
Sektion 1: Ökonomie

Session 1: Economics

Fruchtfolgewirkungen auf den Herbizideinsatz in Winterweizen und Winterraps in Mecklenburg-Vorpommern

On-farm herbicide use in winter wheat and winter oilseed rape in Mecklenburg-Vorpommern as influenced by crop rotation

Andrea Ziesemer¹, Sabine Andert^{2*}

¹Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Dorfplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen

²Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur Phytomedizin, Universität Rostock, 18051 Rostock

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

DOI 10.5073/jka.2020.464.003



Zusammenfassung

Aus einem umfangreichen Datensatz landwirtschaftlicher Praxis-Daten wurden feldspezifische Fruchtsequenzen über einen Zeitraum von neun Jahren ausgewertet. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, den kombinierten Einfluss der Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizid-Einsatz landwirtschaftlicher Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern zu prüfen. Weiterhin wird der Zusammenhang zwischen Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Herbizidkosten und dem Ertrag untersucht. Dazu werden dreifeldrige Fruchtsequenzen bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber Unkräutern in Risikoklassen eingestuft und damit die indirekten Risiken der Vorfrüchte betrachtet.

Winterweizen und Winterraps werden in Mecklenburg-Vorpommern überwiegend in Fruchtsequenzen mit hohem Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern angebaut. Es zeigt sich, je diverser die Fruchtsequenzgestaltung, bei gleichzeitiger Intensivierung der Bodenbearbeitung, desto geringer ist die Intensität der eingesetzten Herbizide sowie der monetäre Aufwand für die Unkrautbekämpfung in beiden Kulturen. In Fruchtsequenzen mit hohem Anteil an Sommerkulturen und unter wendender Bodenbearbeitung wurde signifikant mehr Weizen geerntet.

Fruchtfolge und Bodenbearbeitung sind bedeutende Maßnahmen im integrierten Unkrautmanagement. Die Umsetzung in der Praxis erfordert Unterstützung der Landwirte durch Forschung, Beratungsdienste und Politik.

Stichwörter: Betriebsdaten, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmittel-Intensität, Risiko

Abstract

Nine-year data on chemical plant protection measures and field management were examined in winter wheat and winter oilseed rape. We investigated the contribution of crop rotation to the variability of herbicide use of farms in the north German region Mecklenburg-Vorpommern. Our study aimed at answering the question: do diverse crop sequences and intensive tillage practices lead to reduced herbicide use and herbicide costs in arable farming. Furthermore, we analyzed the field-specific relation between crop rotation and yield. We classified crop sequences (triplets of three succeeding crops) according to their susceptibility for weeds (= 'riskiness').

The crop sequences in our analysis were mostly classified as highly risky for weed infestations in winter wheat and winter oilseed rape. Herbicide use intensities and costs were smaller in more diverse crop sequences. Crop sequences including a high proportion of summer crops decreased herbicide use in winter wheat and winter oilseed rape. Moreover, our results prove that the crop diversification together with ploughing is an effective management measure, which leads to higher yields in winter wheat.

Crop rotation and tillage practices are important methods to control weeds in integrated weed management. More efforts on an advisory, scientific and political level are necessary to inform farmers in more detail about the advantages of crop diversity.

Keywords: On-farm data, pesticide use intensity, tillage, riskiness

Einleitung

Die Fruchtfolge ist ein wichtiger Bestandteil des integrierten Agrarmanagements. Abwechslungsreiche Fruchtfolgen beeinflussen die Leistungsfähigkeit landwirtschaftlicher Anbausysteme positiv und sind entscheidender Baustein für nachhaltige Agrarsysteme (BOCKSTALLER et al., 1997; BALL et al., 2005; LETEINTURIER et al., 2006, SILVA et al., 2017). Ihre Vorteile liegen in der Aufrechterhaltung der organischen Substanz und der Struktur des Bodens sowie in der Verringerung der Bodenerosion. Eine der wichtigsten Wirkungen der Fruchtfolge ist die Reduzierung der Unkräuter und Ungräser durch die Unterbrechung von Populationszyklen (BUHLER, 2002, CHIKOWO et al., 2009, MELANDER et al., 2013).

Die Verfügbarkeit mineralischer Dünger und das Portfolio der Herbizide erlauben gegenwärtig jedoch historisch kurze Fruchtfolgen bei gleichzeitig oft geringer Intensität der Bodenbearbeitung. In Mecklenburg-Vorpommern hat sich das Anbauverhältnis der Kulturarten in den zurückliegenden 30 Jahren stark verändert (STATISTISCHES AMT MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2018). Wirtschaftlich bedeutende Fruchtarten dominieren das Landschaftsbild. Vorrangig werden Winterweizen-, Raps und Mais angebaut.

Mit der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik 2014 (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2011) und der Biodiversitätsstrategie 2020 (SCIENCE FOR ENVIRONMENT POLICY, 2015) wurden bereits politische Anstrengungen unternommen, um dem Rückgang von Ökosystemdienstleistungen in intensiven landwirtschaftlichen Anbausystemen entgegenzuwirken (STEIN und STEINMANN, 2018). Ebenfalls sind die Landwirte in Europa verbindlich aufgefordert, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, durch die Einbeziehung der Grundsätze des Integrierten Pflanzenschutzes, zu verringern (Richtlinie der Europäischen Union (2009/128/EG) zur Nachhaltigen Verwendung von Pestiziden). ANDERT et al. (2016) belegten bereits den starken kombinierten Einfluss von Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizideinsatz. Die Autoren entwickelten einen Klassifizierungsschlüssel, der es erlaubt, das direkte Risiko von Vorfrucht und Vor-Vorfrucht zu analysieren.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, (i) den kombinierten Einfluss der Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizid-Einsatz landwirtschaftlicher Betriebe mittels der Klassifizierung von ANDERT et al. (2016) in Mecklenburg-Vorpommern zu prüfen. Weiterhin wird (ii) der Zusammenhang zwischen Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Herbizidkosten und dem Ertrag untersucht.

Material und Methoden

Datengrundlage

Im Rahmen der Auswertungen der Referenzbetriebe der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern wird ein umfangreicher Datensatz landwirtschaftlicher Praxis-Daten ausgewertet. Für den vorliegenden Beitrag werden feldspezifische Fruchtfolgen über einen Zeitraum von neun Jahren (2010-2018) rekonstruiert. Untersucht werden für diesen Beitrag die agronomischen und ökonomischen Kennzahlen hinsichtlich der kombinierten Wirkung von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung auf den Einsatz von Herbiziden in Winterweizen und Winterraps.

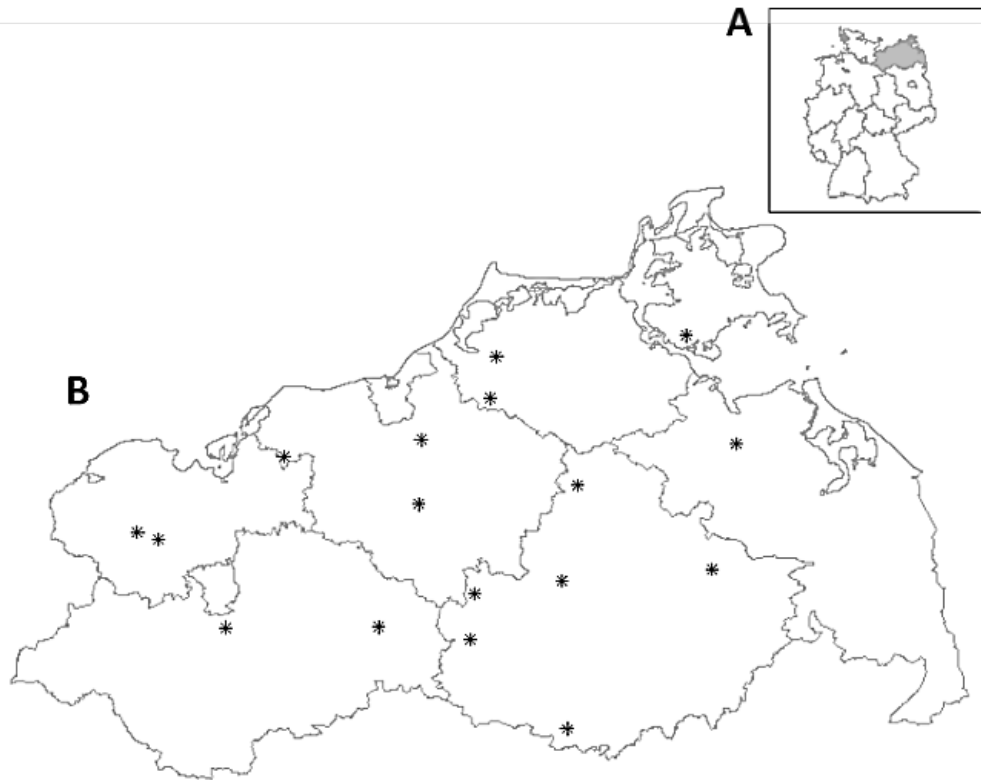


Abb. 1 Geografische Lage Mecklenburg-Vorpommerns (A) und Standorte der landwirtschaftlichen Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern (B).

Fig. 1 Locations of farms in Mecklenburg-Vorpommern.

Datenanalyse

Die Analyse beinhaltet (i) die Erstellung von kulturspezifischen Klassifizierungsschlüsseln bezüglich der Anfälligkeit gegenüber Unkräutern und Ungräsern, (ii) die Zuordnung von Risikoklassen zu dreifeldrigen Fruchtsequenzen aus Schlagdateien der Landwirte und (iii) die Analyse des Zusammenhanges zwischen Risikoklasse, Bodenbearbeitung und dem Herbizideinsatz.

- (i) Es werden dreifeldrige Fruchtsequenzen bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber Unkräutern in fünf Risikoklassen eingestuft (sehr hoch, hoch, mittel, gering, sehr gering) und die indirekten Risiken der Vorfrüchte betrachtet (Tab 1). Für Unkräuter richtet sich das Risiko danach, wie häufig Feldfrüchte aufeinander folgen, bei denen der Zeitpunkt der letzten Bodenbearbeitung gleich war.
- (ii) Die vorliegende Analyse beinhaltet 2258 Fruchtsequenzen.

Tab. 1 Klassifizierung der Risikoklassen bezüglich des Auftretens von Unkräutern in Abhängigkeit der Vorfrucht und Vor-Vorfrucht. Ma (Mais), WG (Wintergetreide), SG (Sommergetreide), HF (Hackfrüchte), WRa (Winterraps).

Tab. 1 Riskiness classes for weeds in a certain crop, according to its combination with the two preceding crops (pre-crop and pre-precrop). Ma (maize), WG (winter cereals), SG (spring cereals), HF (roots and tubers), WRa (winter oilseed rape).

Winterweizen			Winterraps		
Vorfrucht	Vor-Vorfrucht	Risikoklasse	Vorfrucht	Vor-Vorfrucht	Risikoklasse
WG	WG	sehr hoch	WG	WRa	sehr hoch
WRa	WG	hoch	WG	WG	hoch
WRa	HF/Ma/SG	mittel	WG	HF/Ma/SG	mittel
HF/Ma/SG	WG/WRa	gering	HF/Ma/SG	WRa	gering
HF/Ma/SG	HF/Ma/SG	sehr gering	HF/Ma/SG	HF/Ma/SG	sehr gering

(iii) Zur Darstellung und zum Vergleich der Herbizid-Intensitäten in den Fruchtsequenzen wird der Indikator Behandlungsindex (BI) verwendet (ROßBERG et al., 2002). Die Kosten der Herbizidanwendungen (€/ha), der Ertrag (dt/ha) und die herbizidkostenfreien Leistung (€/ha) beschreiben die Effizienz der Fruchtfolgeworkungen. Für die Ermittlung der Herbizidkosten wurde die betriebliche Aufwandmenge mit Standardpreisen berechnet (ATR, CERAVIS AG, 2019). Die herbizidkostenfreie Leistung ergibt sich aus der Marktleistung (Ertrag x Erzeugerpreis) abzüglich Herbizidkosten. Hierzu wurde der Ertrag mit einem Standardpreis für Winterraps sowie Qualitätsweizen multipliziert (MIO, 2019).

Statistische Auswertungen

Die Auswertungen zum Zusammenhang zwischen der Intensität der Risikoklasse, der Bodenbearbeitung und dem Einsatz von Herbiziden wurden mittels multipler Regressionen durchgeführt. Die Modelle lauten:

$$BI_{Herbizidfj} = \mu + RK_{fj} + BB_{fj} + RK_{fj} \times BB_{fj} + az_f + k_j + l_r + \epsilon_{jkl} \quad (1)$$

μ ist der Erwartungswert. (i) $BI_{Herbizidfj}$ ist die Herbizidintensität eines Feldes (f) im Jahr (j). RK_{fj} beschreibt den fixen Effekt der Risikoklasse eines Feldes (f) im Jahr (j), BB_{fj} ist der fixe Effekt der Bodenbearbeitung eines Feldes (f) im Jahr (j). Der Term $RK_{fj} \times BB_{fj}$ beschreibt die Interaktion zwischen der Risikoklasse und Bodenbearbeitung. az_f ist der zufällige Effekt der Bodengüte des Feldes f. k_j ist der zufällige Effekt von jährlichen Bedingungen im Jahr j. l_r ist der zufällige Effekt von regionalen Bedingungen in der Region r. ϵ_{jkl} ist der Fehlerterm.

Es wurden separate Modelle erstellt für die Herbizidkosten (€/ha), den Ertrag (dt/ha) und die herbizidkostenfreie Leistung (€/ha) mit den abhängigen Variablen $Kosten_{Herbizidfj}$, $Ertrag_{fj}$, herbizidkostenfreie Leistung_{fj}.

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Softwareumgebung R (R Core Team, 2014) und den Paketen 'car' (FOX und WEIßBERG, 2011), 'reshape' (WICKHAM, 2007) und 'lme4' (BATES et al., 2015).

Ergebnisse

Häufigkeit der Fruchtsequenzen je Risikoklasse

Winterweizen und Winterraps werden in den Referenzbetrieben Mecklenburg-Vorpommerns überwiegend in Fruchtsequenzen mit hohem Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern angebaut (Abb. 2). Für Winterweizen gilt (Abb. 2a), dass in allen Risikoklassen der Anteil nicht-wendender Bodenbearbeitung überwiegt. In der Risikoklasse „hoch“ werden in Winterraps hingegen 50% der Fruchtsequenzen wendend bearbeitet (Abb. 2a).

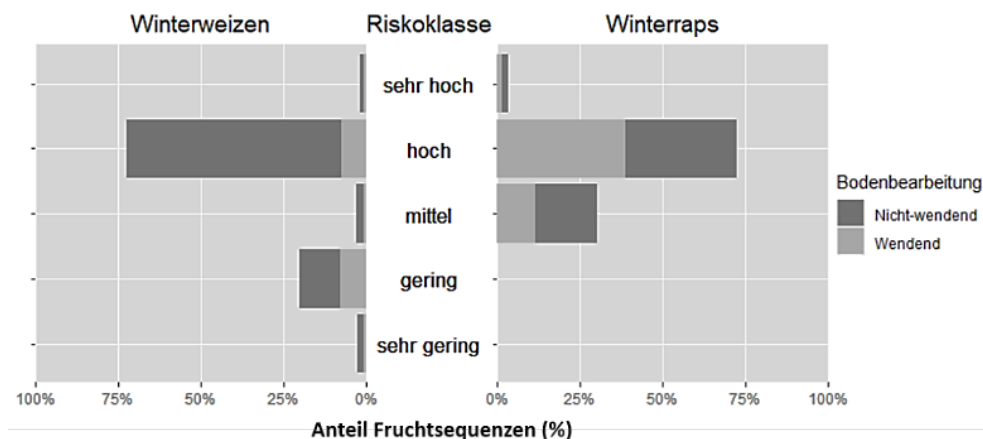


Abb. 2 Häufigkeit (n) der Felder pro Risikoklasse in Winterweizen und Winterraps.

Fig. 2 Frequency (n) of fields per riskiness class in winter wheat and winter oilseed rape.

Herbizidintensität, -kosten, der Ertrag und die Herbizidkosten-freie Leistung in den Fruchtsequenzen

Tabelle 2 und 3 stellen den kombinierten Effekt des Risikos der Fruchtsequenz und der Bodenbearbeitung auf die Herbizidintensität in Winterweizen und Winterraps dar. Die Ergebnisse belegen einen starken kombinierten Einfluss von Fruchtsequenzgestaltung und Bodenbearbeitung auf den Herbizideinsatz der Referenzbetriebe in Mecklenburg-Vorpommern. Je diverser die Fruchtsequenzgestaltung, bei gleichzeitiger Intensivierung der Bodenbearbeitung, desto geringer die Intensität der eingesetzten Herbizide in beiden Kulturen. Werden Winterweizen oder Winterraps in Fruchtsequenzen unter wendender Bodenbearbeitung angebaut, verringert sich die Herbizidintensität in jeder Risikoklasse im Vergleich zu der nicht wendenden Variante, mit Ausnahme der hohen und mittleren Risikoklasse in Winterweizen.

Fruchtartenübergreifend unterscheiden sich die Herbizidkosten zwischen diversifizierten Anbausystemen (Risikoklassen gering, sehr gering) und nicht diversifizierten Anbausystemen (Risikoklassen mittel, sehr hoch, hoch) um bis zu 25€/ha. Beim Winterraps zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen hoher Herbizidintensität und Herbizidkosten. Im Winterweizen ist dies nicht eindeutig feststellbar. Je diversifizierter der Anbau, desto niedriger ist der monetäre Aufwand für die Unkrautbekämpfung.

Der Ertrag unterscheidet sich signifikant zwischen den Risikoklassen sehr hoch bis hoch und den drei niedrigeren Risikoklassen in Winterweizen. Bei sehr geringem Risiko konnte unter wendender Bodenbearbeitung signifikant mehr Weizen geerntet werden. Tendenziell ist der Ertrag unter nicht-wendender Bodenbearbeitung in den Risikoklassen hoch und mittel in Winterweizen höher im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung. Für Winterraps gilt, zwischen Risikoklassen und Art der Bodenbearbeitung bestehen keine signifikanten Ertragsunterschiede. Lediglich bei mittlerem Risiko lag der Winterraps-ertrag bei nicht wendender Bodenbearbeitung signifikant höher als bei wendender.

Der wirtschaftliche Erfolg der Varianten wird durch die Herbizidkostenfreie Leistung abgebildet. Es zeigt sich der große Einfluss des Ertrages auf das wirtschaftliche Ergebnis. Beim Winterweizen übersteigt in der Risikoklasse sehr hoch die Differenz in den Herbizidkosten den Erzeugerpreis pro Dezitonne, sodass die Herbizidkostenfreie Leistung der nichtwendenden Bodenbearbeitung über der wendenden liegt.

Tab. 2 Effekt der Fruchtsequenz und Art der Bodenbearbeitung, Behandlungsindex (BI) für Herbizide, Herbizidkosten (€/ha), Ertrag (dt/ha) und Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha) in den Risikoklassen für Winterweizen. NW: Nicht-wendende Bodenbearbeitung, W: Wendende Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Großbuchstaben (A und B) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der Art der Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Kleinbuchstaben (a, b und c) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Risikoklassen.

Tab. 2 Effect of crop sequence riskiness and tillage on herbicide TFI, herbicide cost (€/ha) and yield (dt/ha) in winter wheat. Std. error added in brackets. Different letters (A and B) in a line represent significant differences ($p < 0.05$) between tillage systems. Different letters (a, b and c) in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the riskiness classes.

		Herbizidintensität (BI)		Herbizidkosten (€/ha)		Ertrag (dt/ha)		Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha)	
		NW	W	NW	W	NW	W	NW	W
	Risikoklasse								
	sehr hoch	2.5 ^{cA}	2.2 ^{bA}	60 ^{bA}	61 ^{bA}	60 ^{bA}	61 ^{bA}	870	885
	hoch	2.2 ^{bB}	2.6 ^{bA}	70 ^{bA}	62 ^{bA}	65 ^{bA}	64 ^{bA}	938	930
	mittel	2.1 ^{bB}	2.7 ^{bA}	61 ^{baA}	65 ^{bA}	70 ^{aA}	68 ^{bA}	1.024	989
	gering	2.0 ^{bA}	1.8 ^{aA}	51 ^{aA}	44 ^{aA}	71 ^{aA}	73 ^{aA}	1.050	1.088
	sehr gering	1.7 ^{aA}	1.5 ^{aA}	51 ^{aA}	50 ^{aA}	73 ^{aB}	78 ^{aA}	1.081	1.159

Tab. 3 Effekt der Fruchtsequenz und Art der Bodenbearbeitung, Behandlungsindex (BI) für Herbizide, Herbizidkosten (€/ha), Ertrag (dt/ha) und Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha) in den Risikoklassen für Winterweizen. NW: Nicht-wendende Bodenbearbeitung, W: Wendende Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Großbuchstaben (A und B) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der Art der Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Kleinbuchstaben (a, b und c) repräsentieren signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Risikoklassen.

Tab. 3 Effect of crop sequence riskiness and tillage on herbicide TFI, herbicide cost (€/ha) and yield (dt/ha) in winter oilseed rape. Std. error added in brackets. Different letters (A and B) in a line represent significant differences ($p < 0.05$) between tillage systems. Different letters (a, b and c) in a column represent significant differences ($p < 0.05$) between the riskiness classes.

		Herbizidintensität (BI)		Herbizidkosten (€/ha)		Ertrag (dt/ha)		Herbizidkostenfreie Leistung (€/ha)	
		NW	W	NW	W	NW	W	NW	W
	Risikoklasse								
	sehr hoch	3.2 ^{cA}	2.3 ^{aB}	114 ^{bA}	102 ^{bB}	31 ^{aA}	31 ^{aA}	1.005	1.017
	hoch	2.8 ^{bA}	2.2 ^{aB}	109 ^{bA}	86 ^{aB}	37 ^{aA}	36 ^{aA}	1.227	1.214
	mittel	2.7 ^{bA}	2.1 ^{aB}	99 ^{aA}	89 ^{aA}	37 ^{aB}	36 ^{aA}	1.237	1.211
	gering	-	-	-	-	-	-	-	-
	sehr gering	2.0 ^a	-	90 ^a	-	38 ^a	-	1.282	-

Diskussion

Fruchtfolge und Bodenbearbeitung sind bedeutende Maßnahmen in der integrierten Pflanzenproduktion. Die vorliegenden Ergebnisse belegen den Einfluss der diversifizierten Fruchtsequenz auf den Herbizideinsatz. Durch den Anbau morphologisch unterschiedlicher Fruchtarten werden Unkräuter und Ungräser vorbeugend bekämpft und der Einsatz herbizider Pflanzenschutzmittel und deren Kosten reduziert. Die Daten aus landwirtschaftlichen Praxisbetrieben belegen deutlich die höhere Pflanzenschutzintensität mit der Zunahme von Fruchtsequenzen mit hohem Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern.

Höherer Herbizideinsatz und höhere Herbizidkosten unter wendender Bodenbearbeitung in Winterweizen geben einen Hinweis darauf, dass Flächen, die mit Problemunkräutern- und gräsern befallen sind, einen höheren Managementinput erfordern. Dringliche Aufgabe aller Beratungsinstitutionen ist es, die Folgen einer Populationsvergrößerung schwer zu bekämpfender Unkräuter und Ungräser in der Praxis aufzuzeigen.

Die Erträge unterscheiden sich in der vorliegenden Studie zwischen den untersuchten Risikoklassen in Winterweizen und Winterraps. Fruchtsequenzen, die ein geringeres Risiko gegenüber dem Auftreten von Unkräutern und Ungräsern aufweisen, sind mit signifikant höheren Erträgen verbunden. Dies gilt unabhängig von der Art der Bodenbearbeitung. Innerhalb einer Risikoklasse wurden jedoch keine Unterschiede zwischen den untersuchten Bodenbearbeitungsregimen identifiziert. Es gilt zukünftig zu prüfen, wie die Art der Bodenbearbeitung, der Herbizideinsatz und der resultierende Ertrag miteinander verbunden sind.

Höhere Erträge führen trotz höherer Herbizidkosten zu einem besseren Abschneiden der Varianten.

Die weitere Implementierung diverser Fruchtfolgen in die Anbausystemgestaltung landwirtschaftlicher Praxisbetriebe erfordert Unterstützung der Landwirte durch Forschung, Beratungsdienste und Politik (MELANDER et al., 2013). Das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Kulturen und Bewirtschaftungskomponenten ist unerlässlich, um Akzeptanz agroökologischer Zusammenhänge und deren Komplexität zu schaffen (LETEINTURIER et al., 2006). Die politischen Rahmenrichtlinien der Biodiversitätsstrategie 2020 und der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik können dazu beitragen den Pflanzenschutzmitteleinsatz nachhaltig zu reduzieren. Neben den politischen Reformen sollten allerdings weitere Anstrengungen unternommen werden, um die weitere Diversifizierung in der landwirtschaftlichen Praxis zu fördern. Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind geeignete Maßnahmen, um monetäre Einsparpotenziale aufzuzeigen (ZIESEMER, 2019).

Literatur

- ANDERT, S., J. BÜRGER, S. STEIN, B. GEROWITT, 2016: The influence of crop sequence on fungicide and herbicide use intensities in North German arable farming. *European Journal of Agronomy* **77**, 81–89.
- ATR LANDHANDEL, CERAVIS AG, 2019: Pflanzenschutz-Preislisten, Herbst 2018 und Frühjahr 2019.
- BATES, D., M. MAECHLER, B. BOLKER, S. WALKER, 2015: Fitting linear mixed-Effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* **67**, 1–48.
- BALL, B.C., I. BINGHAM, R.M. RESS, C.A. WATSON, A. LITTERICK, 2005: The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. *Canadian Journal of Soil Science* **85**, 557–577.
- BOCKSTALLER, C., P. GIRARDIN, 1996: The crop sequence indicator: a tool to evaluate crop rotations in relation to the requirements of Integrated Arable Farming Systems. *Aspects of Applied Biology* **47**, 405–408.
- BUHLER, D.D., 1995: Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. *Crop Science* **35**, 1247–1258.
- CHIKOWO, R., V. FALOYA, S. PETIT, N.M. MUNIER-JOLAIN, 2009: Integrated weed management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **132**, 237–242.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2011: Our Life Insurance, Our Natural Capital: an EU Biodiversity Strategy 2020. (COM/2011/0244).
- FOX, J., S. WEISBERG, 2011: An R Companion to Applied Regression, Second Edition. Sage, Thousand Oaks CA.
- LETEINTURIER, B., J.L. HERMAN, F. DE LONGUEVILLE, L. QUINTIN, R. OGER, 2006: Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **112**, 324–334.
- MELANDER, B., N. MUNIER-JOLAIN, R. CHARLES, J. WIRTH, J. SCHWARZ, R. VAN DER WEIDE, L. BONIN, P.K. JENSEN, P. KUDSK, 2013: European perspectives on the adoption of nonchemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. *Weed Technology* **27**, 231–240.
- MIO, 2019: Marktinformation Ost, Erzeugerpreise für Körnerfrüchte, 33. Kalenderwoche 2019.
- SCIENCE FOR ENVIRONMENT POLICY, 2015: Ecosystem Services and the Environment. In-depth Report 11 Produced for the European Commission, DG Environment by the Science Communication Unit. UWE, Bristol.
- SILVA, V.S., P. REIDSMA, M.K. VAN ITTERSUM, 2017: Yield gaps in Dutch arable farming systems: Analysis at crop and crop rotation level. *Agricultural Systems* **158**, 78–98.
- STATISTISCHES AMT MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2018: Statistisches Jahrbuch Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin. 478 S.
- STEIN, S., H.H. STEINMANN, 2018: Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. *European Journal of Agronomy* **92**, 30–40.
- WICKHAM, H., 2007: Reshaping Data with the reshape Package. *Journal of Statistical Software* **21**, 1–20.
- ZIESEMER, A., 2019: Untersuchungen zu acker- und pflanzenbaulichen Wirkungen und zur Wirtschaftlichkeit von Fruchtfolgen in Marktfruchtbaubetrieben Mecklenburg-Vorpommerns. Jahresbericht 2018 der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei.