
Sektion 4: Nichtselektive Herbizide

Session 4: Non-selective herbicides

Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung

Relationship between selective herbicide use intensity and pre-harvest glyphosate applications

Sabine Andert*, Jana Bürger, Bärbel Gerowitt

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur Phytomedizin, Universität Rostock, 18051 Rostock

*Korrespondierende Autorin, sabine.andert@uni-rostock.de

DOI 10.5073/jka.2018.458.034



Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag untersucht den Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen in der Kultur und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung im folgenden Sommer. Zu diesem Zweck wird ein umfangreicher Datensatz landwirtschaftlicher Praxis-Daten ausgewertet. Die feldspezifischen Anwendungsdaten wurden in einer Studie zum Glyphosateinsatz von jeweils 15 Betrieben in vier Regionen Norddeutschlands über einen Zeitraum von zehn Jahren (2005 bis 2014) ermittelt. Zur Darstellung der Herbizidintensitäten wird der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet.

Im Durchschnitt der vier Regionen wird auf 8,7 % der Felder eine Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung durchgeführt, der höchste Anteil in Wintergerste. Unkrautbekämpfung mit Vorerntebehandlung unterschied sich im Gesamt-Herbizideinsatz nicht signifikant von Verfahren ohne Vorerntebehandlung.

Als Einflussfaktor auf die Glyphosatintensität zur Vorerntebehandlung (BIGly) wurde in allen Fruchtarten und Regionen der selektive Herbizideinsatz in der Kultur identifiziert, mit Ausnahme der Wintergerste in den östlichen Regionen Fläming und Oder-Spree. In den westlichen Regionen Diepholz und Uelzen wiesen Anbauverfahren mit wendender Bodenbearbeitung in allen Fruchtarten signifikant geringere Glyphosatintensitäten zur Vorerntebehandlung im Vergleich zu nicht-wendenden Verfahren auf.

Unkrautbekämpfungsverfahren, in denen höhere selektive Herbizidintensitäten und wendende Bodenbearbeitung kombiniert waren, reduzierten die Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden um BIGly 0,1-0,4, dies entspricht einer eingesparten Applikation mit 10-40 % der zugelassenen Aufwandmenge auf dem gesamten Schlag.

Stichwörter: Ackerbau, Behandlungsindex, Integrierte Unkrautbekämpfung, statistische Erhebungen

Abstract

We investigated the relationship between in-crop selective herbicide use and pre-harvest glyphosate applications. For this purpose, a comprehensive collection of agricultural on-farm data was analysed. Data on herbicide measures of 60 farms in four districts of Northern Germany were examined for the period 2005 until 2014. We used the Treatment Frequency Index (TFI) to quantify the herbicide use intensity.

Averaged across the four districts, pre-harvest glyphosate applications were used on 8.7% of the fields, the highest percentage in winter barley. Weed control with pre-harvest applications did not differ in the total herbicide use from processes without pre-harvest treatments.

Pre-harvest glyphosate use intensity (TFI_{gly}) was affected by in-crop selective herbicide use in all crop and districts, except for winter barley in eastern districts Fläming and Oder-Spree. Plough tillage significantly reduced pre-harvest glyphosate use intensity in the western districts Diepholz and Uelzen.

To avoid the need for pre-harvest glyphosate applications we recommend the combined use of selective herbicides in-crop together with plough tillage. Such weed management strategies are able to reduce pre-harvest glyphosate use intensity by TFI_{gly} 0.1-0.4; this is equivalent to an additional application with 10-40 % of the maximum approved dosage on the whole field.

Keywords: Arable farming, Integrated Weed Management, statistical surveys, treatment frequency index

Einleitung

Glyphosat (N-(phosphonomethyl)glycin) ist der weltweit meist verwendete Herbizidwirkstoff (EUROPEAN COMMISSION, 2007; DUKE und POWLES, 2008; EPA, 2012; BENBROOK, 2016). In Deutschland werden 39 % der Ackerfläche mit Glyphosat behandelt (STEINMANN et al., 2012). Die hohe Intensität der Anwendung von Glyphosat führt zur kritischen Betrachtung des Wirkstoffes in Gesellschaft, Politik und Wissenschaft (WEERSINK et al., 2005; PAGANELLI et al., 2010; HILLOCKS, 2012; BENBROOK, 2016).

Diskutiert werden gegensätzliche Meinungen: Zum einen werden die großen betrieblichen und wirtschaftlichen Vorteile von Glyphosat in der Betriebs- und Anbauplanung (NAIL et al., 2007; COOK et al., 2010; WYNN et al., 2014, WIESE et al., 2017) hervorgehoben, auf der anderen Seite jedoch die Gesundheitsrisiken, die sich aus der massiven Nutzungsfrequenz ergeben, diskutiert (MYERS et al., 2016; BENBROOK, 2016).

In Europa wird Glyphosat zur Nacherntebehandlung als Stoppelmaßnahme, zur Vorsaatsbekämpfung von Ungräsern und Unkräutern sowie zur Vorerntebehandlung eingesetzt. Vorerntebehandlungen (VE) mit glyphosathaltigen Herbiziden, bezeichnet als Sikkationsanwendungen, schaffen insbesondere Vorteile in einer Ersparnis bei Arbeitserledigungs- und Trocknungskosten (STEINMANN et al., 2012). Häufig stehen jedoch pflanzenbaulich wichtige Sikkationsmaßnahmen zur Ernteerleichterung bei Unkrautdurchwuchs und lagernden Beständen, die auch für die mittelfristige Sanierung verunkrauteter Schläge von großer Bedeutung sind, Anwendungen gegenüber, die der „Mähdruschoptimierung“ dienen und oft sogar bei völliger Abwesenheit von Unkräutern, eher als Wachstumsregulierung und Abreifbeschleunigung dienen. Diese Anwendungen sind nicht als Unkrautmanagement anzusehen, sondern werden als Luxusanwendungen im Ackerbau beschrieben (STEINMANN et al., 2012) und entsprechen nicht den Grundsätzen für die Durchführung der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz (BMEL, 2010).

In Deutschland ist seit 2014 eine Vorerntebehandlung zur Sikkation nur noch auf Teilflächen erlaubt, auf denen aufgrund von Unkrautdurchwuchs in lagernden Beständen oder Zwiewuchs in lagernden oder stehenden Beständen eine Beerntung nicht möglich wäre. Die Sikkationsmaßnahme darf hingegen nicht mehr zur Steuerung des Erntetermins oder Optimierung des Drusches dienen (BvL, 2014).

Der vorliegende Beitrag untersucht den Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen in der Kultur und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung im folgenden Sommer. Es wird angenommen, dass Unkrautdurchwuchs oder Zwiewuchs zur Ernte geringer sind, je mehr selektive Herbizide ausgebracht werden. Durch geringeren Unkrautdurchwuchs oder Zwiewuchs wird die Notwendigkeit zur Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden reduziert.

Material und Methoden

Datengrundlage

Es wurden Daten zum Glyphosat-Einsatz aus vier Regionen Norddeutschlands untersucht (ANDERT et al., 2015). In jeweils 15 Betrieben der vier Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree (Abb. 1) wurden über den Zeitraum von 2005 bis 2014 Daten zum Einsatz herbizider Pflanzenschutzmitteln aller Schläge erfasst. Die Regionen, die sich auf einem West-Ost-Transekt befinden, unterscheiden sich voneinander deutlich in ihren natürlichen Produktionsbedingungen, wie Klima und Boden, sowie in den strukturellen Betriebseigenschaften (ANDERT et al., 2015). Die Bereitstellung der Daten durch die Betriebe erfolgte auf freiwilliger Basis.

Für diesen Beitrag wurden 8.000 Schläge mit ca. 3.000 Glyphosatanwendungen der Kulturen Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und WinterrapS verwendet. Maßnahmen mit glyphosathaltigen Herbiziden zwischen Ernte und Saat werden der nachfolgenden Kultur angerechnet.

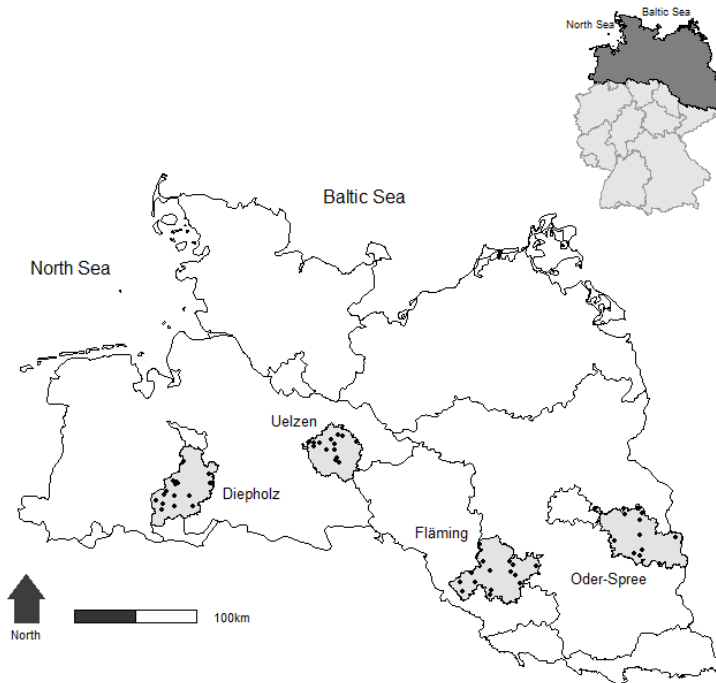


Abb. 1 Geografische Lage der Standorte der landwirtschaftlichen Betriebe in den vier Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree in Norddeutschland.

Fig. 1 Locations of farms in the four districts Diepholz, Uelzen, Fläming, Oder-Spree and Rostock in the lowlands of Northern Germany.

Datenanalyse

Zur Darstellung und zum Vergleich der Herbizidintensitäten wurde der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (ROßBERG et al., 2002). Der Gesamt-Herbizideinsatz eines Schlages BI_{tot} wird aus sämtlichen Herbizidbehandlungen berechnet. BI_{sel} sind Behandlungen mit selektiven Herbiziden, BI_{Gly} die Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden. Glyphosat zur Nacherntebehandlung als Stoppelmaßnahme und zur Vorsaatbekämpfung von Ungräsern und Unkräutern werden in den vorliegenden Auswertungen nicht einzeln ausgewiesen.

Statistische Auswertungen

Unterschiede zur Intensität von Glyphosat zur Vorerntebehandlung zwischen den untersuchten Fruchtarten wurden mittels ANOVA und nachfolgendem Tukey-Range-Test statistisch getestet.

Die Auswertungen zum Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung wurden mittels multipler Regressionen durchgeführt. Das Modell lautet:

$$BI_{Glyfj} = \mu + BI_{selfj} + BB_{fj} + BI_{selfj} \times BB_{fj} + kj + \epsilon_{jkl} \quad (1)$$

μ ist der Erwartungswert. BI_{Glyfj} ist die Glyphosatintensität eines Feldes (f) im Jahr (j), BI_{selfj} beschreibt den fixen Effekt der selektiven Herbizide eines Feldes (f) im Jahr (j), BB_{fj} ist der fixen Effekt der Bodenbearbeitung eines Feldes (f) im Jahr (j). Der Term $BI_{selfj} \times BB_{fj}$ beschreibt die Interaktion zwischen selektiven Herbiziden und Bodenbearbeitung. kj ist der zufällige Effekt von jährlichen Bedingungen im Jahr j. l ist der zufällige Effekt von regionalen Bedingungen in der Region r. ϵ_{jkl} ist der Fehlerterm.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R CORE TEAM, 2014) und darin mit den Paketen 'agricolae' (STEEL et al., 1997), 'polycor' (FOX, 2015) und 'lme4' (BATES et al., 2015).

Ergebnisse

Einsatz und Intensität von Glyphosat zur Vorerntebehandlung

Die durchschnittlichen mit glyphosathaltigen Herbiziden zur Vorerntebehandlung behandelten Felder (%) unterschieden sich nicht signifikant zwischen den untersuchten Kulturen, eine Ausnahme bildet nur Wintergerste (Tab. 1). Im Durchschnitt der vier Regionen wird auf 8,7 % der Felder eine Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung durchgeführt, der höchste Anteil in Wintergerste.

Die Intensität (BI_{Gly}) der Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden unterscheidet sich auf den behandelten Feldern nicht signifikant zwischen den Fruchtarten. Der BI_{Gly} beträgt im Mittel der untersuchten Fruchtarten 0,65.

Tab. 1 Durchschnittlich behandelte Felder pro Fruchtart und Intensität (BI_{Gly}) der Vorerntebehandlung (behandelte Ackerfläche). Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Fruchtarten.

Tab. 1 Average of treated fields per crop and Treatment Frequency Index (TFI_{Gly}) of pre-harvest measurements. Different letters in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the crops.

	Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden	
	Behandelte Felder (%)	BI_{Gly} (auf behandelten Feldern)
Winterweizen	7,0 ^a	0,6 ^a
Winterroggen	7,9 ^a	0,6 ^a
Wintergerste	30,0 ^b	0,7 ^a
Winterraps	9,6 ^a	0,7 ^a
Σ	8,7	0,65

Einfluss der Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung auf den Gesamt-Herbizideinsatz

Abbildung 2 stellt den Gesamt-Herbizideinsatz (BI_{tot}) in Abhängigkeit von der Glyphosatanwendung dar. Verglichen werden Herbizidstrategien mit Vorerntebehandlung (VE) sowie Herbizidstrategien ohne Vorerntebehandlung (ohne VE).

Für alle untersuchten Fruchtarten gilt: Die Intensität des Gesamt-Herbizideinsatzes (BI_{tot}) unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den unterschiedlichen Herbizidstrategien.

Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen und dem Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung

Tabelle 3 beschreibt, wie der Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung durch die Faktoren selektiver Herbizideinsatz und Bodenbearbeitung im gemischten Modell erklärt wird. Für jede Untersuchungsregion wurde ein individuelles Modell erstellt. Im Modell jeder Fruchtart waren alle zu prüfenden Faktoren enthalten, die nachfolgend beschriebenen Effekte wurden gleichzeitig nachgewiesen.

Der BI_{Gly} zur Vorerntebehandlung unterschied sich zwischen den untersuchten Fruchtarten und Regionen. Als Einflussfaktor auf den BI_{Gly} zur Vorerntebehandlung wurde in allen Fruchtarten der selektive Herbizideinsatz in der Kultur identifiziert, mit Ausnahme der Wintergerste in den östlichen Regionen Fläming und Oder-Spree. Auf Feldern mit stärkerem selektivem Herbizideinsatz wurde weniger Glyphosat eingesetzt. Dieser Effekt zeigte sich stärker bei Winterraps und Winterweizen.

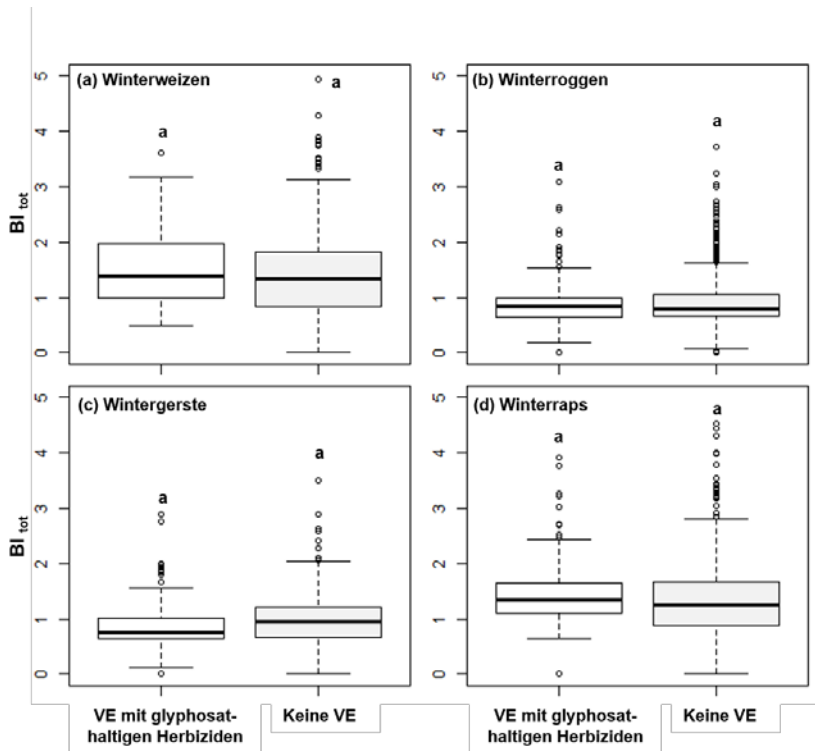


Abb. 2 Gesamt-Herbizideinsatz (BI_{tot}) in Abhängigkeit von der Glyphosatanwendung. Ohne Vorerntebehandlung (keine VE), mit Vorerntebehandlung (VE mit glyphosathaltigen Herbiziden). Gleiche Buchstaben zeigen keine signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen.

Fig. 2 Total herbicide use (BI_{tot}) depending on glyphosate application. Without pre-harvest application (without VE), with pre-harvest application (VE with pre-harvest glyphosate application). Equal letters indicates no significant differences ($p < 0.05$) between the groups.

In den westlichen Regionen Diepholz und Uelzen wiesen Anbauverfahren mit wendender Bodenbearbeitung in allen Fruchtarten signifikant geringere Glyphosatintensitäten zur Vorerntebehandlung im Vergleich zu nicht-wendenden Verfahren auf.

Interaktionen zwischen dem selektiven Herbizideinsatz und der Bodenbearbeitung wurden im Modell getestet, erwiesen sich allerdings als nicht signifikant.

Tab. 3 Einfluss von selektiver Herbizidintensität und Bodenbearbeitung auf die Glyphosatintensität zur Vorerntebehandlung (BI_{Gly}) in Winterweizen (WW), Winterroggen (WR), Wintergerste (WG) und Winterraps (WRA). DH: Diepholz, UE: Uelzen, FL: Fläming, LOS: Oder-Spree. Signifikanz: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, n.s $P > 0,05$.

Tab. 3 Effect of selective herbicide use intensity and plough tillage on TFI_{GBH} in winter wheat (WW), winter rye (WR), winter barley (WG) and winter oilseed rape (WRA). DH: Diepholz, UE: Uelzen, FL: Fläming, LOS: Oder-Spree. Significance codes: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ and *** $P < 0.001$.

		DH	UE	FL	LOS
	BI_{Gly}				
WW	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,3	0,3	0,3	0,4
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,2***	+0,3***	+0,4***	+0,2***
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	+0,1**	+0,1**	n.s	n.s
WR	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,2	0,3	0,4	0,4
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,2***	+0,1***	+0,3***	+0,3***
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	-	+0,1**	n.s	n.s
WG	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,5	0,5	0,8	0,8
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,1*	+0,2*	n.s	n.s
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	+0,1**	+0,1**	n.s	n.s
WRA	Referenz: Selektiver Herbizideinsatz + wendende Bodenbearbeitung	0,3	0,2	0,3	0,6
	Effekt				
	Reduktion $BI_{sel} = 1$	+0,4***	+0,4***	+0,4***	+0,2***
	Nicht-wendende Bodenbearbeitung	+0,3***	+0,3***	+0,1**	+0,1**

Diskussion

In unserer Studie analysierten wir einen umfangreichen Datensatz zum Einsatz von Glyphosat zur Vorerntebehandlung im Zusammenhang mit selektiven Herbiziden in vier Regionen Norddeutschlands über den Zeitraum von 2005 bis 2014. In dem Untersuchungszeitraum waren Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden zur Sikkation uneingeschränkt zugelassen, es wurde auf 8,7 % der Felder eine Glyphosatanwendung zur Vorerntebehandlung durchgeführt.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass selektive Herbizidmaßnahmen in der Kultur mit der Notwendigkeit und Intensität der Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden im Ackerbau zusammenhingen. Hinzu kommt die Art der Bodenbearbeitung, wendende Verfahren reduzierten die Glyphosatintensitäten zur Vorerntebehandlung. Unkrautbekämpfungsverfahren, in denen höhere selektive Herbizidintensitäten und wendende Bodenbearbeitung kombiniert waren, reduzierten die Vorerntebehandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden um BI_{Gly} 0,1-0,4, dies entspricht einer eingesparten Applikation mit 10-40 % der zugelassenen Aufwandmenge auf dem gesamten Schlag.

Unkrautmanagement wird in vielen Ackerbaukulturen überwiegend durch den Einsatz selektiver Herbizide durchgeführt (CARVER, 2009; JABRAN et al., 2017). Unter der Annahme, dass Landwirte zum Zeitpunkt der Unkrautbekämpfung mit selektiven Herbiziden nicht bereits eine Vorerntebehandlung einplanen, sollte die Sikkationsanwendung, nach dem Konzept des Integrierten Pflanzenschutzes, eine Notfallmaßnahme darstellen und den Gesamt-Herbizideinsatz zusätzlich erhöhen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass sich Unkrautbekämpfungsverfahren ohne Vorerntebehandlung in der Intensität des Gesamt-Herbizideinsatzes nicht signifikant von Verfahren mit Vorerntebehandlung unterscheiden. Dies

deutet darauf hin, dass selektive Herbizidmaßnahmen durch Vorerntebehandlungen substituiert werden, da intensivere Vorerntebehandlungen mit geringeren Intensitäten selektiver Herbizide in den vorliegenden Auswertungen verbunden waren. Die Herbizidmaßnahmen verschieben sich zeitlich im betriebspezifischen Management.

Die Beschränkungen der Sikkationsanwendungen werden zur Reduktion der Glyphosatanwendungen in der Vorernte führen, die eingesetzten Mengen werden abnehmen. Infolge dessen werden Landwirte vermutlich mehr selektive Herbizide einsetzen. Es gilt aus diesem Grund in den nächsten Jahren zu prüfen, wie die Beschränkung der Vorerntebehandlung mit glyphosathaltigen Herbiziden auf den Einsatz selektiver Herbizidmaßnahmen in der Kultur wirkt. Dies trifft im besonderen Maße auf Unkrautbekämpfungsstrategien zu, in denen vor der Beschränkung der Sikkation glyphosathaltige Herbizide auf sämtlichen Feldern ausgebracht wurden und als Standardmaßnahme im Unkrautmanagement eingesetzt wurden.

Die Intensität der glyphosathaltigen Herbizide zur Vorerntebehandlung variiert zwischen den untersuchten Regionen. Vorangegangene Auswertungen belegen, dass der Gesamt-Herbizideinsatz sich zwischen den untersuchten Regionen nicht signifikant unterschied, sich in den westlichen Regionen jedoch aus einem höheren Einsatz selektiver Herbizide und einer geringeren Glyphosatintensität zusammensetzt (ANDERT et al., 2015). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen ebenfalls, dass der Glyphosateinsatz in den östlichen Regionen höher ist, besonders in Wintergerste. Vorangegangene Studien beschreiben die Betriebsgröße (ANDERT et al., 2016), den Arbeitskräftebesatz (WIESE et al., 2017) sowie die Bodenbearbeitung (NAIL et al., 2007; COOK et al., 2010; STEINMANN et al., 2012) als wesentliche Einflussfaktoren auf den Glyphosateinsatz im Ackerbau. Nicht-wendende Bodenbearbeitung wird häufig auf flächenstarken Betrieben in den östlichen Regionen Deutschlands durchgeführt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014). Auf großen Betrieben wurden arbeitsintensive Managementmaßnahmen wie Bodenbearbeitung häufiger durch Herbizidmaßnahmen substituiert (GÜNTHER und PALLUTT, 2008). Auch wurden Arbeitsspitzen mit zusätzlichen Pflanzenschutz-Maßnahmen abgefangen, wenn andere Maßnahmen nicht termingerecht durchgeführt werden konnten (GLEN, 2000; HESLER et al., 2005; BÜRGER et al., 2012). Die Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen der Intensität selektiver Herbizidmaßnahmen, Bodenbearbeitung und dem Einsatz von Vorerntebehandlung bestätigen, dass nicht-wendende Bodenbearbeitung den Glyphosat-Einsatz auch zu diesem Zeitpunkt signifikant gesteigert hat.

Vorerntebehandlungen mit selektiven Herbiziden können durch gezieltes Management in der Kultur vermieden werden, indem selektive Herbizidmaßnahmen gezielt mit wendender Bodenbearbeitung kombiniert werden. Dieses Vorgehen entspricht den Grundsätzen für die Durchführung der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz (BMEL, 2010).

Danksagungen

Das Projekt "Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland (NaLaMa-nT)" wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Projekt-Nr.: 033L029E) gefördert. Besonderer Dank gilt den 60 Landwirten aus den Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree, die durch die Bereitstellung Ihrer Betriebsdaten diese Arbeit ermöglicht haben.

Literatur

- ANDERT, S., J. BÜRGER und B. GEROWITT, 2015: On-farm pesticide use in four Northern German regions as influenced by farm and production conditions. *Crop Protection* **75**, 1-10.
- ANDERT, S., J. BÜRGER und B. GEROWITT, 2016: Bestimmungsfaktoren für regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau Norddeutschlands. *Julius-Kühn-Archiv* **452**, 263-269.
- AOUADI, N., J.N. AUBERTOT, J. CANEILL und N. MUNIER-JOLAIN, 2015: Analyzing the impact of the farming context and environmental factors on cropping systems: A regional case study in Burgundy. *European Journal of Agronomy* **66**, 21-29.
- BATES, D., M. MAECHLER, B. BOLKER und S. WALKER, 2015: Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software* **67**, 1-48.
- BENBROCK, C.M., 2016: Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Science Europe* **28**, 1-15.

28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.02. – 01.03.2018 in Braunschweig

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL), 2010: Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz. Bundesanzeiger Nr. **76a**.

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. *Agricultural Systems* **11**, 13-22.

BVL - BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2014: Zulassungsstand von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln und die weitere Entwicklung im Zulassungsverfahren. <http://www.bfr.bund.de/cm/343/zulassungsstand-von-glyphosathaltigen-pflanzenschutzmitteln-und-die-weitere-entwicklung-im-zulassungsverfahren.pdf>

CARVER, B.F., 2009: *Wheat: Science and Trade*. Wiley Online Library, Iowa, USA. ISBN: 978-0-8138-2024-8.

COOK, S., S. WYNN und J. CLARKE, 2010: Glyphosate a necessary herbicide. How valuable is Glyphosate to UK agriculture and environment? *Outlooks on Pest Management*, 280-283.

DUKE, S.O. und S.B. POWLES, 2008: Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science* **64**, 319-325.

EPA, 2012: Pesticide Industry Sales and Usage. <http://www.epa.gov/opp00001/pestsales/>.

EUROPEAN COMMISSION, 2007: The Use of Plant Protection Products in the European Union. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>.

FOX, J., 2015: Polycor: Computes polychoric and polyserial correlations by quick "two-step" methods or ML, optionally with standard errors; tetrachoric and biserial correlations are special cases. <http://cran.r-project.org/web/packages/polycor/polycor.pdf>.

GLEN, D., 2000: The effects of cultural measures on cereal pests and their role in integrated pest management. *Integrated Pest Management. Review* **5**, 25-40.

GÜNTHER, A. und B. PALLUTT, 2008: Investigations of intensity of herbicide treatment in winter wheat in six arable farms and considerations about needed minimum. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue* **21**, 547-554.

HESLER, L., W. RIEDELL und M.O.S. LANGHAM, 2005: Insect infestations, incidence of viral plant diseases, and yield of winter wheat in relation to planting date in the northern Great Plains. *Journal of Economic Entomology* **98**, 2020-2027.

HILLOCKS, R.J., 2012: Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop Protection* **31**, 85–93.

JABRAN, K., K. MAHMOOD, B. MELANDER, A.A. BAJWA und P. KUDSK, 2017: Weed Dynamics and Management in Wheat. *Advances in Agronomy* **145**, 97-166.

JØRGENSEN, L.N., E. NOE, G.C. NIELSEN, J.E. JENSEN, J.E. ØRUM und H. PINNSCHMIDT, 2009: Problems with disseminating information on disease control in cereals to farmers. *European Journal of Plant Pathology* **121**, 303-312.

MYERS, S., M.N. ANTONIOU, B. BLUMBERG, L. CARROLL, T. COLBORN, L.G. EVERETT, M. HANSEN, P.J. LANDRIGAN, B.P. LANPHEAR, R. MESNAGE, L.N. VANDENBERG, F.S. VOM SAAL, W.V. WELSHONS und C.M. BENBROOK, 2016: Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. *Environmental Health* **15**, 19.

NAIL, E.L., D.L. YOUNG und W.F. SCHILLINGER, 2007: Diesel and glyphosate price changes benefit the economics of conservation tillage versus traditional tillage. *Soil Tillage Research* **94**, 321-327.

PAGANELLI, A., V. GNAZZO, H. ACOSTA, S.L. LOPEZ und A.E. CARRASCO, 2010: Glyphosatebased herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling. *Chemical Research in Toxicology* **23**, 1586-1596.

R CORE TEAM, 2014: R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

ROBBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN und M. WICK, 2002: NEPTUN 2000 – Survey into Application of Chemical Pesticides in Agricultural Practice in Germany. *Reports from BBA* **98**.

STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014: Bodennutzung der Betriebe (Struktur der Bodennutzung) - Agrarstrukturhebung - Fachserie **3** Reihe 2.1.2.

STEEL, R., J. TORRI und D. DICKEY, 1997: *Principles and Procedures of Statistics a Biometrical Approach*, third ed., p. 178.

STEINMANN, H.H., M. DICKEDUISBERG und L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* **42**, 164-169.

WEERSINK, A., R.S. LLEWELLYN und D.J. PANNELL, 2005: Economics of pre-emptive management to avoid weed resistance to glyphosate in Australia. *Crop Protection* **24**, 659-665.

WIESE, A., M. SCHULTE, L. THEUVSEN und H.H. STEINMANN, 2017: Interactions of glyphosate use with farm characteristics and cropping patterns in Central Europe. *Pest Management Science*. DOI: 10.1002/ps.4542.

WYNN, S.C., S.K. COOK und J.H. CLARKE, 2014: Glyphosate Use on Combinable Crops in Europe. Implications for Agriculture and the Environment. *Outlook Pest Management* **25**, 327–331.