

## Verantwortungsvoller Umgang mit herbiziden Wirkstoffen hinsichtlich des Gewässerschutzes im Winterraps

*Responsible handling with herbicides regarding water protection in winter rape*

**Katrin Ewert<sup>1\*</sup>, Christine Tümmler<sup>2</sup>, Ewa Meinlschmidt<sup>3</sup>, Elke Bergmann<sup>4</sup>, Heiko Schmalstieg<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Apoldaer Straße 4, 07774 Dornburg-Camburg

<sup>2</sup>Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Steinplatz 1, 15806 Zossen

<sup>3</sup>Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

<sup>4</sup>Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg

<sup>5</sup>Pflanzenschutzamt Berlin, Mohriner Allee 137, 12347 Berlin

\*Korrespondierende Autorin, [katrin.ewert@tllr.thueringen.de](mailto:katrin.ewert@tllr.thueringen.de)

DOI 10.5073/jka.2020.464.068



### Zusammenfassung

Die bisher in der Praxis dominierende einmalige Herbizidanwendung im Voraufbau entspricht nicht den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes. Zu diesem Zeitpunkt lässt sich die schlagbezogene Unkrautsituation nicht abschätzen und Möglichkeiten einer Anpassung der Aufwandmengen der Herbizide sind sehr eingeschränkt. Aus diesem Grund wurde ein mehrstufiges integriertes Unkraut-Bekämpfungskonzept entwickelt, welches die zielgerichtete Anwendung der Nachaufbauherbizide stärker in den Fokus rückt. Mit diesem hier vorgestellten Konzept wird das Belastungsrisiko für Gewässer nach der Ausbringung von Herbiziden durch Wirkstoffaustrag und Abschwemmung reduziert. Es können eine Vielzahl bedeutender Rapsunkräuter gut kontrolliert werden. Im Rahmen eines gemeinsamen Versuchsprogramms der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurden auf 139 Standorten im Zeitraum von 2010 – 2019 Versuche zur Unkrautbekämpfung im Winterraps im Sinne des mehrstufigen integrierten Unkraut-Bekämpfungskonzeptes durchgeführt. Die Versuchsergebnisse belegen, dass auf einem Fünftel der Winterrapsfläche die Notwendigkeit bestand, die vollen Aufwandmengen zu applizieren. Die Prüfung der Wirksamkeit von Varianten mit reduzierten Metazachlormengen bzw. Metazachlor-freien Varianten stand im Vordergrund der Untersuchungen. Trotz der geltenden Begrenzung der Wirkstoffausbringung von maximal 1000 g/ha wurden Metazachlor und dessen Metaboliten (Metazachlorsulfonsäure und Metazachlorsäure) in den letzten Jahren in Grund- und Oberflächengewässern vermehrt nachgewiesen. Zum vorbeugenden Gewässerschutz wird deshalb eine Reduzierung der Metazachlormenge auf  $\leq 500$  g/ha empfohlen. Die geprüften Alternativen werden hier diskutiert und in das mehrstufige Bekämpfungskonzept integriert.

**Stichwörter:** Herbizidwirksamkeit, Integriertes Unkraut-Bekämpfungskonzept, Metazachlor, Nachaufbaubehandlungen

### Abstract

The prevailing single treatment pre-emergence weed control application does not comply with the principles of the integrated pest management. At this early stage of herbicide application an analysis of the number and range of later emerging weeds is not manageable in the necessary way. That means possible adjustments or reductions of the registered and therefore normally used herbicide product amounts are highly limited. On this basis, a multi-step-application-scheme was elaborated which focusses mostly on the target-oriented application of post emergence herbicides. The concept of this scheme minimizes the risk of water pollution caused by herbicidal export or run-off while the major important weeds in the winter rape culture are sufficiently controlled.

As a part of the joint trial program of the federal states of Berlin, Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia (2010 to 2019) this application scheme was implemented in several weed control trials in winter rape on 139 sites. The results proof that the use of the full registered product amount was only necessary on 20% of the included winter rape fields where the efficacy of metazachlor- reduced respectively Metazachlor-free test variants were as a main trial question.

Despite the enacted application limit of 1000 g metazachlor and its metabolites per hectare there is still a major problem of a large number of findings of metazachlor sulphone acid and metazachlor acid in ground- and surface-water. Therefore, the reduction of the metazachlor application amount below 500 g per hectare is a strictly recommended precaution for water protection. Such (in the trials included) 500-g/ha- limited test-variants are discussed regarding their possible integration in the multi-step-application scheme in the article below.

**Keywords:** Herbicide efficacy, integrated control strategies, metazachlor, post-emergence

## Einleitung

Auf den meisten Winterrapsflächen wird in der Praxis nach wie vor eine einmalige Routinebehandlung mit Herbiziden im Voraufbau bzw. frühen Nachaufbau bevorzugt. Bekanntlich verfügen aber gut entwickelte, schnell den Boden bedeckende Rapsbestände über eine hohe Konkurrenzskraft, so dass Herbizidmaßnahmen erst bei stärkerer Verunkrautung wirtschaftlich sind (BALGHEIM, 1985; KÜST et al., 1988; WERNER und HEITFUSS, 1996; SIEBERHEIN, 1998; DELIGIOS et al., 2018). Der Einsatz weniger Wirkstoffe über viele Jahre, insbesondere Metazachlor und Quinmerac, führte zum vermehrten Auftreten von kreuzblütigen Unkrautarten wie *Thlaspi arvense* (THLAR), *Capsella bursa-pastoris* (CAPBP) sowie *Sisymbrium officinale* (SSYOF), *Sisymbrium loeselii* (SSYLO), und *Sisymbrium altissimum* (SSYAL) (SCHRÖDER et al., 2008; FELL, 2011; HANZLIK et al., 2011). Ebenso haben Unkrautarten wie *Papaver rhoeas* (PAPRH), *Centaurea cyanus* (CENCY) und *Geranium spp.* (GERSS) zugenommen (GEHRING et al., 2012). Örtlich bereiten auch *Anthriscus caucalis* (ANRCA), *Conium maculatum* (COIMA) und *Anchusa officinalis* (ANCOF) Probleme bei der Unkrautbekämpfung.

Die verschärften Anwendungsbestimmungen bei Clomazone haben zu einer Zunahme des Einsatzes von Metazachlor-haltigen Präparaten (z. B. Butisan Gold, Butisan Kombi, Fuego, Fuego Top) geführt, welche auf über 90 % der Rapsanbaufläche zum Einsatz kommen. Mittlerweile werden im Beratungsgebiet Metazachlor und dessen nicht relevante Metaboliten Metazachlor-Sulfonsäure und Metazachlorsäure in Grund- und Oberflächengewässern nachgewiesen. Die für den Naturhaushalt unbedenklichen Konzentrationen von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen in Gewässern werden an einigen Standorten überschritten. Auch die ebenfalls zur Gruppe der Chloracetamide gehörenden Wirkstoffe Dimethenamid-P und Dimethachlor sowie der Wirkstoff Quinmerac wurden in den letzten Jahren gefunden. Infolge der Anwendungen von Kerb flo war in Sachsen der Wirkstoff Propyzamid in Oberflächengewässern nachweisbar (EWERT et al., 2019). Die Ursachen der aktuellen Belastung, insbesondere durch Abdrift oder Abschwemmung (Run-off) von Pflanzenschutzmitteln (PSM), sind vielfältig und wesentlich schwieriger zu kontrollieren (GEHRING, 2014; MANTZOS et al., 2016). Aus diesen Gründen ist ein Handlungsbedarf für einen sensiblen, auf den Gewässer- und Grundwasserschutz ausgerichteten Einsatz von PSM im Rapsanbau notwendig.

Im gemeinsamen Versuchsprogramm der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurde ein besonderes Augenmerk auf die Prüfung Metazachlor-reduzierter und Metazachlor-freier Behandlungen gelegt. Aufgrund von Neuzulassungen von Raps herbiziden stehen neue Möglichkeiten für eine gezielte Unkrautbekämpfung im Nachaufbau zur Verfügung. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Feldversuche von 2010 bis 2019 und die Strategien zur chemischen Unkrautbekämpfung im Raps im Sinne eines vorbeugenden Gewässerschutzes beschrieben.

## Material und Methoden

### Verbreitung der Unkrautarten auf den Versuchsstandorten

Um aus der Vielzahl der Herbizide die geeigneten Wirkstoffe gegen die am häufigsten auftretenden Unkrautarten auszuwählen, sind Aussagen über deren Stetigkeit notwendig. Hierfür wurden die unbehandelten Kontrollen von 139 Versuchen in Streulage sowie in Versuchsstationen der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen von 2010 bis 2019 zur Unkrautbekämpfung in Winterraps herangezogen und alle vorkommenden dikotylen Unkrautarten sowie ihre Besatzstärke als Schätzungen der Deckungsgrade in Prozent erfasst. Ausgewertet wurde die Abschlussbonitur im Herbst, ca. zwei Monate nach der ersten Applikation. Die ermittelte Rangfolge der Unkräuter (Abb. 1) basiert auf der jeweils berechneten Stetigkeit nach Braun-Blanquet (1964). Diese gibt Auskunft über den prozentualen Anteil des Vorkommens einer Art bezogen auf die Gesamtheit der untersuchten Standorte.

## Unkrautwirkung der verschiedenen Bekämpfungsstrategien

Im Rahmen eines gemeinsamen Versuchsprogramms der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurden im genannten Zeitraum Herbizidvarianten im Winterraps geprüft, die der Validierung der seit 2006 konzipierten mehrstufigen Entscheidungshilfe dienen. Die Bekämpfungsempfehlungen dieses Konzeptes beruhen auf den drei Entscheidungsebenen Voraufbau / früher Nachaufbau, Nachaufbau zu BBCH 12 – 18 und Nachaufbau Frühjahr nach Vegetationsbeginn. Weiterhin zielten die Versuche auf eine Reduzierung des hinsichtlich des Gewässerschutzes problematischen Wirkstoffs Metazachlor ab. In Einmalbehandlungen sowie Spritzfolgen wurde geprüft, ob reduzierte Aufwandmengen der Bodenherbizide zum Einsatzzeitpunkt Voraufbau bzw. früher Nachaufbau (NAK) das jeweilige Unkrautartenspektrum ausreichend bekämpfen oder eine gezielte Folgebehandlung im Nachaufbau erforderlich ist.

**Tab. 1** Aufwandmengen der Herbizide, Herbizidspritzfolgen und Tankmischungen (l bzw. kg/ha), die jeweiligen Wirkstoffmengen (g/ha) und die Applikationstermine (T1 – T5), Versuche 2010 – 2019.

**Tab. 1** Rates of herbicides, herbicide sequences and herbicide mixtures /L or kg/ha), active ingredients (g/ha) and application timings (T1 - T5); trials 2010 – 2019.

Herbizid, Spritzfolge Tankmischung	Wirkstoffmengen in g/ha	Aufwandmenge l/bzw. kg zu unterschiedlichen Applikations-Zeiten				
		T1	T2	T3	T4	T5
Butisan Gold	500 Metazachlor; 250 Quinmerac; 500 Dimethenamid-P					
Colzor Trio	564 - 752 Napropamid; 564 - 752 Dimethachlor; 90-120 Clomazone	3,0 - 4,0				
Butisan Kombi	250 - 300 Metazachlor; 250 - 300 Dimethenamid-P	1,25 - 1,5				
TM Butisan Kombi + Runway	300 Metazachlor; 300 Dimethenamid-P + 48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid		1,5 + 0,2			
SF Butisan Kombi / Milestone	250 Metazachlor; 250 Dimethenamid-P / 750 Propyzamid; 8 Aminopyralid	1,25				1,5
SF Butisan Kombi / Runway + Fox	250 - 300 Metazachlor; 250 - 300 Dimethenamid-P / 48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid + 240 Bifenox	1,25 - 1,5		0,2 + 0,5		
SF Fuego Top / Runway + Fox	499 - 563 Metazachlor; 166 - 188 Quinmerac / 48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid + 240 Bifenox	1,33 - 1,5		0,2 + 0,5		
SF Quantum / Runway + Fox	1200 Pethoxamid / 48 Clopyralid; 16 Picloram; 8 Aminopyralid + 240 Bifenox	2,0		0,2 + 0,5		
SF Belkar + Synero 30 SL / Belkar	2,5 Halauxifen-methyl; 12 Picloram + 7,5 Aminopyralid / 2,5 Halauxifen-methyl; 12 Picloram			0,25 + 0,25	0,25	

T1 BBCH 00 des Rapses; T2 BBCH 10 - 12 des Rapses; T3: BBCH 12 - 14 des Rapses; T4: BBCH 16 - 18 des Rapses; T5: Vegetationsende Herbst

Die Versuche wurden auf 139 Standorten in Streulage sowie in Versuchsstationen als randomisierte Blockanlagen mit 3 bzw. 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellengrößen betragen 20 bis 25 m<sup>2</sup>. Die Wirkung auf Unkräuter wurde visuell als Reduzierung der Biomasse im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle geschätzt. Zur Bewertung der Unkrautwirkung wurden die Ergebnisse der Abschlussbonitur im Frühjahr herangezogen. Die Darstellung der Wirkungsgrade erfolgte im Netzdiagramm (Abb. 2) sowie mit Hilfe von Boxplots (Abb. 3-6). Der waagerechte Strich innerhalb des Boxplots markiert den Median. Die größten Ausreißer (Minimum) wurden als Kreuze (Min Outlier) gekennzeichnet. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ausgewählten Herbizide, herbiziden Tankmischungen und Spritzfolgen.

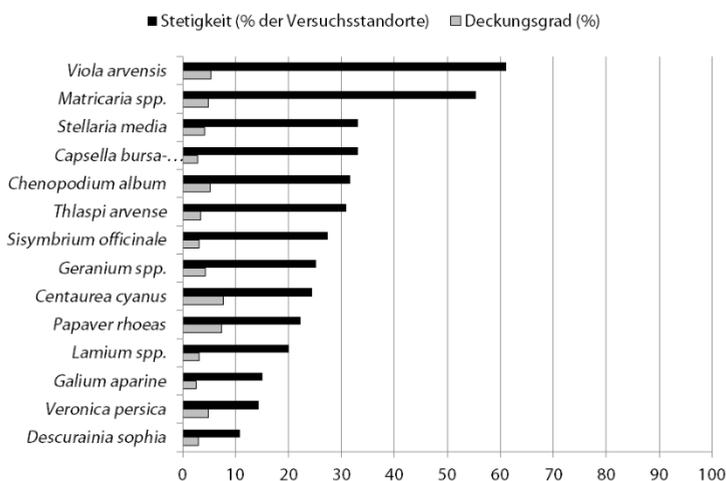
Neben der Auswertung der Wirkungsgrade aus insgesamt 139 Versuchen der Jahre 2010 - 2019 erfolgte für die letzten 3 Jahre eine retrospektive Betrachtung, bei der beurteilt wurde, ob die Behandlungen aufgrund des Unkrautbesatzes tatsächlich gerechtfertigt waren. Die Standorte wurden nach den Unkrautdeckungsgraden in fünf Kategorien gegliedert. Hierfür wurden die Deckungsgrade der einzelnen Unkrautarten in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt der letzten Herbstbonitur von 50 Standorten in den Jahren 2016 – 2019 herangezogen. Eingeschätzt wurde, dass bei einem Gesamtdeckungsgrad  $\leq 5\%$  keine Bekämpfungsmaßnahme erforderlich ist. Ab 2016 wurde die Versuchsfrage umgestellt und die Nachaufaufbehandlung an dem Unkrautspektrum individuell angepasst bzw. auf die Nachaufaufanwendung komplett verzichtet.

## Ergebnisse

### Verbreitung der Unkrautarten auf den Versuchsstandorten

Die Abbildung 1 zeigt die Stetigkeit und die Besatzstärke (Deckungsgrad in %) der im Herbst bonitierten Unkrautarten in den unbehandelten Kontrollen auf 139 Versuchsstandorten im Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2019. Den größten Anteil bildeten Arten der Familien *Cruziferae*, *Compositae* und *Violaceae*. Auf vielen Standorten stellten diese Arten die Leitverunkrautung in unterschiedlicher Abundanz dar. Am häufigsten trat *Viola arvensis* (VIOAR) mit einer Stetigkeit von 61 % auf. Darauf folgten *Matricaria* spp. (MATSS) mit 55 %, *Stellaria media* (STEME) mit 33 % sowie *Capsella bursa pastoris* (CAPBP) und *Chenopodium album* (CHEAL) mit 33 % bzw. 32 %. Obwohl CHEAL im Winter abfriert, kann er bei spätem Beginn der Vegetationsruhe konkurrenzwirksam werden. Bei Rauke-Arten wie *Sisymbrium officinale* (SSYOF) lagen die Stetigkeiten bei 27 %, bei *Descurainia sophia* (DESSO) bei 11 %. Auf jeder vierten Versuchsfläche traten *Geranium* spp. (GERSS) auf. Gerade in den letzten Jahren konnte sich dieses Unkraut in den Bundesländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen weiter ausbreiten. GERSS verursachen zunehmend Bekämpfungsprobleme im Winterraps, so dass zum Teil die Bekämpfungsstrategie danach ausgerichtet werden muss.

Die höchsten Deckungsgrade wurden bei *Centaurea cyanus* (CENCY) mit 8 % und bei PAPRH mit 7 % ermittelt. Bei den anderen bonitierten Unkrautarten lagen die Deckungsgrade im Bereich von 2 bis 5 %.



**Abb. 1** Stetigkeit (%) und Deckungsgrad (%) dikotyler Unkrautarten an 139 Standorten in Winterraps in den Ländern Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Mittel der Jahre 2010-2019, Herbstbonitur.

**Fig. 1** Frequency (%) and weed cover (%) of broad-leaved weeds on 139 trial sites in the federal states Berlin, Brandenburg, Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia, autumn assessment 2010-2019.

### Unkrautwirkung der verschiedenen Bekämpfungsstrategien

Für die Versuche wurden Flächen ausgewählt, die erfahrungsgemäß eine hohe Verunkrautung bzw. Problemunkräuter (z. B. SSYOF, PAPRH, CENCY oder GERSS) aufweisen, die durch eine gezielte Nachbehandlung kontrolliert werden können.

Die Tabelle 2 zeigt die retrospektive Entscheidung mit den Deckungsgraden der einzelnen Unkrautarten in den unbehandelten Kontrollen zum Zeitpunkt der letzten Herbstbonitur. Mit einer hellgrauen Schraffur sind Unkrautdeckungsgrade von < 5 %, mit mittelgrauer Schraffur Unkrautdeckungsgrade von 5 % bis <15 % sowie mit dunkelgrauer Schraffur Unkrautdeckungsgrade von >15 % dargestellt. Mit der retrospektiven Betrachtung der erreichten Deckungsgrade der bonitierten Unkrautarten lässt sich einschätzen, ob eine Herbizidapplikation tatsächlich erforderlich war.

Darüber hinaus kann abgeleitet werden, ob die vollen Aufwandmengen gerechtfertigt waren oder verringerte Aufwandmengen, eine Spritzfolge oder nur eine Nachauflaufbehandlung zu BBCH 12 – 16 genügt hätten. 10 von 50 Standorten (Kategorie 1: 20 %) wiesen einen so geringen Unkrautdruck auf, dass die Konkurrenzkraft des Rapsbestandes zur Unterdrückung ausreichte. Auf weiteren 11 Standorten (Kategorie 2: 22 %) mit einer geringen Unkrautdichte, vor allem mit Kreuzifereen, konnten reduzierte Aufwandmengen eines nach dem Wirkungsspektrum des Standortes ausgewählten Voraufaufherbizides erfolgreich eingesetzt werden. Auf 9 Standorten (Kategorie 3: 18 %) mit verstärktem Auftreten von CENCY, PAPRH bzw. *Fumaria officinalis* (FUMOF) war auch eine Nachauflaufapplikation mit beispielsweise Runway bzw. Fox ausreichend. Eine Spritzfolge war auf 11 Standorten (Kategorie 4: 22 %) erforderlich, da aufgrund des Artenspektrums sowohl auf ein Voraufaufherbizid als auch auf ein Nachaufaufherbizid zur Unkrautkontrolle nicht verzichtet werden konnte. Lediglich auf 9 Versuchsflächen (Kategorie 5: 18 %) mit stärkerem Auftreten von SSYOF bzw. DESSO, *Galium aparine* (GALAP) oder GERSS wurde zur Unkrautkontrolle die volle Aufwandmenge eines Voraufaufherbizides eingesetzt. In die retrospektive Betrachtung wurden nicht die neuen Möglichkeiten der Nachaufaufbehandlung mit den Herbiziden Belkar und Gajus bzw. die Frühjahrsbehandlung mit Korvetto einbezogen, da diese Herbizide zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung 2016 – 2019 noch nicht zur Verfügung standen.

**Tab. 2** Retrospektive Entscheidung über die Behandlungsnotwendigkeit auf den einzelnen 50 Standorten, Deckungsgrad (%), Herbstbonitur der Jahre 2016 – 2019.

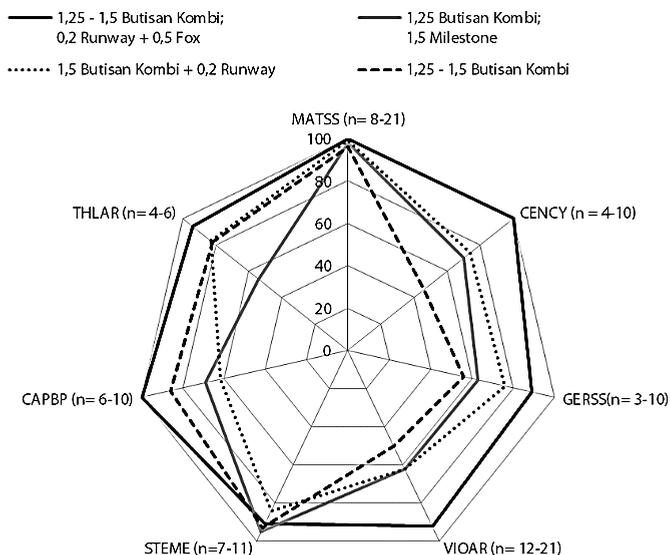
**Tab. 2** Retrospective decision regarding the necessity for herbicide treatments on 50 trial sites, weed cover (%), autumn assessment in the years 2016 – 2019.

Erntejahr	Bundesland	VIOAR	MATSS	STEME	CAPBP	THLAR	SSYOF	GERSS	CENCY	PAPRH	LAMSS	GALAP	VERSS	DESSO	FUMOF	Retrospektive Entscheidung über die Behandlungsnotwendigkeit
2016	TH/3	2	2					2								Kategorie 1: Aufgrund der geringen Unkrautwäre keine Behandlung erforderlich gewesen
2016	BB/4		1						1					1		
2016	ST/1		2													
2017	TH/2							1			1				2	
2017	BB/1	2		1												
2018	TH/3														1	
2018	TH/4	1		1		1		1								
2018	BB/3	2	1													
2018	TH/6					2										
2019	TH/1		1				2	1				1				
2019	TH/4					1										
2016	ST/3	11	11		2		2			2						Kategorie 2: Die Anwendung eines reduzierten Herbizids im VA bzw. NAK hätte die Unkrautprobleme gelöst
2016	BB/5	9	6													
2016	BB/7	4	11		3											
2017	BB/3	3	3													
2017	BB/5	1	2	3												
2017	BB/6	2	2	3												
2017	ST/1		1	3		2										
2018	TH/2						1				1					
2018	TH/5	1				1	1			1	1					
2018	TH/5	1				1	1			1	1					
2016	TH/5	1		1					3		1				1	Kategorie 3: Eine Applikation zu BBCH 12 - 16 wäre ausreichend gewesen
2016	BB/2		2						4							
2017	BB/2	3													3	
2018	BB/1		1	3					2	35						
2018	BB/5	4	6						9	9						
2019	SN/1	3	2						6							
2019	SN/1	6	5						10							
2019	TH/2		6						3							
2019	TH/3	4							2							
2016	BB/1	18	7				2		4	1				2		Kategorie 4: Eine Spritzfolge hätte die Unkrautprobleme gelöst
2016	ST/2	4	12					3	3	2						
2016	TH/4					7		3		8			15			
2016	BB/3	3	16		2											
2016	BB/6	1	16	1	1											
2016	SN/2			5							5				7	
2017	TH/1		11	2					14				2			
2018	BB/2	2	7	7	2				4	5						
2018	ST/2	15			3	1	1									
2019	TH/5	1			1	1			1	1		1	3			
2019	TH/6			1		1	1	1	2	1	1		1			
2016	TH/1						5									Kategorie 5: Die volle Aufwandmenge wäre erforderlich gewesen
2016	SN/1		10		4	8										
2017	SN/1	3						26	5							
2017	BB/4										12					
2017	ST/1	5	4				3							3		
2018	SN/1	7						4								
2018	SN/2	6						4								
2018	BB/4	9	6			6										
2018	ST/1	14	9		7		9		4							

Unkrautdeckungsgrad <5% = hellgrau; Unkrautdeckungsgrad von 5% bis <15% = mittelgrau; Unkrautdeckungsgrad >15% = dunkelgrau

### Wirkung verschiedener Behandlungsvarianten hinsichtlich des integrierten Bekämpfungskonzepts

Die Abbildung 2 veranschaulicht die Wirkungsgrade ausgewählter Herbizidvarianten mit stufenweiser Erweiterung des Wirkungsspektrums gegenüber einzelner Unkrautarten. Basis aller Varianten ist das Herbizid Butisan Kombi mit Aufwandmengen von 1,25 – 1,5 l/ha. Die Anwendung erfolgte im Voraufbau. Eine Ausnahme bildet das Prüfglied Butisan Kombi + Runway (1,5 + 0,2 l/ha) mit Einsatz zu BBCH 12 – 14. Bereits mit der Soloanwendung werden sehr gute Wirkungsgrade gegen MATSS (96 %) und STEME (93 %) erzielt.



**Abb. 2** Wirkung ausgewählter Herbizidvarianten auf dikotyle Unkrautarten durch Erweiterung des Wirkungsspektrums.

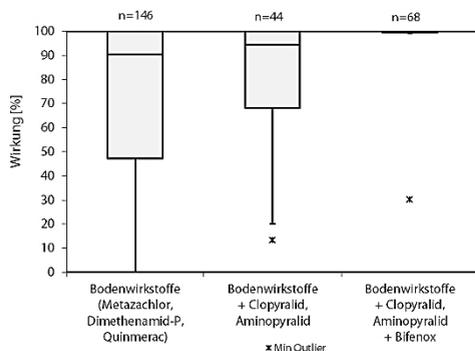
**Fig. 2** Efficacy of selected herbicides against dicot weeds with a wider spectrum of active ingredients.

Durch die Zugabe Aminopyralid-haltiger Herbizide wie Runway oder Milestone konnte besonders die Wirkung auf CENCY verbessert werden. Im Gegensatz dazu fällt die deutlich schlechtere Wirkung der spät applizierten Tankmischung gegen CAPBP im Vergleich zur Soloanwendung im Voraufbau auf. Mit der Spritzfolge Butisan Kombi (1,25 – 1,5 l/ha) im Voraufbau, gefolgt von Runway (0,2 l/ha) + Fox (0,5 l/ha) zu BBCH 14 ist eine Bekämpfung des gesamten ausgewiesenen Unkrautartenspektrums möglich. Durch den Wirkstoff Bifenox konnten die Wirkungslücken der Tankmischpartner gegen VIOAR und die kreuzblütigen Unkräuter geschlossen werden.

Abbildung 3 zeigt die Wirkung der ausgewählten Herbizidkombinationen bei Mischverunkrautung ohne kreuzblütige Unkräuter. Dafür wurden die Wirkungsgrade gegen MATSS, CENCY, GERSS, *Veronica* spp. (VERSS) und VIOAR zusammengefasst. Verglichen wurde die Bekämpfungsleistung bei einmaliger Applikation Metazachlor-haltiger Bodenherbizide in Kombination mit den Wirkstoffen Quinmerac und / oder Dimethenamid-P mit der um die Wirkstoffe Aminopyralid und Clopyralid erweiterten Tankmischung sowie Spritzfolgen, die neben den letztgenannten noch zusätzlich den Wirkstoff Bifenox enthalten. Mit Spritzfolgen eines Metazachlor-haltigen Voraufbauherbizides mit reduzierter Aufwandmenge, gefolgt von einer Nachaufbaubehandlung mit den Wirkstoffen Clopyralid, Aminopyralid und Bifenox konnte die vorhandene Mischverunkrautung in den meisten Fällen sicher bekämpft werden. Die sehr gute Bekämpfungsleistung Bifenox-haltiger Spritzfolgen ist u.a. auch auf das häufige Vorkommen von VIOAR zurückzuführen.

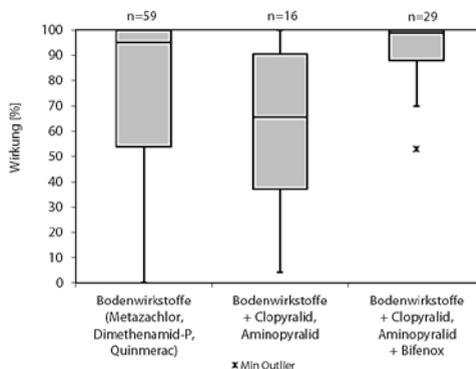
Als kreuzblütige Unkräuter traten in den Versuchen vorwiegend CAPBP, SSYOF und THLAR auf. Abbildung 4 beschreibt die Wirkung der, wie auch in Abbildung 3, zusammengefassten Behandlungsvarianten gegen kreuzblütige Unkräuter. Besonders CAPBP wird bei einer Voraufbau-

Anwendung Metazachlor-haltiger Herbizide meist ausreichend erfasst. Erfolgt die Behandlung erst im Nachauflauf (Variante 2: Bodenwirkstoffe + Clopyralid, Aminopyralid), sinkt die Bekämpfungsleistung gegen diese Unkräuter deutlich. Durch Spritzfolgen mit Nachauflaufanwendung des Wirkstoffs Bifenox lassen sich die Wirkungsgrade gegenüber kreuzblütigen Unkräutern, insbesondere SSSYOF und THLAR, steigern.



**Abb. 3** Wirkung (%) verschiedener Herbizidkombinationen auf dikotyle Unkrautarten (Gesamtverunkrautung ohne kreuzblütige Unkrautarten) im Rahmen eines integrierten Bekämpfungskonzeptes.

**Fig. 3** Efficacy (%) of the total effects of various herbicide strategies against dicot weeds excluding crucifers regarding the integrated control concept (multi-step-application-scheme).



**Abb. 4** Wirkung (%) verschiedener Herbizidkombinationen auf kreuzblütige Unkrautarten im Rahmen eines integrierten Bekämpfungskonzeptes.

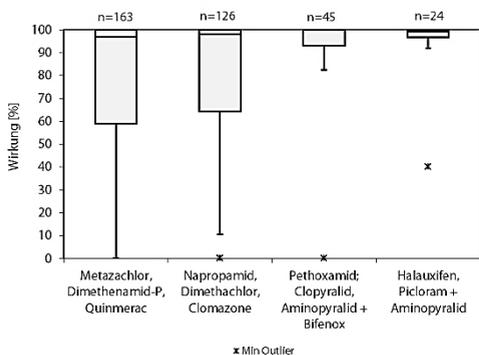
**Fig. 4** Efficacy (%) of the total effects of various herbicide strategies against cruciferous weeds regarding the integrated control concept (multi-step-application-scheme).

Wirkung verschiedener Behandlungsvarianten hinsichtlich des reduzierten Einsatzes von Metazachlor

Metazachlor-freie Behandlungen im Vor- und Nachauflauf wurden im Vergleich zu Standardmaßnahmen im Voraufbau geprüft (Abbildungen 5 und 6). Abbildung 5 zeigt die Wirkung der Herbizidkombinationen auf eine Mischverunkrautung ohne kreuzblütige Unkräuter. Dafür wurden die Wirkungsgrade gegen STEME, MATSS, CENCY, GERSS, PAPRH, VERSS und VIOAR zusammengefasst. Variante 1 (Metazachlor, Dimethenamid-P, Quinmerac) beschreibt die Wirkung des Herbizides Butisan Gold (2,5 l/ha). Als Vergleich stellt die Variante 2 (Napropamid, Dimethachlor, Clomazone) die Wirkung des Herbizids Colzor Trio (3,0 – 4,0 l/ha) als Clomazone-haltiges, aber Metazachlor-freies, Produkt dar. Die Varianten 3 (Pethoxamid, Clopyralid, Aminopyralid + Bifenox) und 4 (Halauxifen, Picloram + Aminopyralid) stehen als Metazachlor- und Clomazone-freie Spritzfolgen den beiden Standardmaßnahmen gegenüber. In der Gesamtwirkung weichen die Wirkungsgrade (Median) der einzelnen Varianten nur geringfügig voneinander ab. Die breitere Streuung der Standardmaßnahmen (Variante 1) ist auf die geringen Wirkungsgrade gegenüber CENCY zurückzuführen.

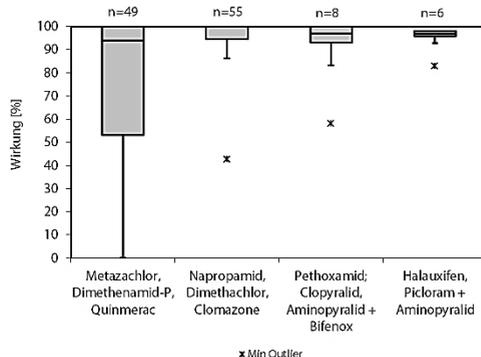
Abbildung 6 beschreibt die Wirkung der verschiedenen Herbizidvarianten gegen kreuzblütige Unkräuter. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind, bezogen auf den Median, nur gering (94 – 100 %). Mit der Metazachlor-haltigen Variante 1 (Butisan Gold) wurden hohe Wirkungsgrade gegen CAPBP erzielt. Die große Streuung ist auf die geringe Wirksamkeit gegenüber SSSYOF und THLAR zurückzuführen. Der Median von 100 % und die geringe Streuung verdeutlichen die Wirkungsreserven des Clomazone-haltigen Produkts gegenüber Kreuzblütlern. Mit der Spritzfolge des Pethoxamid-haltigen Produkts Quantum im Voraufbau, gefolgt von der Kombination aus Clopyralid, Aminopyralid und Bifenox wurden in den vorliegenden Versuchen meist sehr gute

Wirkungsgrade gegen kreuzblütige Unkräuter erzielt. Die Halauxifen-haltige Spritzfolge zeigt ein hohes Wirkungspotential. Da sie bisher nur in wenigen Versuchen geprüft werden konnte, sind die dargestellten Ergebnisse zunächst als Tendenz zu betrachten.



**Abb. 5** Wirkung (%) Metazachlor-haltiger und Metazachlor-freier Herbizidvarianten auf Mischverunkrautung (ohne kreuzblütige Unkräuter).

**Fig. 5** Efficacy (%) of the total effects of metazachlor-containing and metazachlor-free herbicide-strategies against dicot weeds excluding crucifers.



**Abb. 6** Wirkung (%) Metazachlor-haltiger und Metazachlor-freier Herbizidvarianten auf kreuzblütige Unkräuter.

**Fig. 6** Efficacy (%) of the total effects of metazachlor-containing and metazachlor-free herbicide-strategies against cruciferous weeds.

## Diskussion

Obwohl die Versuchsflächen subjektiv und mit der Erwartung einer hohen Verunkrautung ausgewählt wurden, unterscheidet sich die Reihenfolge der Stetigkeit der einzelnen dikotylen Spezies auf den 139 Versuchsstandorten von den von SCHRÖDER et al. (2008) ermittelten Stetigkeiten der Rapsunkräuter in den Ländern Brandenburg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen nicht wesentlich. Das Stiefmütterchen konnte sich aufgrund der engen Rapsfruchtfolgen und der Wirkungslücke bzw. -schwäche vieler Raps herbizide z.T. stark verbreiten und ist somit in beiden Erhebungen die am stärksten auftretende Unkrautart. Durch ihre im Vergleich zum Raps niedrige Konkurrenzkraft gilt diese Art nicht als Problemunkraut in der Kultur. SSYOF, MATSS und GERSS haben dagegen an Bedeutung gewonnen. Die Förderung von *Geranium*-Arten durch nichtwendende Bodenbearbeitung und eine frühe Rapsaussaat in der ersten Augushälfte wurde von HANZLIK und GEROWITT (2010) beobachtet.

In der retrospektiven Betrachtung der Notwendigkeit von Herbizidmaßnahmen auf den 50 Versuchsstandorten stellte sich heraus, dass auf 20 % der Fläche keine Herbizidmaßnahme notwendig gewesen wäre. Voraussetzung sind nicht lückige, gut entwickelte Kulturpflanzenbestände. Um den Anteil der unnötigen Pflanzenschutzmaßnahmen zu reduzieren und gleichzeitig das Agrarökosystem zu entlasten, sind zielgerichtete Nachauffaufbehandlungen gegen nicht tolerierbare Unkrautarten zu bevorzugen, worauf auch SCHRÖDER und MEINLSCHMIDT (2011) sowie WERNER (2014) hinweisen. Nach GRÄPEL und SCHILLER (1988) sind es 10 %, nach KEES (1989) sogar bis zu 20 % des gesamten Unkrautdeckungsgrades bei normal entwickeltem, zeitgerecht bestelltem Winterraps, der im Spätherbst geduldet werden kann. Auch die von BALGHEIM (1985) veröffentlichten Versuchsergebnisse weisen bei einem Unkrautdeckungsgrad von 15 - 20 % keinen wirtschaftlichen Mehrertrag aus. Ebenso DINGEBAUER (1990) stellt bei einem Unkrautdeckungsgrad von 9 - 17 % im Spätherbst, je nach Konkurrenzkraft des Bestandes und der Verunkrautung, keine Ertragsminderungen fest. Auch in sächsischen Versuchen mit Unkrautdeckungsgraden von 5 - 15 % wurden in der Regel keine signifikanten Ertragsunterschiede nachgewiesen.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass mit der reduzierten Vorlage eines Metazachlor-haltigen Herbizides, appliziert im Voraufbau oder im frühen Nachaufbau, und gegebenenfalls einer gezielten Nachbehandlung ein Großteil bedeutender Unkräuter im Winterraps kontrollierbar ist. Auch WOLBER et al. (2015) weisen auf eine gute Bekämpfungsleistung Metazachlor-freier Behandlungen mit den Wirkstoffen Pethoxamid, Aminopyralid und Bifenox hin. In der vorliegenden Arbeit wurde aufgezeigt, dass hierfür im Raps inzwischen ein breites Spektrum an wirksamen Nachaufbauherbiziden zur Verfügung steht. Anwendungen mit niedrigem Metazachlor-Wirkstoffaufwand ( $\leq 500$  g/ha Metazachlor) sollten hier, insbesondere wegen des Gewässerschutzes, bevorzugt eingesetzt werden.

Ein kompletter Verzicht auf Metazachlor würde den Einsatz der wenig resistenzgefährdeten Wirkstoffe der HRAC-Gruppe K3 sehr einschränken. Metazachlor hat bei der Bekämpfung von Ungräsern eine unterstützende Wirkung und stellt im Rapsanbau einen Baustein im Resistenzmanagement gegen (resistenten) Ackerfuchsschwanz dar. Jedoch sind für eine erfolgreiche Bekämpfung Wirkstoffmengen von 750 g/ha (z. B. 2,0 l/ha Fuego Top) erforderlich.

Als Alternative zum Metazachlor-Einsatz steht der Wirkstoff Pethoxamid zur Verfügung. Bisherige Versuche zeigen, dass mit der Spritzfolge Pethoxamid / Clopyralid, Aminopyralid + Bifenox (Quantum / Runway + Fox) sehr gute Wirkungen im Bereich von 90 % gegen Leitunkräuter erzielt werden können. Aufgrund der Anwendungsbeschränkung auf nicht drainierten Flächen ist der Einsatz von Quantum in der Praxis begrenzt. Mit der Zulassung von Gajus (Pethoxamid, Picloram) kann der Wirkstoff Pethoxamid auch auf drainierten Flächen appliziert werden. Das Metazachlor-freie Herbizid Tanaris (Dimethenamid-P, Quinmerac) ermöglicht u.a. als Baustein in Tankmischungen und Spritzfolgen eine höhere Flexibilität bei der gezielten Bekämpfung einzelner Unkrautarten.

Wie Abbildung 5 verdeutlicht, führt die Zulassung von Belkar zu einer deutlichen Verbesserung der Metazachlor-freien Bekämpfbarkeit von Unkräutern im Nachaufbau. Das Herbizid kombiniert die beiden Wirkstoffe Halauxifen-Methyl und Picloram. Belkar kontrolliert ein breites Spektrum an wichtigen Unkräutern im Winterraps einschließlich CAPBP, CENCY, DESSO, GALAP, GERSS, MATSS, PAPRH und THLAR. Durch die Tankmischung von Belkar mit dem Wirkstoff Aminopyralid wird das Wirkungsspektrum gegen dikotyle Unkräuter noch erweitert und somit eine wirksame Alternative zur Unkrautkontrolle im Voraufbau geschaffen (ZOTZ et al., 2018).

Aufgrund der Witterungsbedingungen ist der Einsatz von Clomazone und anderen bodenaktiven Herbiziden nicht immer möglich. Sollte sich die Witterung der letzten Jahre mit hohen Temperaturen und anhaltender Trockenheit zum Zeitpunkt der Rapsaussaat fortsetzen, muss das Augenmerk auf die Nachaufbauherbizide, vorzugsweise auf blattaktive Mittel, gelegt werden.

Das dreistufige integrierte Bekämpfungskonzept zur Auswahl der Herbizide gegen zweikeimblättrige Unkräuter bietet Möglichkeiten der Reduktion des Pflanzenschutzmitteleintrages und somit der Entlastung des Agrarökosystems, wie im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes gefordert wird. Neu zugelassene Wirkstoffe und Produkte können in dieses offene System gut integriert werden. Für seine erfolgreiche Umsetzung bedarf es allerdings einer schlagspezifischen Überwachung der Unkrautentwicklung. Diese dreistufige Entscheidungshilfe wird von den Landwirten zzt. noch wenig praktiziert.

Der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel, auch unter Einbeziehung des vorgestellten Konzeptes, kann jedoch nur ein Baustein eines erfolgreichen Unkrautmanagements sein. Die Unkrautbekämpfung sollte über die gesamte Fruchtfolge erfolgen. So werden kreuzblütige Rapsunkräuter oder Stiefmütterchen im Getreide mit den dort zugelassenen Herbiziden problemlos erfasst. Ackerbauliche vorbeugende Maßnahmen wie weitere Fruchtfolge, intensive Bodenbearbeitung, u.a. Pflugeinsatz auf nicht erosionsgefährdeten Flächen, eine gute Bestandesführung sowie Feldrandhygiene sollen einbezogen werden. Populationsdynamische Studien von ZWARGER und EGGERS (2004) zeigen, dass nach einer nichtwendenden Bodenbearbeitung der Großteil der Samen im oberen Bodenbereich verbleibt, während die wendende

Bodenbearbeitung die Samen in größere Bodentiefe verbringt. Generell ist die Verunkrautung von Flächen nach nicht-wendender Bodenbearbeitung deutlich höher als nach wendender.

Hinsichtlich eines vorbeugenden Gewässerschutzes müssen auch andere nicht-chemische Verfahren in der Praxis, z. B. der Einsatz von Hackgeräten zur Unkrautbekämpfung unter günstigen Witterungsbedingungen, Anwendung finden.

## Literatur

- BALGHEIM, R., 1985: Bemerkungen zur Wirtschaftlichkeit eines Herbizideinsatzes in Winterraps unter nordhessischen Bedingungen. *Gesunde Pflanzen* **37**, 128-132.
- DELIGIOS, P.A., G. CARBONI, R. FARCI, S. SOLINAS, L. LEDDA, 2018: Low-Input herbicide management: Effects on rapeseed production and profitability. *Sustainability* **10**, 1-16.
- DINGEBAUER, G., 1990: Tolerierbare Verunkrautung in Winterraps. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XII*, 315-328.
- EWERT, K., E. MEINLSCHMIDT, 2017: Hohe Erträge im Herbst absichern. *LOP* **22** (7), 16-25.
- EWERT, K., E. MEINLSCHMIDT, C. TÜMLER, 2019: Es funktioniert auch mit weniger Clomazone und Metazachlor. *DLG* **8**, 46-50.
- FELL, M., 2011: Gezielte und flexible Bekämpfung von Problemunkräutern im Winterraps mit dem Nachauflaufherbizid Fox im neu zugelassenen Splitting-Verfahren. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 536-543.
- HANZLIK, K., B. GEROWITT, 2010: Verändern pfluglose Bodenbearbeitung und Fröhsaaten die Unkrautvegetation im Winterraps? *Gesunde Pflanzen* **62**, 1-9.
- HANZLIK, K., B. GEROWITT, M. SCHULTE, 2011: Weediness and weed diversity in oilseed rape fields – results of a three year survey in Germany. 13<sup>th</sup> International Rapeseed Congress. Abstract book. June 05-09, 161.
- GEHRING, K., 2014: Management zur Vermeidung von diffusen Herbizidausträgen durch Abschwemmung und Erosion in Oberflächengewässer. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 536-543.
- GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2012: Möglichkeiten der Kontrolle von Storchschnabel-Arten (*Geranium* spp.) mit Herbiziden im Ackerbau. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 671-678.
- GRÄPEL, H., R. SCHILLER, 1988: Versuche zur Ermittlung wirtschaftlicher Schadensschwellen für die Unkrautbekämpfung in Winterraps und Möglichkeiten der praktischen Anwendung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI*, 147-153.
- KEES, H., 1989: Gezielte Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern im Raps. *Raps* **7**, 116-120.
- KÜST, G., R. HEITFUSS, W. WAHMHOF, 1988: Untersuchungen zur Ermittlung von Schadensschwellen für Ausfallgerste in Winterraps. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI*, 139-145.
- MANTZOS, N., D. HELA, A. KARAKITSOU, M. ANTONOPOULOU, 2016: Dissipation and runoff transport of metazachlor herbicide in rapeseed cultivated and uncultivated plots in field conditions. *Environ Sci Pollut Res.* 20517-20527.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, B. KRÜGER, E. BERGMANN, R. BALGHEIM, 2008: Neue Möglichkeiten bei der Unkrautbekämpfung im Winterraps – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XXI*, 483-492.
- SCHRÖDER, G., E. MEINLSCHMIDT, 2011: Restverunkrautung im Nachauflauf kontrollieren. *Raps* **4**, 14-21.
- SIEBERHEIN, K., 1998: Verunkrautung von Winterraps im Freistaat Sachsen und Versuchsergebnisse zur chemischen Unkrautbekämpfung in Winterraps. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI*, 649-654.
- WERNER, B., 2014: Möglichkeiten der gezielten Nachauflaufbekämpfung von Unkräutern im Winterraps. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 662-670.
- WERNER, B., R. HEITFUSS, 1996: Einsatz eines Schadensschwellen Modelles zur gezielten Unkrautbekämpfung unter Bedingungen in Südniedersachsen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten, Sonderheft XVI*, 149-158.
- WOLBER, D., T.-K. NIEHOFF, G. WARNECKE-BUSCH, 2015: Raps ohne Metazachlor? *DLG Mitteilungen Sonderdruck* **8**.
- ZOTZ, A., U. BERNHARDT, J. BONIN, 2018: Belkar – a new herbicide for the control of a wide range of broadleaf weeds in winter oilseed rape applied post-emergence in autumn. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 536-543.
- ZWARGER, P., TH. EGGERS, 2004: Populationsdynamik von Unkräutern – Grundlage für die Entwicklung von Managementstrategien. *Vielfalt – Ideen – Fortschritt. Weed Science on the Go. Wissenschaftliches Kolloquium*, 33-42.