

Bestimmungsfaktoren für regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau Norddeutschlands

Influencing factors on regional differences in glyphosate use in North German arable farming

Sabine Andert*, Jana Bürger, Bärbel Gerowitt

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Phytomedizin, Universität Rostock,
Satower Straße 48, 18051 Rostock

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



DOI 10.5073/jka.2016.452.036

Zusammenfassung

Glyphosat ist der weltweit meist verwendete Herbizidwirkstoff. Die hohen Anwendungsmengen von Glyphosat führen jedoch zur kritischen Betrachtung des Wirkstoffes in Gesellschaft, Politik und Wissenschaft.

In der vorliegenden Studie wurde der Glyphosat-Einsatz im Ackerbau von jeweils 15 Betrieben in vier Regionen in Norddeutschland über einen Zeitraum von zehn Jahren (2005 bis 2014) ermittelt und es wurden Bestimmungsfaktoren für den Einsatz analysiert. Die Betriebsstrukturen und natürlichen Produktionsbedingungen (Boden, Klima) unterscheiden sich zwischen den Regionen (Diepholz, Uelzen, Fläming, Oder-Spree).

Zur Auswertung der Glyphosat-Maßnahmen wurde der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet. Der Zusammenhang zwischen den betrieblichen Managementfaktoren und der Glyphosat-Intensität wurde mittels multipler Regressionen analysiert.

Die Glyphosat-Intensität unterscheidet sich zwischen den betrachteten Regionen und den untersuchten Fruchtarten deutlich. Die Betriebe in den östlichen Regionen (Fläming und Oder-Spree) wendeten signifikant höhere Mengen an Glyphosat auf. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Variabilität der Glyphosat-Intensität hauptsächlich durch den Faktor „Betrieb“ beeinflusst wird. Es konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Glyphosat stark von Bodenbearbeitung, Betriebsart, Betriebsgröße und Arbeitskräftebesatz abhängig ist.

Häufiger Glyphosat Einsatz und nicht wendende Bodenbearbeitung traten besonders häufig auf groß strukturierten Betrieben in den östlichen Regionen auf. Daraus wird geschlussfolgert, dass diese Betriebe entweder aufgrund klimatischer Gegebenheiten oder wirtschaftlicher Zwänge ihre Anbausysteme anpassen.

Stichwörter: Ackerbau, Behandlungsindex, Glyphosat-Intensität, Statistische Erhebungen

Abstract

Glyphosate is the worldwide mostly used herbicide substance. Glyphosate use in arable cropping is under strong discussion in scientific and public communities.

In the present study, we investigated the use of glyphosate from 15 farms in four districts in North German arable farming from 2005 until 2014. Objective of our research is to reveal influencing factors on glyphosate use intensity. The farm structures differ between two West districts (Diepholz, Uelzen) and two East districts (Fläming, Oder-Spree).

We used the Standardised Treatment Index (STI) to quantify pesticide use intensity. We used multiple regressions to estimate the relationship between farm characteristics and glyphosate use.

Glyphosate use intensity differs substantially between the study districts and crops. Farmers in the Eastern districts (Fläming and Oder-Spree) used significantly larger amounts of glyphosate. We further proved that the variability of glyphosate use was mainly influenced by the factor "Farm". Moreover, we could show that glyphosate use is significantly influenced by the factors tillage, farm type, farm size and on-farm labour.

Non-inversion tillage and glyphosate use co-occurrences mainly on large farms in the East German districts. Hence, we conclude that these farms either regionally adapt their cropping systems due to climatic reasons or for economic profit.

Keywords: Arable farming, glyphosate use intensity, standardised treatment index (STI), statistical surveys

Einleitung

Glyphosat (N-(phosphonomethyl)glycin) ist der weltweit meist verwendete Herbizidwirkstoff (European Commission, 2007; DUKE und POWLES, 2008; EPA, 2012). In Deutschland hat sich der Einsatz von Glyphosat zwischen 1999-2010 um 100 % erhöht (STEINMANN et al., 2013). Der gesamtwirtschaftliche Nutzen durch den Glyphosat-Einsatz in Deutschland, durch Einsparungen anderer landwirtschaftlicher Maßnahmen, wie Bodenbearbeitung und den Einsatz von Nachauflauf-Herbiziden, wird auf 79-202 Millionen Euro pro Jahr geschätzt, abhängig vom Glyphosat-Preis (STEINMANN et al., 2012).

Die hohen Anwendungsmengen von Glyphosat führen jedoch zur kritischen Betrachtung des Wirkstoffes in Gesellschaft, Politik und Wissenschaft, diese Interessengruppen fordern stärkere Reglementierungen (WEERSINK et al., 2005; DUKE und POWLES, 2008; PAGANELLI et al., 2010).

Studien beschreiben den großen betrieblichen und wirtschaftlichen Nutzen von Glyphosat in der Betriebs- und Anbauplanung (COOK et al., 2010; STEINMANN et al., 2012). Nicht-wendende Bodenbearbeitung wird häufig durch den Einsatz von Glyphosat auf einer Fläche kompensiert (NAIL et al., 2007; STEINMANN et al., 2012).

In der vorliegenden Studie werden Bestimmungsfaktoren für den Glyphosat-Einsatz im Ackerbau untersucht. Es wird angenommen, dass regionale Unterschiede in den Produktionsstrukturen unterschiedliche Glyphosat-Intensitäten bedingen. Weiterhin werden mögliche Faktoren im Betrieb fokussiert, die in Verbindung mit höheren oder niedrigeren Glyphosat-Intensitäten stehen.

Material und Methoden

Es wurden Daten zum Glyphosat-Einsatz aus vier Regionen Norddeutschlands untersucht (ANDERT et al., 2015). Im Rahmen des Projektes "Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland (NaLaMa-nT)" wurde die Intensität der Pflanzenschutzmittel-Anwendungen in den Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree über einen zehnjährigen Untersuchungszeitraum (2005-2014) analysiert. 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.

In jeweils 15 Betrieben der Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree (Abb. 1) wurden über den Zeitraum von 2005 bis 2014 Daten zum Einsatz von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln aller Schläge erfasst. Es wurden ca. 20.000 Schläge mit 15.000 Glyphosatmaßnahmen der Kulturen Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.), Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Winterroggen (*Secale cereale* L.), Winterraps (*Brassica napus* L.) und Mais (*Zea mays* L.) erfasst.

Darüber hinaus wurden Angaben der Betriebe zur Betriebsgröße, Ackerfläche, Betriebsart, Rechtsform, Arbeitskräftebesatz, Entscheidungsträger und Beratung dokumentiert. Die Bereitstellung der Daten durch die Betriebe erfolgte auf freiwilliger Basis.

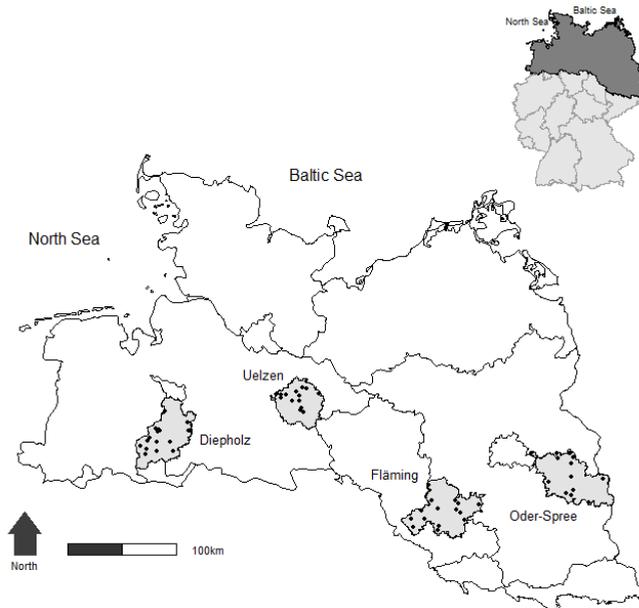


Abb. 1 Geografische Lage der Standorte der landwirtschaftlichen Betriebe in den vier Regionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree in Norddeutschland.

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

Zur Darstellung und zum Vergleich der Glyphosat-Intensitäten wurde der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (ROSSBERG et al., 2002). Der Behandlungsindex eines Schläges in einem Erntejahr wird aus allen Behandlungen mit glyphosathaltigen Herbiziden berechnet, Maßnahmen zwischen Saat und Ernte werden der nachfolgenden Kultur angerechnet. Der Glyphosat-BI eines Betriebes errechnet sich aus dem arithmetischen, flächengewichteten Mittel aller Schläge über den Erhebungszeitraum. Dieses Verfahren weicht geringfügig vom Verfahren NEPTUN 2000 ab. Dort wurde der Betriebsmittelwert aus dem einfachen arithmetischen Mittel der berechneten Behandlungsindices der jeweiligen Untereinheiten errechnet (ROSSBERG et al., 2002).

Alle Auswertungen wurden mittels linearen gemischten Modellen durchgeführt, in denen der BI-Glyphosat_{fj} die Glyphosat-Intensität eines Feldes (f) in einem Jahr (j) darstellt, μ ist der Erwartungswert, \mathcal{E}_{fj} ist der Fehlerterm.

Das Modell zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Regionen und dem BI lautet:

$$\text{BI-Glyphosat}_{fj} = \mu + R_j + k_j + \mathcal{E}_{fj} \quad (1)$$

R beschreibt den fixen Effekt der Region im Jahr (j). k_j ist der zufällige Effekt von Bedingungen im Jahr j.

Der Zusammenhang zwischen den Betriebsfaktoren und dem BI-Glyphosat wird durch das nachfolgende Modell dargestellt.

$$\text{BI-Glyphosat}_{fj} = \mu + F1_{fj} + F2_{fj} + \dots + k_j + l_r + \mathcal{E}_{ijkl} \quad (2)$$

F1, F2, etc. beschreiben die fixen Effekte der betrieblichen Faktoren eines Feldes (f) im Jahr (j). k_j ist der zufällige Effekt von jährlichen Bedingungen im Jahr j, l ist der zufällige Effekt von regionalen Bedingungen in der Region r.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R Core Team, 2014) und darin mit den Paketen 'polycor' (Fox, 2015) und 'lme4' (BATES et al., 2015).

Ergebnisse

Tabelle 1 stellt dar, dass die untersuchten Fruchtarten in unterschiedlichem Maße mit Glyphosat behandelt werden. Die winterannuellen Getreidearten sind die Fruchtarten mit der höchsten eingesetzten Glyphosatmenge.

Die Glyphosat-Intensität unterscheidet sich ebenfalls deutlich zwischen den betrachteten Regionen in den untersuchten Fruchtarten (Tab. 1). Die Betriebe in den östlichen Regionen (Fläming und Oder-Spree) wendeten signifikant höhere Mengen an Glyphosat auf als die Betriebe der westlichen Regionen (Diepholz und Uelzen).

Tab. 1 Glyphosat-Intensität in Wintergerste, Winterweizen, Winterroggen, Winterraps und Mais. BI = Behandlungsindex, beschreibt mittlere Glyphosat-Intensität der Region Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree im Zeitraum 2005-2014, sd = Standardabweichung. Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalten signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Regionen.

Tab. 1 *Glyphosate use in winter barley, winter wheat, winter rye, winter oilseed rape and maize. Mean Standardised Treatment Index (STI) per district between 2005-2014 in Diepholz, Uelzen, Fläming and Oder-Spree. Sd: standard deviation. Different letters in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the districts.*

Region	Wintergerste		Winterweizen		Winterroggen		Winterraps		Mais	
	BI	sd								
Diepholz	0,2^c	0,4	0,2^b	0,5	0,0^b	0,1	0,0^b	0,1	0,0^c	0,1
Uelzen	0,1^c	0,3	0,1^b	0,3	0,1^b	0,3	0,0^b	0,1	0,1^b	0,3
Fläming	0,3^b	0,6	0,3^a	0,6	0,3^a	0,6	0,1^a	0,3	0,2^a	0,4
Oder-Spree	0,4^a	0,6	0,3^a	0,6	0,1^b	0,3	0,2^a	0,5	0,1^b	0,3

Tabelle 2 fasst die Auswirkungen der geprüften Betriebsfaktoren auf die Glyphosat-Intensität zusammen. Die Betriebseigenschaften, die Region und das Jahr erklären zusammen 56-71 % der Varianz der Glyphosat-Intensität im Datensatz. Im Modell jeder Fruchtart waren alle zu prüfenden Faktoren enthalten, die nachfolgend beschriebenen Effekte wurden gleichzeitig nachgewiesen.

Als Einflussfaktoren auf den Einsatz von Glyphosat wurden in allen Fruchtarten die Faktoren Bodenbearbeitung, Betriebsart, Betriebsgröße sowie Arbeitskräftebesatz identifiziert. Nichtwendende Bodenbearbeitung erhöht signifikant den Glyphosat-Einsatz. Ackerbaubetriebe weisen signifikant höhere Glyphosat-Intensitäten als Gemischtbetriebe auf, mit Ausnahme der Kultur Mais. Weiterhin beeinflusst eine steigende Betriebsgröße den Glyphosat-BI signifikant positiv. Hingegen sinkt die Glyphosat-Intensität mit steigendem Arbeitskräftebesatz signifikant, wiederum mit Ausnahme von Mais.

Die Varianzkomponenten des Modells zeigen, dass die Betriebseinflüsse auf die Glyphosat-Intensität größer sind als die Regions- und Jahreseffekte.

Tab. 2 Einflussfaktoren auf den Glyphosat-Behandlungsindex der Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Mais. Die Faktoren Rechtsform, Beratung, Verantwortlicher für Pflanzenschutz-Entscheidungen sowie dessen Berufserfahrung wurden geprüft und waren nicht signifikant. Unterschiedliche Buchstaben zwischen zwei Effektstufen signalisieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Tab. 2 Influencing factors on glyphosate treatment frequency index of winter wheat, winter barley, winter rye, winter rape and maize. The factors organization form, consulting, responsible person for pesticide use decisions and whose professional experience have been tested and were not significant. Different letters between effects represent significant differences ($p < 0.05$) between the districts.

	Winterweizen	Wintergerste	Winterroggen	Winterraps	Mais
Erklärte Varianz durch das Modell	65 %	69 %	71 %	60 %	56 %
Anteil der fixen Faktoren an der erklärten Varianz durch das Modell	19 %	12 %	11 %	21 %	10 %
Feste Effekte	BI (sd)				
Bodenbearbeitung					
Wendend	0,30 ^a (0,3)	0,10 ^a (0,4)	0,10 ^a (0,3)	0,17 ^a (0,2)	0,10 ^a (0,1)
Nicht wendend	0,50 ^b (0,3)	0,50 ^b (0,4)	0,40 ^b (0,4)	0,24 ^b (0,2)	0,50 ^b (0,5)
Betriebsart:					
Ackerbaubetrieb	0,60 ^b (0,4)	0,40 ^b (0,3)	0,25 ^b (0,2)	0,30 ^b (0,3)	0,20 ^a (0,2)
Gemischtbetrieb	0,30 ^a (0,3)	0,20 ^a (0,3)	0,15 ^a (0,1)	0,16 ^a (0,2)	0,50 ^b (0,4)
Betriebsgröße:					
> 2500 ha	0,50 ^b (0,3)	0,35 ^b (0,2)	0,30 ^b (0,3)	0,28 ^b (0,3)	0,25 ^a (0,2)
< 2500 ha	0,20 ^a (0,2)	0,20 ^a (0,2)	0,15 ^a (0,1)	0,14 ^a (0,2)	0,40 ^b (0,3)
Arbeitskräftebesatz:					
> 1,0	0,20 ^a (0,2)	0,20 ^a (0,2)	0,10 ^a (0,1)	0,16 ^a (0,2)	0,20 ^a (0,2)
< 1,0	0,60 ^b (0,4)	0,35 ^b (0,3)	0,25 ^b (0,2)	0,30 ^b (0,3)	0,35 ^b (0,2)
Zufällige Effekte	Varianz (sd)				
- Region	0,05 (0,2)	0,10 (0,3)	0,05 (0,2)	0,00 (0,0)	0,10 (0,3)
- Betrieb	0,30 (0,5)	0,20 (0,4)	0,30 (0,5)	0,20 (0,5)	0,20 (0,5)
- Jahr	0,10 (0,3)	0,10 (0,3)	0,20 (0,4)	0,10 (0,3)	0,10 (0,3)
- Residual	0,10 (0,3)	0,30 (0,5)	0,20 (0,4)	0,10 (0,3)	0,20 (0,4)

Diskussion

Es wurde ein umfangreicher Datensatz zum Einsatz von Glyphosat in verschiedenen Regionen Norddeutschlands analysiert. Die Ergebnisse belegen regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau. Ergebnisse von ANDERT et al. (2015) zeigen Unterschiede in der Intensität des gesamten Pflanzenschutzmittel-Einsatzes in den betrachteten Regionen Norddeutschlands. Jedoch wurde in dieser Studie ein entgegengesetzter räumlicher Gradient in der Intensität der ausgebrachten Pflanzenschutzmittel ermittelt. Im Gegensatz zum Gesamt-Pflanzenschutzmittel-Einsatz steigt der Glyphosat-Einsatz von West nach Ost an. Dies lässt sich auf Unterschiede in den Produktionsstrukturen der Betriebe zwischen den östlichen und westlichen Regionen zurückführen.

Die Bedeutung des einzelnen Betriebes für die Glyphosat-Intensität, übergeordnet über die regionalen Anbaubedingungen, wurde nachgewiesen. Es konnten Unterschiede in den Betriebseigenschaften und Managementstrategien aufgezeigt werden, die Einfluss auf die Verwendung von Glyphosat nehmen. Doch welche Betriebsfaktoren der östlichen Regionen führen nun zu einem erhöhten Einsatz von Glyphosat in den Regionen Fläming und Oder-Spree?

Ergebnisse von HAMMOND et al. (2006) beschreiben die Betriebsgröße als einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Gesamt-Pflanzenschutz-Intensität. Die vorliegenden Ergebnisse belegen ebenfalls, dass die Betriebsgröße den Glyphosat-BI signifikant beeinflusst. Mit zunehmender Betriebsgröße steigt die Glyphosat-Intensität an. Regionsübergreifend steigt in allen untersuchten

Kulturen die Glyphosat-Intensität signifikant mit sinkendem Arbeitskräftebesatz der Betriebe. Übereinstimmend zu vorangegangenen Studien wird auch bestätigt, dass nicht-wendende Bodenbearbeitung häufig durch den Einsatz von Glyphosat kompensiert wird (NAIL et al., 2007; COOK et al., 2010; STEINMANN et al., 2012). Nicht-wendende Bodenbearbeitung wird häufig auf flächenstarken Betrieben in den östlichen Regionen Deutschlands durchgeführt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014). Auf größeren Betrieben in den östlichen Regionen werden arbeitsintensive Managementmaßnahmen wie Bodenbearbeitung durch Herbizidmaßnahmen substituiert (GÜNTHER und PALLUTT, 2008) oder Arbeitsspitzen werden mit zusätzlichen Pflanzenschutz-Maßnahmen abgefangen, wenn andere Maßnahmen nicht termingerecht durchgeführt werden können (GLEN, 2000; HESLER et al., 2005; BÜRGER et al., 2012). Dies deutet auf veränderte Produktionssysteme und daraus entstehende arbeitswirtschaftliche Zwänge hin. Glyphosat ist nicht nur ein Herbizid, sondern vor allem auch ein Ackerbauinstrument (STEINMANN et al., 2012).

Darüber hinaus wurde eine signifikant höhere Glyphosat-Intensität der spezialisierten Ackerbaubetriebe im Vergleich zu den viehhaltenden Gemischtbetrieben ermittelt. Dies wurde für den Gesamt-Pflanzenschutzmittel-Einsatz auch von anderen Autoren beobachtet (JØRGENSEN et al., 2009; AOUDI et al., 2015). Jedoch gilt dieser Effekt nicht pauschal für alle untersuchten Fruchtarten. Vermutlich führt die verschiedene Verwendung einer Frucht zu differenziertem Glyphosat-Einsatz. Mais wird intensiver in Gemischtbetrieben behandelt, während die winterannuellen Getreidearten sowie Winterraps intensiver mit Glyphosat in Ackerbaubetrieben behandelt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Ackerbaubetriebe stärker als Gemischtbetriebe Arbeitsspitzen in den Produktionsverfahren der winterannuellen Kulturen durch den Einsatz von Glyphosat substituieren.

Es wird bestätigt, dass nicht-wendende Bodenbearbeitung den Glyphosat-Einsatz signifikant steigert, dies trifft in besonderem Maße auf groß strukturierte Betriebe in den ostdeutschen Regionen zu. Es konnte jedoch nicht abschließend geklärt werden, wie diese Zusammenhänge verursacht werden. Es können ökonomische oder klimatische Gründe vorherrschen, die zu einem höheren Glyphosat-Einsatz führen. Möglich ist auch, dass Landwirte in den östlichen Regionen Bodenschutz und Bodenqualität stärker fokussieren, deshalb die Bodenbearbeitung reduzieren und mehr Glyphosat einsetzen.

Die Zusammenhänge zwischen den niedrigeren betrieblichen Arbeitskapazitäten und den signifikant höheren Glyphosat-Intensitäten deuten jedoch stark auf wirtschaftliche Aspekte in Bezug auf den Einsatz von Glyphosat im Ackerbau hin.

Danksagung

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. Julia Prüter und Pauline Riebe gilt ebenfalls Dank für die ersten Auswertungen zum Glyphosat-Einsatz in Ihrer Studienarbeit.

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.
- AOUDI, 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.
- 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.
- 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 XXI*, 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.
- 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.
- 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 and 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/>.
- ROSSBERG, 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) - Agrarstrukturerhebung - Fachserie 3 Reihe 2.1.2.
- STEINMANN, H.H., M. DICKEDUISBERG und L. THEUVSEN, 2012: Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* **42**, 164-169.
- STEINMANN, H.H., 2013: Glyphosat – ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. *Gesunde Pflanzen* **65**, 47-56.
- 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.