibenden, zu Versuchsbeginn festgelegten Unkrautbekämpfung versehen - der Herbizideinsatz ist also nicht maßgeschneidert, sondern folgt einer bis in die einzelnen Präparate festgeschriebenen Taktik (FORTINO *et al.*, 2010). Mess- und Vergleichsgrößen für die Veränderungen über die Zeit sind dann die Erträge der Varianten und der Unkrautbesatz (PALLUTT und MOLL, 2008).

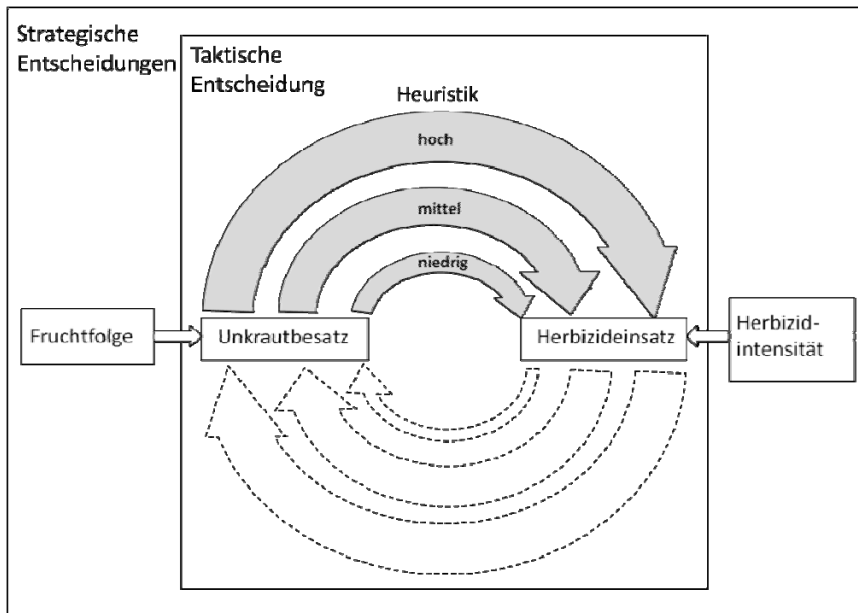
Soll das Wechselspiel zwischen strategischer Fruchtfolgegestaltung und taktisch darauf abgestimmtem Herbizideinsatz untersucht werden, ist es eine methodische Herausforderung, diese gegenseitige Beeinflussung in einem Versuchsdesign umzusetzen. Dafür ist es sinnvoll, nicht nur die gemessene Verunkrautung als Ergebnis der eingesetzten Herbizide zu betrachten, sondern die Analysen auch umgekehrt zu planen: welcher Herbizideinsatz resultiert aus den sich ändernden Verunkrautungen. Dies wird umso wichtiger, je länger der Betrachtungszeitraum für die Wirkungen von Fruchtfolgen auf die Verunkrautung wird. Abbildung 1 greift dies auf und verdeutlicht schematisch die Zusammenhänge.

Im Rahmen eines Fruchtfolgeversuchs an zwei Standorten sind diese Analysen geplant. Dafür werden die Auswirkungen strategischer und taktischer Entscheidungen bei der Unkrautbekämpfung in Kombination untersucht. Die Unkrautbekämpfungsintensität kann allerdings auch unabhängig von der Fruchtfolge variiert werden. Ex ante gibt es keinen Anhaltspunkt, welche Intensität die „richtige“ ist. Abbildung 1 verdeutlicht dies durch verschiedene Herbizidintensitäten bei der strategischen Planung, die die taktischen Entscheidungen zusammen mit der Fruchtfolge bestimmen.

In der Versuchsplanung müssen diese zu untersuchenden Herbizidintensitäten langfristig festgelegt werden, deswegen repräsentieren sie eine Strategie, analog zur Fruchtfolge. Die Herbizidintensität ist in dem Fruchtfolgeversuch dreimal abgestuft (Abb. 1). Diese Stufen sind durch Zielwirkungsgrade in den Varianten, nicht durch feste Herbizideinsätze definiert. Der in den verschiedenen Fruchtfolgen resultierende flexible Herbizideinsatz wird dann als Messgröße für die

notwendige Intensität der taktischen Regulierung genutzt, um die Fruchtfolgen vergleichen zu können. Eine zwingende Voraussetzung dafür ist es, taktische Unkrautbekämpfungsentscheidungen abgestimmt, in sich logisch und reproduzierbar zu gestalten. Da taktische Entscheidungen schnell und mit gegebenenfalls unzureichenden Informationen getroffen werden müssen, bedarf es einer Heuristik für diese Entscheidungen. Mit Hilfe der Heuristik wird für jeden Zielwirkungsgrad eine konkrete Herbizidtaktik abgeleitet.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Heuristik, die zu reproduzierbaren Entscheidungen bei den unterschiedlichsten Verunkrautungen führt. Am Beispiel der Fruchtfolgefelder Winterweizen eines Fruchtfolgeversuchs wird das heuristische Vorgehen dargestellt.



**Abb. 1** Umsetzung von strategischen und taktischen Entscheidungen im Fruchtfolgeversuch.

**Fig. 1** Implementation of strategic and tactical decisions in the crop rotation experiment.

## Material und Methoden

### Entwicklung der Heuristik

Die zu entwickelnde Entscheidungsregel soll auf erhobenen Daten zur Verunkrautung beruhen. Unkrautbekämpfungstermine, an denen noch keine Unkräuter aufgelaufen sind, werden deshalb in der Heuristik nicht berücksichtigt.

Entwicklung und Zustand der Kultur sollen den Zeitpunkt der Anwendung der Heuristik bestimmen, nicht aber ihr Ergebnis. Das Ergebnis muss im ersten Schritt von den Unkrautarten, den Dichten der einzelnen Arten und dem daraus entstehenden Schadenspotenzial abgeleitet werden. Im Weiteren sollen innerhalb von Bekämpfungintensitäten Herbizidtaktiken für unterschiedliche Ausgangsverunkrautungen reproduzierbar abgeleitet werden, um sie dann in konkrete Herbizideinsätze umsetzen zu können.

Ausgangspunkt für den ersten Schritt ist immer eine Liste aller vorkommenden Unkrautarten mit ihren jeweiligen Dichten.

Um das Schadenspotenzial der vorhandenen Dichten abschätzen zu können, werden artspezifische Verlustfaktoren benötigt. Von WERNER *et al.* (2004) wurden verfügbare Daten zu

verursachten Verlusten durch verschiedene Unkrautarten im Winterweizen zusammengestellt. Darüber hinaus erarbeiteten die Autoren einen Algorithmus, um mit Hilfe von artspezifischen Merkmalen, für Arten, zu denen in der Literatur keine Angaben zu den verursachten Verlusten zu finden waren, Verlustfaktoren zu interpolieren. Die Verlustfaktoren berücksichtigen nur Ertragsverluste, die durch Konkurrenz entstehen. Wir wenden die Verlustfaktoren linear für die Unkrautarten an, um die Ertragsrelevanz der Art im Vergleich zu anderen Arten einschätzen zu können.

Aus artspezifischen Dichten und artspezifischen Verlustfaktoren wird die artspezifische Verlustrelevanz multipliziert. Die potenziellen artspezifischen Verluste werden für alle in der jeweiligen Situation erfassten Unkrautarten rangiert, kumuliert und als Relativanteil am potenziellen Gesamtverlust ausgedrückt.

Für den zweiten Schritt, Bekämpfungsintensitäten für unterschiedliche Ausgangsverunkroutungen reproduzierbar festzulegen, wird der Relativanteil des Gesamtverlusts bestimmt, den der Herbizideinsatz verhindern soll. Dieser Relativanteil ist das Bekämpfungsziel. Dieser kann auf die rangierte und kumulierte Liste der relativen Verluste für die spezifische Situation projiziert werden. Das Bekämpfungsziel teilt die Arten auf der kumulierten Liste ein in solche, die bekämpft werden müssen und solche, die um dieses Bekämpfungsziel zu erreichen, nicht bekämpft werden müssen. Die Rangierung gewährleistet, dass immer zunächst die Arten mit den höchsten prognostizierten Verlustanteilen bei der Entscheidung berücksichtigt werden.

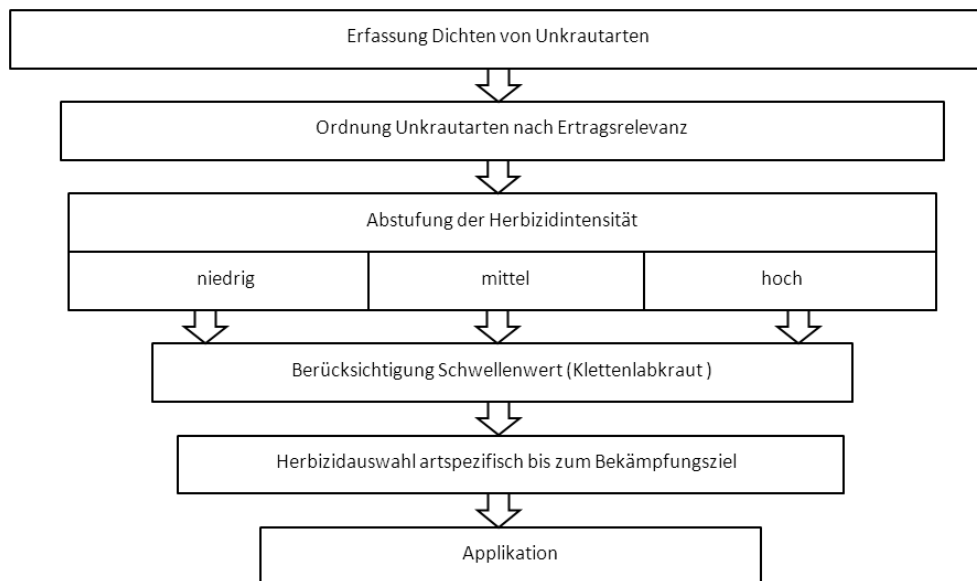
An dieser Stelle muss in der Heuristik berücksichtigt werden, dass nicht alle Unkrautarten in ihrer Schadwirkung hinreichend durch die Verlustfaktoren beschrieben sind. Im Winterweizen betrifft dies vor allem das Klettenlabkraut: die Art verursacht Verluste durch Erhöhung von Unkrautsamen im Erntegut (= Schwarzbesatz) sowie technologische Verluste bei der Ernte, die deutlich über die Ertragsverluste durch Konkurrenz hinausgehen (GEROWITT, 1992; WERNER *et al.*, 2004). Gelangt diese Art in der rangierten Liste der relativen Verluste nicht unter die Arten, die für das Bekämpfungsziel relevant sind, muss sie trotzdem bei der Bekämpfungsentscheidung berücksichtigt werden. Hierfür wird die Art zusätzlich mit Hilfe eines festen Schwellenwerts für ihre sonstigen Verluste (0,1 Pflanzen/m<sup>2</sup>) in der Rangierung so modifiziert, dass beim Überschreiten des Schwellenwertes immer die Entscheidung zu bekämpfen ausgelöst wird.

In der Heuristik ist jetzt festgelegt, welche Arten in der spezifischen Situation bekämpft werden müssen, um das gewählte Bekämpfungsziel zu erreichen. In einem letzten Schritt muss dieses „Verlustverhinderungsziel“ nun in eine konkrete Herbizidentscheidung umgesetzt werden. Dazu werden zunächst Herbizide gesucht, die die Unkrautarten mit den höchsten prognostizierten Ertragsverlusten mit der besten Wirksamkeit bekämpfen, je nach Höhe des relativen Verlustanteils der folgenden Unkräuter werden dann Herbizide ergänzt bis das jeweilige Bekämpfungsziel erreicht ist. Die Wirksamkeit der verschiedenen Handelspräparate wird Berichten und Empfehlungen von Landespflanzenschutzdiensten und Fachzeitschriften entnommen. Dabei wird i.d.R. auf Tabellen zurückgegriffen, in denen die Handelspräparate mit Hilfe von abgestuften Wirksamkeiten eingeschätzt werden (die sogenannten „Kreuzchentabellen“). Präparate mit der höchsten Wirksamkeit (ausgewiesen mit drei bis vier Kreuzchen) werden gemäß der gewählten Herbizidintensität gegen bekämpfungswürdige Unkräuter eingesetzt. Handelspräparate, deren Wirkstoffe eine über das gewählte Bekämpfungsziel hinausgehende Wirkung verursachen würden, werden möglichst vermieden. Dennoch können Unkrautarten außerhalb des Bekämpfungsziels durch Mischungspartner mit erfasst werden.

Dieses Vorgehen bei der Entscheidungsfindung kann dazu führen, dass Situationen mit einem hohen Bekämpfungsziel danach verlangen mehr Wirkstoffe einzusetzen. Andererseits können viele zu bekämpfende Unkrautarten auch dazu führen, dass mehr Wirkstoffe eingesetzt werden müssen, um das Bekämpfungsziel zu erreichen.

### Anwendung im Versuch

In diesem Beitrag wird die beschriebene Heuristik in zwei Fruchtfolgeversuchen, in denen gleichzeitig der Herbizideinsatz reproduzierbar variiert werden soll, angewendet.



**Abb. 2** Vorgehensweise bei der Anwendung der Heuristik im Versuch.

**Fig. 2** The procedure of application the heuristic in the experiment.

Die Fruchtfolgeversuche sind an den Standorten Rostock und Göttingen seit 2008 bzw. 2009 angelegt. Es werden Fruchtarten angebaut, die als Energiepflanzen eingesetzt werden können. Jede Kultur wird in jedem Jahr angebaut, d. h. es sind echte Fruchtfolgeversuche. An beiden Versuchsstandorten sind die Fruchtarten Mais, Winterraps und Winterweizen in vier verschiedenen Fruchtfolgen so kombiniert, dass agronomische geeignete Anbaufolgen mit phytomedizinisch unterschiedlichen Risiken entstehen. Die Fruchtfolgen (1) Maismonokultur, (2) Winterraps-Winterweizen, (3) Winterraps-Mais-Winterweizen, (4) Winterraps-Winterweizen-Mais-Winterweizen werden untersucht. Die Versuche sind im Split-Plot-Design angelegt, d. h. die Fruchtfolgen liegen im Split und innerhalb darin sind die verschiedenen Behandlungsvarianten mit Herbiziden im Plot angelegt. Weitere Angaben zu den Versuchen und Standorten finden sich bei FLUCKE *et al.* (2014).

In Abbildung 2 ist die beschriebene Heuristik für das Vorgehen bei der Herbizidauswahl in den Behandlungsvarianten des Versuchs dargestellt.

Basis für die Entscheidungen sind die Dichten der erfassten Unkräuter und -gräser. Diese werden vor jeder Herbizidapplikation im Herbst und im Frühjahr bestimmt. Die Kultur befindet sich bei der Erfassung stets in einem günstigen Entwicklungsstand für eine eventuelle Herbizidapplikation. Die Aufnahmen erfolgen mit Hilfe eines „Göttinger Zähl- und Schätzrahmens“ von 0,1 m<sup>2</sup> Größe an zehn zufällig in der Parzelle (Göttingen - 8 m \* 7,5 m, Rostock - 6 m \* 6 m) verteilten Messwertwiederholungen.

Der Einsatz an Herbiziden wird in drei verschiedenen Herbizidintensitäten (niedrig, mittel und hoch) festgelegt – diese sind die Bekämpfungsziele in der beschriebenen Heuristik. Eine hohe Herbizidintensität hat das Bekämpfungsziel von 100 %, eine mittlere von 85 % und eine niedrige von 60 %.

## Ergebnisse

Im Folgenden wird die beschriebene Heuristik beispielhaft auf drei Winterweizenversuchsglieder der Anbauperiode 2012/13 angewendet. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse für die drei Bekämpfungsziele 100 %, 85 % und 60 % dar.

**Tab. 1** Anwendungen der Heuristik bei unterschiedlichen Herbizidintensitäten [a] hoch, b) mittel, c) niedrig] im Winterweizen. Bezeichnungen von Unkrautarten bzw. Gattungen folgen dem EPPO-Code. (Bekämpfungsziel = BZ, **fett** = Arten, die für Herbizidintensität a), b), c) zu bekämpfen sind).

**Tab. 1** Application example of heuristic with different herbicide intensities [a] high, b) medium, c) low] in winter wheat. Weed species respectively weed genera are given by EPPO-codes. (control target = BZ, **bold** = species, which control in herbicide intensity a), b), c)).

Unkrautart	Pflanzen/m <sup>2</sup>	Verlustfaktor	Verlust/Art	kumulierter Verlust	kumulierter Gesamtverlust	
a)						
<b>GALAP</b>	6,3	1,50000	9,4500	9,4500	67,9	
<b>STEME</b>	14,8	0,23787	3,5205	12,9705	93,2	
<b>VIOAR</b>	4,8	0,10572	0,5075	13,4780	96,8	
<b>MATSS</b>	1,8	0,15858	0,2854	13,7634	98,9	
<b>PAPRH</b>	1,8	0,07048	0,1268	13,8902	99,9	
<b>VERSS</b>	0,3	0,07048	0,0211	13,9113	100,0	BZ 100 %
b)						
<b>GALAP</b>	8,5	1,50000	12,750	12,7500	81,7	BZ 85 %
<b>STEME</b>	7,5	0,23787	1,7840	14,5340	93,2	
VERSS	8,0	0,07048	0,5638	15,0978	96,8	
PAPRH	4,5	0,07048	0,3171	15,4149	98,8	
VIOAR	1,0	0,10572	0,1057	15,5206	99,5	
MATSS	0,5	0,15858	0,0793	15,5999	100,0	
c)						
<b>GALAP</b>	6,8	1,50000	10,2000	10,2000	75,2	BZ 60 %
STEME	9,8	0,23787	2,3311	12,5311	92,4	
VIOAR	4,0	0,10572	0,4228	12,9539	95,5	
PAPRH	5,0	0,07048	0,3524	13,3063	98,1	
MATSS	1,5	0,15858	0,2378	13,5441	99,8	
VERSS	0,3	0,07048	0,0211	13,5652	100,0	

Die hohe Herbizidintensität (Tab. 1a) strebt ein Bekämpfungsziel von 100 % an. Dadurch wird eine Bekämpfung der Unkrautarten Klettenlabkraut (*Galium aparine*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*), Kamillearten (*Matricaria spp.*), Klatschmohn (*Papaver rhoeas*) und Ehrenpreisarten (*Veronica spp.*) notwendig. Mit 93,2 % wird der höchste Anteil des kumulierten Gesamtverlusts durch Klettenlabkraut und Vogelmiere verursacht (Tab. 1a).

Die mittlere Herbizidintensität erfordert eine Bekämpfung der Unkrautarten Klettenlabkraut und Vogelmiere, um somit ein Bekämpfungsziel von 85 % zu erreichen. Klettenlabkraut besitzt in der mittleren Herbizidintensität mit 81,7 % den höchsten Relativanteil am kumulierten Gesamtverlust (Tab. 1b).

In der niedrigen Herbizidintensität ist das Klettenlabkraut das einzige Unkraut, dass aufgrund des Bekämpfungsziels von 60 % und einem zusätzlichen Schwellenwert von 0,1 Pflanzen/m<sup>2</sup> bekämpft werden muss (Tab. 1c).

Die konkrete Auswahl der Herbizide richtet sich nach den Bekämpfungszielen der verschiedenen Herbizidintensitäten. Bei der hohen Herbizidintensität (Tab. 1a) wurde aufgrund vieler zu bekämpfender Unkrautarten die Wirkstoffe Pyroxulam, Florasulam und Cloquintocet-mexyl eingesetzt. Die Wirkstoffe Fluroxypyr und Florasulam kamen bei der mittleren Herbizidintensität zum Einsatz (Tab. 1b). In der niedrigsten Herbizidintensität wurde das Klettenlabkraut mit Florasulam bekämpft (Tab. 1c).

Um die mit Hilfe der Heuristik abgeleiteten Herbizideinsätze zusammenfassend zu beurteilen, können Wirkstoffhäufigkeiten, die durch die Herbizidtaktiken entstehen, genutzt werden. Die Wirkstoffhäufigkeit ist die Anzahl eingesetzter Wirkstoffe unabhängig von den Herbiziden. Tabelle 2 enthält die Wirkstoffhäufigkeiten aller eingesetzten Herbizide (Herbst-/Frühjahrsbehandlungen) in den verschiedenen Herbizidintensitäten im frühen und späten Winterweizen (WWf und WWs) am Versuchsstandort Rostock und Göttingen (Anbauperiode 2012/13).

Mit Hilfe der Heuristik waren an beiden Versuchsstandorten die Wirkstoffhäufigkeiten in den Herbizidintensitäten von hoch zu niedrig abgestuft. Auffallend ist eine höhere Wirkstoffhäufigkeit am Standort Rostock sowie im früh gesäten Winterweizen an beiden Standorten. Diese Häufigkeit der angewendeten Wirkstoffe resultiert aus einer zusätzlichen Herbstbehandlung.

**Tab. 2** Wirkstoffhäufigkeiten in den Herbizidintensitäten (hoch, mittel und niedrig) im früh und spät gesäten Winterweizen an den Standorten Göttingen und Rostock (Anbauperiode 2012/13). WWf = früh gesäter Winterweizen, WWs = spät gesäter Winterweizen.

**Tab. 2** Frequency of active ingredients of the herbicide intensities (high, medium and low) in early and late sown winter wheat at the trial locations Göttingen and Rostock (cropping period 2012/13). WWf = early sown winter wheat, WWs = late sown winter wheat.

Standort	Kultur	Herbizidintensität		
		hoch	mittel	niedrig
Rostock	WWf	12	8	7
	WWs	6	4	2
Σ Wirkstoffe Rostock		18	12	9
Göttingen	WWf	10	6	4
	WWs	6	4	2
Σ Wirkstoffe Göttingen		16	10	6
Σ Wirkstoffe gesamt		34	22	15

## Diskussion

Ausgangspunkt für diesen Beitrag sind Versuche, in denen der Einfluss von Fruchtfolgen sowohl auf die Verunkrautung als auch auf den für deren Bekämpfung angemessenen Herbizideinsatz untersucht wird. Da die Fruchtfolge im Zeitablauf die Verunkrautung verändert, muss hierauf in

den konkreten Herbizidentscheidungen flexibel reagiert werden. Im Versuch werden die Herbizidstrategien mit Hilfe von drei Bekämpfungszielen variiert.

Die hier vorgestellte Heuristik mussten wir entwickeln, weil wir auf keine vergleichbare, erläuterte Entscheidungsregel zum flexiblen Herbizideinsatz in der Literatur zurückgreifen können.

PALLUTT und MOLL (2008) beschreiben einen Versuch mit zwei Fruchtfolgen, in dem der Herbizideinsatz in zwei Taktiken variiert wird. Die Herbizidtaktik erfolgt in einer Variante durch eine situationsbezogene Dosierung und Mittelwahl, d. h. die Herbizide werden flexibel eingesetzt. In der anderen Variante wird diese Taktik nach einem festen Muster variiert, in dem jeweils 50 % der Aufwandmenge eingesetzt werden. Die Herbizidtaktiken bei PALLUTT und MOLL (2008) werden also nicht durch ein quantifiziertes Bekämpfungsziel bestimmt, sondern sind „situationsbezogen“ und „halbe Aufwandmenge von situationsbezogen“. PALLUTT und MOLL (2008) können in diesem Fruchtfolgeversuch die Wirkung der eingesetzten Herbizide auf die Verunkrautung untersuchen, nicht vice versa.

Um diese Wirkung auch vice versa untersuchen zu können, setzen wir die Heuristik ein. Ausgangspunkt ist immer die Kenntnis der aktuellen Verunkrautung. Die für die Gewichtung der Ertragsrelevanz verschiedener Unkrautarten genutzten Verlustfaktoren entstammen zwar einem nicht-linearen Modellansatz (WERNER *et al.*, 2004) für die Prognose von Ertragsverlusten durch Unkräuter, werden aber hier wie in einem linearen Ansatz genutzt. Insofern erfolgt keine biologisch relevante Prognose der unkrautbedingten Verluste. Vielmehr ermöglichen es die Verlustfaktoren, die Unkrautarten nach ihren Schadpotenzialen zu rangieren und diese Rangierung für den Abgleich mit dem Bekämpfungsziel in den verschiedenen Herbizidintensitäten zu nutzen. Versuchsglieder, deren flexible Herbizidtaktik „keine Bekämpfung“ lautet, sind möglich - allerdings nur bei den Bekämpfungszielen 85 % und 60 %.

Die Variation des Bekämpfungsziels durch einen Wirkungsgrad gegenüber der gesamten gemessenen Verunkrautung erfolgt in der vorgestellten Heuristik in der Form, dass für häufige oder wichtige Arten eine volle Wirkung anvisiert wird, während für andere möglichst keine Wirkung gewünscht ist. Prinzipiell wäre auch eine Intensitätsreduktion möglich, in dem für alle Arten leicht verringerte Wirkungen anvisiert werden. Dafür müssten allerdings für alle eingesetzten Handelspräparate Informationen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung vorliegen. Dies ist in Deutschland nicht der Fall. Aus diesem Grund scheidet diese zweite Möglichkeit einer reproduzierbaren flexiblen Intensitätsreduktion in Feldversuchen aus. Das gewählte Vorgehen wird zudem voraussichtlich stärker in die Artenzusammensetzung in den Versuchsgliedern eingreifen. Wenig häufige Arten mit niedrigerer Verlustrelevanz können sich zu Lasten von häufigen mit hoher Verlustrelevanz so lange etablieren, bis sie ihrerseits die Herbizidwahl bestimmen.

Für den Schritt von den jeweils zu bekämpfenden Unkrautarten in den Herbizidintensitäten zu einer konkreten Herbizidentscheidung werden Wirkungsspektrum und Wirkungsgrade von Handelspräparaten berücksichtigt. Die Herbizidauswahl ist dabei nicht immer eindeutig vorgegeben, da sich viele Herbizide in den genannten Kriterien decken. Zusätzliche Schwierigkeiten entstehen durch Wirkstoffkombinationen.

Wir nutzen hier die Anzahl eingesetzter Wirkstoffe um die Ergebnisse der Herbizidentscheidungen zusammenfassend darzustellen. Als alleiniges Merkmal erscheint die Wirkstoffhäufigkeit für die deskriptive Analyse der Herbizidentscheidungen noch nicht ausreichend. Weitere Wege zur Kontrolle und Ergebnisdarstellung von Entscheidungen nach der Heuristik werden geprüft (z.B. Behandlungsindex, Kosten). Die entwickelte Heuristik wird außerdem für Raps und Mais, als den weiteren Versuchsfeldfrüchten, weiterentwickelt. Für Raps werden Verlustrelevanzen ebenfalls bei WERNER *et al.* (2004) entnommen, für Mais müssen Werte aus verschiedenen Quellen zusammengestellt werden.

Untersuchungen von MACÉ *et al.* (2007) zeigen, dass Landwirte bei der Unkrautbekämpfung unterschiedliche Ziele in verschiedenen Zeithorizonten (taktisch, strategisch und operational)



verfolgen. Durch Kombination und Zusammenwirken von strategischen und taktischen Maßnahmen kann eine optimale Unkrautbekämpfung erreicht werden (TORRA *et al.*, 2008). Ziel unserer Feldversuche ist es, strategische und taktische Entscheidungen zur Unkrautbekämpfung in ihrem Zusammenwirken beurteilen zu können. In diesem Beitrag ist die Heuristik beispielhaft für ein Anbaujahr des Winterweizens beschrieben, um sie in dem Fruchtfolgeversuch anzuwenden. Dazu werden entsprechende Heuristiken auch für Mais und Raps entwickelt und eingesetzt. Im Weiteren stehen vier Fruchtfolgen, in denen jeweils drei Herbizidintensitäten umgesetzt werden, an den zwei Standorten zur Verfügung. In den Versuchsgliedern verändert sich sukzessive die Verunkrautung und darauf aufbauend die mit Hilfe der Heuristik abgeleitete konkrete Herbizidtaktik. Unsere Auswertungen werden klären, zu welchen Anteilen Fruchtfolgen und Herbizidstrategien die Herbizidtaktiken über die Zeit bestimmen und wie diese Taktiken gestaltet sind. Es versteht sich von selbst, dass die Entwicklung der Unkrautbestände Co-Variable in diesem Prozess sein muss.

## Literatur

- ANDERSON, R. L., 1999: Cultural Strategies Reduce Weed Densities in Summer Annual Crops. *Weed Technol.* **13**, 314-319.
- BUHLER, D. D., 2003: Weed Biology, Cropping Systems, and Weed Management. *J. Crop Prod.* **8** (1-2), 245-270.
- BÜRGER, J., A. GÜNTHER, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2012: Analysing the influence of crop management on pesticide use intensity while controlling for external sources of variability with Linear Mixed Effects Models. *Agr. Syst.* **111**, 13-22.
- CHIKOWO, R., V. FALOYA, S. PETIT, und N. M. MUNIER-JOLAIN, 2009: Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agric. Ecosyst. Environ.* **132**, 237-242.
- FLUCKE, C., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2014: Zum Einfluss der Fruchtfolge auf die Abundanzen künstlich etablierter Unkrautarten in zwei Feldversuchen. *Julius-Kühn-Archiv* **443**.
- FORTINO, G., L. GUICHARD, E. LÖ-PELZER, R. REAU, M. VALANTIN-MORISON, X. PINOCHET und N. M. MUNIER-JOLAIN, 2010: Redesigning cropping systems in three French regions. From Science to field, Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 2, ENDURE diversity crop protection, European Commission's Sixth Framework Programme.
- GEROWITT, B., 1992: Dreijährige Versuche zur Anwendung eines computergestützten Entscheidungsmodells zur Unkrautbekämpfung nach Schadensschwellen im Winterweizen. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XIII*, 301-310.
- MACÉ, K., P. MORLON, N. M. MUNIER-JOLAIN und L. QUÉRE, 2007: Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops. *Agr. Syst.* **93**, 115-142.
- PALLUTT, B. und E. MOLL, 2008: Langzeitwirkungen reduzierter Herbizidaufwandmengen auf Verunkrautung und Kornertrag von Wintergetreide in einem 12jährigen Dauerversuch. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XXI*, 501-508.
- STEINMANN, H.-H. und E. S. DOBERS, 2013: Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *J. Plant Dis. Protect.*, **120** (2), 85-94.
- TORRA, J., J. L. GONZALEZ-ANDUJAR und J. RECASENS, 2008: Modelling the population dynamics of *Papaver rhoeas* under various weed management systems in a Mediterranean climate. *Weed Res.* **48**, 136-146.
- ULBER, L., H.-H. STEINMANN, S. KLIMEK und J. ISSELSTEIN, 2009: An on-farm approach to investigate the impact of diversified crop rotations on weed species richness and composition in winter wheat. *Weed Res.* **49**, 534-543.
- WERNER, B., F. DE MOL und B. GEROWITT, 2004: Schadprognosen und Bekämpfungsempfehlungen für Unkräuter in Raps und Getreide mit CeBrUs. *J. Plant Dis. Protect., Special Issue XIX*, 981-988.