

Sandra Krengel-Horney, Jörn Strassemeyer, Jürgen Schwarz

Dauerfeldversuche zum notwendigen Maß bei der Anwendung von Insektiziden im Winterraps – Was lernen wir aus 25 Jahren?

Long-term field trials on the necessary need of insecticide applications in winter oil seed rape – Lessons learned from 25 years of experiments

279

Zusammenfassung

In Dauerfeldversuchen am Standort Dahnsdorf (Fläming) werden seit 1995 Untersuchungen zur Abschätzung des notwendigen Maßes der Anwendung von Insektiziden in Winterraps und zur Entwicklung nachhaltiger Insektizidstrategien durchgeführt. Im Rahmen des Versuches „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“ wurden in mittlerweile drei Versuchsphasen jeweils zwei verschiedene Insektizidstrategien in Winterraps gegenübergestellt, die sich in der Intensität unterschieden. Ziel des vorliegenden Beitrages war es, die Insektizidintensitäten sowie deren Ertrags- und Umwelteffekte vor dem Hintergrund des jährlichen Befallsdruckes vergleichend zu betrachten und zu diskutieren. Die Auswertung zeigte, dass in 21 von 22 betrachteten Versuchsjahren Insektizidmaßnahmen im Winterraps notwendig waren, deren Intensität aufgrund der Witterung und des Befallsdruckes stark schwankte. Es konnte gezeigt werden, dass eine Reduzierung der Behandlungsintensität um 50% bis 60% nur in der ersten Phase des Versuches signifikante Ertragseinbußen zur Folge hatte. Der Vergleich der Umweltwirkungen mit dem Risikoindikatormodell SYNOPSIS-GIS ergab, dass die Reduktion der Behandlungsintensität in vielen Jahren mit einer Verringerung des Umweltrisikos einherging. Allerdings zeigten einzelne Fälle, dass dies nicht immer zutraf und auch die Mittel- bzw. Wirkstoffwahl von entscheidender Bedeutung waren. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Nutzung verfügbarer Entscheidungshilfen im Pflanzenschutz wie Befallskontrollen, Warndienstmel-

dungen, Prognosemodelle und Erfolgskontrollen, um die Anwendung von Insektiziden in Winterraps auf das notwendige Maß zu reduzieren.

Stichwörter: Winterraps, Insektizide, tierische Schaderreger, Ertrag, Umweltwirkung

Abstract

In long-term field trials at the Dahnsdorf (Fläming) site, investigations have been carried out since 1995 to estimate the necessary level of insecticide application in winter oil seed rape (WOSR) and to develop sustainable insecticide strategies. Within the scope of the trial “Comparison of strategies – environmentally sound crop protection”, two different insecticide strategies were compared in WOSR in three trial phases, each of which differed in intensity. The aim of this paper was to compare and discuss these insecticide intensities and their yield and environmental effects against the background of the annual infestation pressure. The evaluation showed that in 21 of 22 trial years considered, insecticide measures were necessary in WOSR, the intensity of which fluctuated considerably due to weather conditions and infestation pressure. It could be shown that a reduction of treatment intensity by 50% to 60% did result in significant yield losses only during the first trial phase. The comparison of the environmental impacts, calculated with the risk indicator model SYNOPSIS-GIS, showed that the reduction in treatment intensity was accompanied by a

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Sandra Krengel-Horney, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: sandra.krengel-horney@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

8. Juni 2020

reduction in environmental risk over many years. However, individual cases showed that this was not always true and that the choice of agent or active ingredient was also of decisive importance. The results underline the importance of using available decision support tools in crop protection such as infestation controls, warning service, forecasting models and success monitoring to reduce the use of insecticides in WOSR to the necessary need.

Key words: Winter oil seed rape, insecticides, pests, yield, environmental risk

Einleitung

Der Anbau von Winterraps wird vom Auftreten vieler tierischer Schaderreger begleitet, weshalb er eine der insektizidintensivsten Ackerbaukulturen in Deutschland darstellt. So betrug der durchschnittliche Insektizid-Behandlungsindex (2007 bis 2016) der Betriebe im „Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz“ 2,7 (DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018). Der Wegfall von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (z.B. neonicotinoide Beizen) und einen oftmals hohen Schaderregerdruck erschweren den Winterrapsanbau seit geraumer Zeit. Zusätzliche Herausforderungen bestehen durch zunehmende Schaderregerresistenzen, sich verschlechternde klimatische Rahmenbedingungen und die steigende öffentliche Wahrnehmung möglicher Umweltwirkungen von Insektiziden. Das zeigen nicht zuletzt die sinkenden Anbauzahlen. Wurden im Jahr 2017 deutschlandweit noch auf gut 1,3 Mio. ha Winterraps angebaut, sank der Anbauumfang bis 2019 auf nur noch rund 850.000 ha (DESTATIS, 2020).

Die Dauerfeldversuche zu Pflanzenschutzstrategien, welche seit 1995 auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Instituts in Dahnendorf (Fläming) durchgeführt werden, tragen zur Abschätzung des notwendigen Maßes der Anwendung von Insektiziden in Winterraps und der Entwicklung nachhaltiger Insektizidstrategien bei. Im Rahmen des Versuches „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“ wurden in mittlerweile drei Versuchsphasen jeweils zwei verschieden intensive Pflanzenschutzstrategien gegenübergestellt (SCHWARZ et al., 2015). Glied dieser Fruchtfolge war stets auch Winterraps. Das Auftreten tierischer Schaderreger wurde seit Beginn der Untersuchungen mittels regelmäßiger Kontrollen unter Verwendung standardisierter Methoden überwacht und auch zur Entscheidung über Pflanzenschutzmittelanwendungen herangezogen (FREIER & PALLUTT, 2010).

Das am Julius Kühn-Institut entwickelte Indikatormodell SYNOPSIS ermöglicht die Bewertung von Umwelt Risiken durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (STRASSEMAYER & GOLLA, 2018). SYNOPSIS kann in den drei Anwendungsmodi SYNOPSIS-WEB, SYNOPSIS-Trend und SYNOPSIS-GIS verwendet werden. Für eine webbasierte Bewertung von Pflanzenschutzstrategien und Minderungsmaßnahmen auf Schlagebene wurde der Modus

SYNOPSIS-WEB (STRASSEMAYER et al., 2017, 2020) entwickelt und wird in Nordrhein-Westfalen derzeit im Beratungssystem des Pflanzenschutzdienstes etabliert (STRASSEMAYER et al., 2020). Im Rahmen des Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) wird SYNOPSIS-Trend für Trendberechnungen des Risikos von Pflanzenschutzmitteln basierend auf Absatzzahlen angewandt. Dabei berechnet SYNOPSIS aquatische und terrestrische Risikoindizes für einzelne Indikationen unter Annahmen von „worst-case“-Umweltszenarien und aggregiert diese auf nationaler Ebene (GUTSCHE & STRASSEMAYER, 2007). Außerdem wird SYNOPSIS-GIS eingesetzt, um das Umweltrisiko von Pflanzenschutzstrategien für definierte Raumeinheiten unter Berücksichtigung der räumlich spezifischen Umweltbedingungen zu analysieren (STRASSEMAYER & GUTSCHE, 2010; DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018).

Die nachfolgenden Auswertungen des Umweltrisikos von Insektizid-Anwendungen im Winterraps auf den Versuchsflächen in Dahnendorf wurden mit dem Anwendungsmodus SYNOPSIS-GIS durchgeführt.

Ziel des vorliegenden Beitrages war es, die Intensitäten der Insektizidanwendungen sowie deren Ertrags- und Umwelteffekte in den drei Versuchsphasen vor dem Hintergrund des jährlichen Befallsdruckes an diesem Standort vergleichend zu betrachten und zu diskutieren. Dabei sollten die Fragen beantwortet werden, ob eine Reduktion der Insektizidintensität mit geringeren Umweltwirkungen einhergeht und welche Ertragseffekte sie verursacht.

Material & Methoden

Versuchsdesign

Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist der Dauer Versuch „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“, der seit 1995 auf dem Versuchsfeld Dahnendorf durchgeführt wird. Ausführliche Beschreibungen zum Versuchsstandort und der Versuchsmethodik finden sich unter PALLUTT et al. (2010) und SCHWARZ et al. (2015). Der ausgewertete Versuch umfasste die in Tab. 1 aufgeführten Pflanzenschutzstrategien.

Für die vorliegende Analyse wurden die Ergebnisse der Versuchsjahre 1998 bis 2019 verwendet, so dass stets 10 bzw. 20 (ab 2008) Wiederholungen zur Verfügung standen. Die angebauten Winterrapsorten waren regional-typisch. Seit 2015 werden in der Strategie „Allgemeine Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes“ (GfP) die Sorte Avatar und in der Strategie „Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes“ (IPS), in der wenn möglich resistente Sorten als integrierte, vorbeugende Maßnahme zum Einsatz kommen sollen, die Sorte Bender angebaut. Bender zeichnet sich laut Züchter durch Spätsaatverträglichkeit, Standfestigkeit, höchste Phomaresistenz und Virustoleranz aus (ANONYMUS, 2020). Von 2007 bis 2013 wurde insektizidgebeiztes Saatgut ausgebracht, wobei es dahingehend innerhalb eines Anbaujahres keine Unterschiede zwischen den Strategien gab. Es wurden ausschließlich die Ergebnisse der Pflanzenschutz-

Tab. 1. Versuchsphasen und Pflanzenschutzstrategien „Strategievergleich – umweltverträglicher Pflanzenschutz“.

Phase I	
Zeitraum (Erntejahr)	1996 – 2007
Pflanzenschutzstrategie	Situationsbezogene Dosierung (100%) 50% der situationsbezogenen Dosierung (50%)
Phase II	
Zeitraum (Erntejahr)	2008 – 2013
Pflanzenschutzstrategie	Gute fachliche Praxis ^a (GfP) Integrierter Pflanzenschutz ^b (IPS)
Phase III	
Zeitraum (Erntejahr)	2014 – aktuell
Pflanzenschutzstrategie	Allgemeine Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes ^c (GfP) Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes ^d (IPS)

^a Praxisübliche Pflanzenschutzmittel, Einbeziehung Hinweise Pflanzenschutzdienst, regionsübliche Sortenauswahl nach Ertrag und Qualität, ^b Nutzung von Schwellenwerten, situationsbezogene Mittelwahl und Dosierung, Expertenwissen, Prognosen und Modelle, regionsangepasste Sortenauswahl nach Resistenz unter Berücksichtigung von Ertrag und Qualität, ^c Siehe Phase II „IPS“, ^d Siehe Phase II IPS, zusätzliche Nutzung vorbeugender Pflanzenschutzverfahren (z.B. Sorte) und verfügbarer, nichtchemischer Alternativen

variante HI betrachtet, in der Herbizide, Fungizide, Insektizide und Wachstumsregler zur Anwendung kamen. Die Insektizidanwendungen variierten entsprechend der Pflanzenschutzstrategien. Herbizid- und Fungizidanwendungen erfolgten nach Bedarf und waren in den Strategien nicht immer identisch. Bei den Herbiziden wurde in der Strategie „Situationsbezogene Dosierung“ (100%) bzw. GfP eher eine Einmalbehandlung im Herbst angestrebt. In der Strategie „50% der situationsbezogenen Dosierung“ (50%) bzw. IPS wurde auch mit fallweisen Splitting bzw. reduzierten Aufwandmengen im Herbst gearbeitet. Dabei konnte es ab und an zu einer Nachbehandlung im Frühjahr kommen, wobei der Behandlungsindex der Herbizide hier im Mittel der Jahre geringer war.

Schaderregerkontrolle

Es fanden regelmäßige Befallskontrollen aller relevanten tierischen Schaderreger unter Verwendung standardisierter Methoden (Gelbschalen und Pflanzenbonituren) und anerkannter Bekämpfungsrichtwerte statt. Das Auftreten und das Schadmaß von Rapserrdflohen und Kohlfiegen werden erst seit dem Wegfall der insektiziden Beizen im Jahr 2014 mit Gelbschalen und Pflanzenbonituren regelmäßig überwacht. Die Erfassung des Befalls vom Kohlschotenrüssler wurde auf Grund der geringen Relevanz am Standort in den Jahren 2008 bis 2012 ausgesetzt. Die Bekämpfungsmaßnahmen wurden entsprechend der strategischen Ausrichtung des Pflanzenschutzes (Prüffaktor Pflanzenschutzstrategie) durchgeführt (siehe auch FREIER & PALLUTT, 2010).

Ertrags- und Pflanzenschutzdaten

Im Rahmen dieser Studie wurden die Ertragsdaten und Insektizidbehandlungen der beiden Pflanzenschutzstra-

tegien des oben beschriebenen Dauerfeldversuches innerhalb der drei Phasen vergleichend betrachtet. Im Falle der Ertragsauswertung wurden Versuchsfehler aus den Berechnungen herausgelassen. Die Varianten der Prüffaktors Bodenbearbeitung (wendend vs. nichtwendend), der 2008 in Phase II eingeführt wurde, wurden nicht gesondert analysiert, da die deskriptive Statistik keine wesentlichen Ertragsunterschiede ergab. Die statistische Auswertung der Ertragsunterschiede erfolgte mit Hilfe der Prozedur MIXED mit dem SIMULATE-Verfahren in SAS[®]9.4 Version M6 ($\alpha = 0,05$). Die Bewertung der Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendungen fand mit Hilfe des Behandlungsindex (BI) nach KUDSK (1989) und ANONYMUS (2008) statt. Ein BI von 1,0 entspricht dabei der Anwendung eines Pflanzenschutzmittels mit indikationspezifischer, maximal zugelassener Aufwandmenge auf ganzer Fläche. Auf die Berücksichtigung der Beizen wurde in diesem Artikel verzichtet, da in den Strategien innerhalb eines Anbaujahres stets gleiche Beizungen verwendet wurden und eine Zuordnung der verwendeten Beizmittel teilweise nicht zweifelsfrei möglich war.

Modellierung der Umweltwirkungen mittels SYNOPSIS

Die Methoden zur Berechnung des Umweltrisikos basieren auf dem Indikatormodell SYNOPSIS und wurden in STRASSEMAYER et al. (2017) und STRASSEMAYER & GOLLA (2018) ausführlich beschrieben. In SYNOPSIS werden die Risikoindizes als ETR-Werte (exposure toxicity ratios) dargestellt. Dieser Wert entspricht dem Quotienten der berechneten Exposition in der Umwelt und einer im Rahmen der Zulassung bestimmten Toxizitätskonzentration wie z.B. der Letalen Konzentration (LC50), der Letalen Rate (LR50) oder der No-Effect-Concentration (NOEC). SYNOPSIS berechnet Risikoindizes für Gewässerorganismen (akut und chronisch), für Nicht-Ziel-Arthropoden

im Saum und für Bodenorganismen und berücksichtigt dabei die Eintragspfade Abdrift, Run-off, Erosion und Drainage für die aquatischen Umweltrisiken und Abdrift und Verflüchtigung für die terrestrischen Risikoindizes.

Die Berechnung der Exposition von Gewässern mit Pflanzenschutzmitteln erfolgt über Modelle, die zum Teil bei der Zulassung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen eingesetzt werden. Die Abschätzung der Abdrift erfolgt mittels der FOCUS-Funktionen (FOCUS, 2001). Die Interzeption der Pflanzenschutzmitteln durch die Anbaukultur erfolgt nach dem in STRASSEMEYER et al. (2017) beschriebenen Modellansatz, die Drainage wird auf einem Metamodellansatz basierend auf MACRO (JARVIS et al., 1997) und mit den in STRASSEMEYER et al. (2017) beschriebenen Funktionen berechnet. Die Einträge durch Runoff und Erosion wurden mit dem in STRASSEMEYER et al. (2017) beschriebenen Modellansatz berechnet.

Bei der Risikoberechnung werden die Abstandsauflagen zu Gewässern und terrestrischen Kleinstrukturen wie auch die Run-Off-Auflagen berücksichtigt. Für alle Pflanzenschutzmittelanwendungen wurden 50% abdriftreduzierende Technik angenommen. Der Versuchsfehler der Aufwandmengen in 2002 wurde für die Risikoanalyse auf die Regelaufwandmenge korrigiert.

Die berechneten ETR-Werte für Gewässerorganismen, Nicht-Ziel Arthropoden (NTA) und für Bodenorganismen werden entsprechend Tab. 2 in vier Risikoklassen eingeteilt. Für berechneten akuten ETR-Werte werden die LC50-Werte mit einem Sicherheitsfaktor von 10 multipliziert, um für chronische und akute Risikoindizes die gleiche Klasseneinteilung anwenden zu können.

Datenbasis für die Risikoanalyse

Eine wesentliche Datengrundlage für SYNOPSIS-GIS ist das Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) des Amtlich-Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) der Bundesländer (ADV, 2008, 2015). In der hier vorgestellten Analyse wurden alle Ackerbauflächen des Landkreises Potsdam-Mittelmark als Standort- bzw. Umweltszenario verwendet. Desweiteren wurde als Szenario-Annahme auf allen Flächen Winterraps angenommen. Dieser Ansatz wurde gewählt, um für die einzelnen Insektizid-Strategien eine hohe Variabilität an standortnahen Umweltszenarien zu erhalten ($n = 4.591$). Die Umweltparameter der einzelnen Ackerflächen werden hier als Basis für den Risikovergleich der Insektizid-Strategien genutzt. Eine räumliche Analyse des Umweltrisikos

für den Landkreis Potsdam-Mittelmark wird hier nicht durchgeführt.

Basierend auf diesen Feldblockgeometrien wurden die Lage und Nachbarschaften zu Nichtzielflächen und anderen relevanten Strukturelemente in der Agrarlandschaft (Gewässer, Wege, Gehölze etc.) ermittelt. Zusätzliche GIS-Prozeduren ermöglichten es, die digitale Bodenkarte BÜK1000N (BGR, 1996) für die Beschreibung der Bodenparameter sowie das digitale Geländemodell DGM-10 (BKG, 2016) für die Beschreibung des Reliefs der Landschaft mit den ATKIS-Daten zu verknüpfen. Im Ergebnis werden feldbezogene Bodenparameter und die Hangneigungen der einzelnen Flächen abgeleitet, wobei die Hangneigung auf einen Maximalwert von 20% begrenzt wurde. Der verwendete Klimadatensatz besteht aus den täglichen auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ interpolierten Wetterdaten (Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Wind) des DWD (DWD, 2016) und liegt seit 1991 vor.

Die Information bezüglich der Wirkstoffgehalte und Anwendungsaufgaben der angewandten Pflanzenschutzmittel erfolgte über eine Verknüpfung mit der Online-Datenbank der zugelassenen Pflanzenschutzmitteln des BVL (BVL, 2019). Die toxikologischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe werden der online verfügbaren Pesticide Property Database (PPDB) entnommen (LEWIS et al., 2016).

Die beiden Mittel der Applikationen mit Notfallzulassung in 2009 (Pyrinex 25 CS) und 2007 (RELDAN 22) waren nicht in der Zulassungsdatenbank enthalten. Diese Mittel wurden entsprechend des Wirkstoffgehaltes manuell hinzugefügt. Hierfür lagen allerdings keine Informationen zu den Anwendungsbestimmungen vor. Daher wurde mit 50% Driftreduktion eine Abstandsaufgabe von 15 m angenommen.

Aggregation und statistische Auswertung der Risikoindizes

Die Risikoanalysen wurden für mehrere Einzelflächen mit unterschiedlichen Umwelt- und Standortparametern durchgeführt. Aus allen flächenspezifischen Rechnungen wird das 90. Perzentil bestimmt um eine worst-case Betrachtung des Umweltrisikos zu erhalten. Die Abschätzung der Risikoreduktion zwischen den beiden Varianten wird als prozentuale Veränderung des 90. Perzentils angegeben.

Die Unterschiede im Umweltrisiko zwischen den Strategien wurden mit der Funktion *Percentile-Test* im R-Paket *rcompanion* Version 2.3.25 statistisch analysiert.

Ergebnisse

Befall

Zu den am Versuchsstandort Dahnsdorf aufgetretenen Schaderregern zählten bislang vor allem der Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephalus*), die Kleine Kohlfliege (*Delia radium*), die Rübsenblattwespe (*Athalia rosae*), der Gefleckte Kohltrüberrüssler (*Ceuthorhynchus pallidactylus*), der Große Rapsstängelrüssler (*Ceuthorhynchus*

Tab. 2. Risikoklassen der ETR-Werte.

Risikoklassen	Wertebereiche
sehr niedriges Risiko	ETR < 0,1
niedriges Risiko	0,1 < ETR < 1
mittleres Risiko	1 < ETR < 10
hohes Risiko	ETR > 10

napi), der Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*), der Kohlschotenrüssler (*Ceutorhynchus assimilis*) und die Kohlschotenmücke (*Dasineura brassicae*), wengleich nicht alle bekämpfungswürdig waren.

In Versuchsphase I (1998 bis 2007) traten die Stängelrüssler in allen Jahren in einem bekämpfungswürdigen Maß auf. Rapsglanzkäfer hatten dahingegen keine Bedeutung. Kohlschotenrüssler erreichten nur in den Jahren 1999 bis 2001 Abundanzen über dem Bekämpfungsrichtwert.

In Versuchsphase II (2008 bis 2013) führte insbesondere der Große Rapsstängelrüssler zur Notwendigkeit von Insektizidbehandlungen. Von 2010 bis 2013 zeigten die Auswertungen der Gelbschalenfänge Werte über dem Bekämpfungsrichtwert. Rapsglanzkäfer traten nur in 2010 und 2013 in bekämpfungsrelevanten Zahlen auf.

Versuchsphase III war durch einen teilweise sehr hohen Befallsdruck geprägt. Stängelrüssler waren in allen Jahren zu bekämpfen, wobei der Große Rapsstängelrüssler bis 2017 das Befallsgeschehen dominierte. Rapsglanzkäfer und Kohlschotenrüssler zeigten in 2018 und 2019 bekämpfungswürdige Werte. Der Rapserrdfloh und die Kohlfliege, welche erst seit dem Wegfall der insektiziden Beizen regelmäßig am Standort erfasst werden, zeigten bislang keinen schadensrelevanten Befall.

Pflanzenschutzmittelapplikationen und Behandlungsintensität

Die in den Pflanzenschutzstrategien verwendeten Insektizide und die dazugehörigen jahresspezifischen Behandlungsindizes sind den Tabellen 3a bis 3c zu entnehmen. Nahezu alle Insektizidanwendungen fanden im Frühjahr, das heißt jahresabhängig und frühestens im Februar aber

spätestens im Mai, statt. Nur im Herbst 2014 wurde in der Strategie GfP eine Herbstbehandlung gegen Rapserrdföhe mit Shock DOWN durchgeführt. In Phase I betrug der durchschnittliche BI in der Strategie 100% 1,5 ($\pm 0,5$) und in der Strategie 50% 0,7 ($\pm 0,3$). Die Reduzierung der Intensität in Strategie 50% wurde durch eine Halbierung der Aufwandmengen oder dem Auslassen ganzer Anwendungen erzielt. In Phase II wurde in der Strategie GfP mit praxisüblicher Anwendung von Insektiziden ein BI von 2,2 ($\pm 0,4$) und in der Strategie IPS ebenfalls durch Reduktion von Aufwandmengen oder Auslassen von Behandlungen ein BI von 1,3 ($\pm 0,7$) erreicht. Der in Phase III höhere Befallsdruck spiegelt sich in den höchsten BIs wider. In Strategie GfP, in der seit 2014 die Insektizidanwendungen nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes erfolgten, betrug der mittlere BI 2,5 ($\pm 1,0$) und in der Strategie IPS, in welcher die Leitlinien zum integrierten Pflanzenschutz zur Umsetzung kommen, 1,5 ($\pm 0,8$). Reduzierte Aufwandmengen kamen nicht mehr zum Einsatz. Herauszustellen ist das Ausnahmejahr 2019, in dem in Strategie GfP befallsbedingt erstmalig vier Insektizidbehandlungen durchgeführt werden mussten (Tab. 3c).

Erträge

Die erfassten Erträge der insektizidbehandelten Versuchsvarianten (HI) der jeweiligen Pflanzenschutzstrategien sind in Abb. 1 dargestellt. Es zeigte sich, dass sich im Mittel aller Jahre und Wiederholungen in Phase I ein signifikanter ($p = 0,0228$) und in Phase II und III kein signifikanter Ertragsunterschied ($p = 0,2260$ bzw. $0,2569$) zwischen den Pflanzenschutzstrategien ergab. Dennoch waren die Erträge der Strategie 50% bzw. IPS in allen Phasen

Tab. 3a. Insektizide* (PSM) und Intensitäten (BI) in Phase I.

	100%			BI	50%			BI
	PSM 1	PSM 2	PSM 3		PSM 1	PSM 2	PSM 3	
1998	Fastac 10 EC			1,0	Fastac 10 EC			0,5
1999	FASTAC SC	FASTAC SC		2,0	FASTAC SC	FASTAC SC		1,0
2000	Trafo			1,0	Trafo			0,5
2001	FASTAC SC	FASTAC SC		2,0	FASTAC SC	FASTAC SC		1,0
2002	FASTAC SC	FASTAC SC		1,0		FASTAC SC		0,5
2003	FASTAC SC			1,0	FASTAC SC			0,5
2004	FASTAC SC	FASTAC SC		1,5	FASTAC SC			0,5
2005	FASTAC SC	FASTAC SC		1,5	FASTAC SC			0,5
2006	FASTAC SC			1,0	FASTAC SC			0,5
2007	Fastac SC Super Contact	RELDAN 22**	Biscaya	2,5	Fastac SC Super Contact	RELDAN 22**	Biscaya	1,0
			Mittelwert	1,5			Mittelwert	0,7
			Standardabweichung	0,5			Standardabweichung	0,3

* ohne Beizen, ** Notfallzulassung

Tab. 3b. Insektizide* (PSM) und Intensitäten (BI) in Phase II.

	GfP					IPS				
	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI
2008	Fastac SC Super Contact	Biscaya			2,0		Biscaya			1,0
2009	Karate mit Zeon Technologie	Biscaya			2,0		Pyrinex 25 CS**			1,0
2010	Fastac SC Super Contact	Biscaya			2,0	Fastac SC Super Contact	Biscaya			1,8
2011	Fastac SC Super Contact	Plenum 50 WG	Biscaya		3,0	Fastac SC Super Contact	Plenum 50 WG			1,7
2012	Talstar 8 SC	Biscaya			2,0					0,0
2013	Trebon 30 EC	Biscaya			2,0	Trebon 30 EC	Biscaya			2,0
				Mittel- wert	2,2				Mittel- wert	1,3
				Standard- abweichung	0,4				Standard- abweichung	0,7

* ohne Beizen, ** Notfallzulassung

Tab. 3c. Insektizide* (PSM) und Intensitäten (BI) in Phase III.

	GfP					IPS				
	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI	PSM 1	PSM 2	PSM 3	PSM 4	BI
2014	Fastac SC	Biscaya			2,0	Fastac SC				1,0
2015	Shock DOWN**	Fastac SC	Biscaya		3,0		Fastac SC			1,0
2016	Fastac SC Super Contact	Biscaya			2,0	Fastac SC Super Contact				1,0
2017	Trebon 30 EC				1,0	Trebon 30 EC				1,0
2018	Trebon 30 EC	Biscaya	Karate Zeon		3,0	Trebon 30 EC	Biscaya			2,0
2019	Karate Zeon	Trebon 30 EC	Biscaya	Mavrik Vita	4,0	Karate Zeon		Biscaya	Mavrik Vita	3,0
				Mittel- wert	2,5				Mittel- wert	1,5
				Standard- abweichung	1,0				Standard- abweichung	0,8

* ohne Beizen, ** Herbstbehandlung

im Mittel etwas geringer als in den Praxisstrategien 100% bzw. GfP (Phase I: – 3,9 dt/ha, Phase II: – 2,4 dt/ha, Phase III: – 2,6 dt/ha). Die Erträge schwankten innerhalb der Jahre (zwischen den Wiederholungen) und zwischen den Jahren zum Teil stark. So wurde aufgrund der Witterung und des enormen Befallsdruckes im Jahr 2019 mit 8,7 dt/ha (Variante GfP) der geringste und im Jahr 2009 mit 70,6 dt/ha (Variante GfP) der höchste Ertrag erreicht. Insgesamt zeigten die Jahre 2004, 2008, 2009, 2012 und 2014 sehr gute Erträge (≥ 45 dt/ha). Die Jahre 2002, 2003,

2011, 2018 und 2019 gehen hingegen aufgrund schlechter Bedingungen – insbesondere zu trockener Witterung – mit besonders niedrigen Erträgen in die Statistik ein (≤ 25 dt/ha). Die Analyse der einzelnen Jahre ergab in 1999 ($p = 0,0004$), 2000 ($p = 0,0137$), 2001 ($p = 0,0013$), 2008 ($p = 0,0352$), 2012 ($p = 0,0336$), 2016 ($p = 0,0003$) sowie 2018 ($p = 0,0191$) in der Strategie 50% bzw. IPS signifikant geringere Erträge gegenüber der Strategie 100% bzw. GfP. Erwähnenswert ist auch, dass in Phase III (2014–2019) bislang stetig sinkende Erträge zu verzeichnen waren.

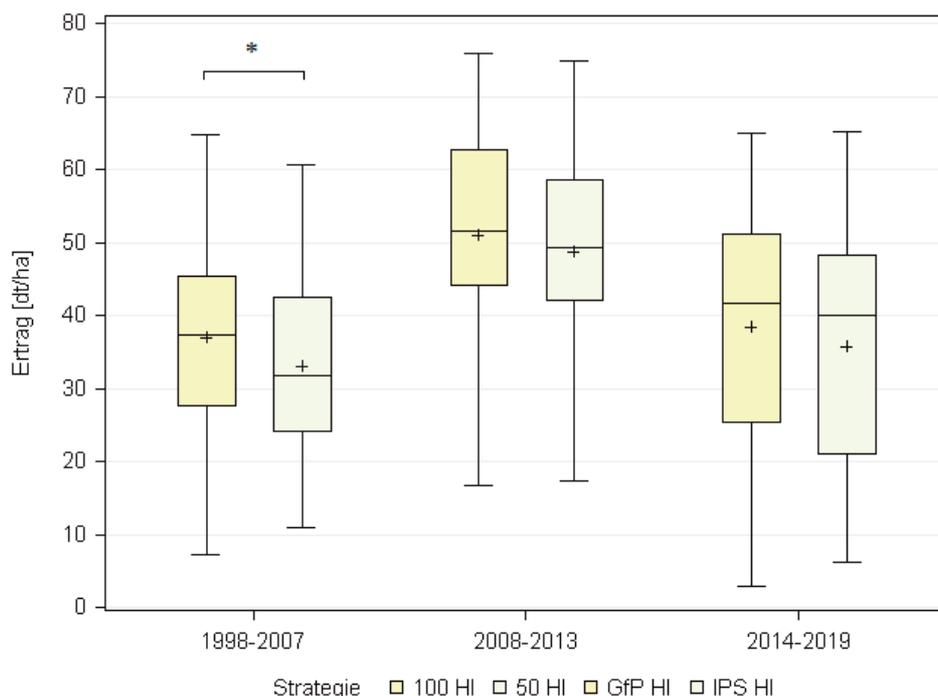


Abb. 1. Boxplots der Wintererträge (dt/ha) der insektizidbehandelten Versuchsvarianten (HI) der Strategien 100% bzw. GfP und 50% bzw. IPS in den Versuchsphasen I (1998–2007), II (2008–2013) und III (2014–2019). Signifikante Unterschiede sind mit * gekennzeichnet ($\alpha = 0,05$).

Umweltwirkung (SYNOPSIS)

Die aquatischen Risikoindizes, sowohl chronisch als auch akut, liegen in allen Jahren überwiegend in der sehr niedrigen Risikoklasse ($ETR < 0,01$). Die Risikoindizes für Bodenorganismen liegen ebenfalls stets im sehr niedrigen Risikobereich. Dagegen zeigen die Risikoindizes für Nicht-Ziel Arthropoden (NTA) im Saum überwiegend mittlere bis hohe Risikowerte ($ETR > 1$) auf (Tab. 4). Ein klarer Trendverlauf über die Jahre konnte für keinen Risikoindex beobachtet werden. Allerdings weisen die Risikoindizes des akuten aquatischen Risikos in der Phase I etwas niedrigere Werte auf als in Phase II. Dies liegt unter anderem daran, dass in der Phase II deutlich mehr Wirkstoffe eingesetzt wurden, die unter ungünstigsten Standort-/Umweltbedingungen (> 90 . Perzentil) Werte in der mittleren Risikoklasse verursachen. In Phase I waren dies in der Strategie 50% nur alpha-Cypermethrin in Phase II dagegen alpha-Cypermethrin, Thiacloprid und Etofenprox.

Die sehr hohen Werte für die NTA werden durch den häufigen Einsatz von alpha-Cypermethrin verursacht, denn dieser Wirkstoff weist einen sehr niedrigen LR50-Wert für *Typhlodromus pyri* auf. In den Jahren in denen das Risiko für NTA niedrig war, wurde kein alpha-Cypermethrin angewandt, sondern andere Wirkstoffe wie z.B. lambda-Cyhalothrin (2000) oder Thiacloprid (Strategie IPS 2008).

Werden die Werte aus den einzelnen Jahren für die drei Phasen zusammengefasst, so ergibt sich ein ähnliches Bild (Tab. 5, Abb. 2). Die Risikoindizes des akuten aquatischen Risikos sind in der Phase II signifikant erhöht gegenüber Phase I ($p < 0,001$).

In allen drei Phasen liegen die Risikoindizes in den Strategien 50% bzw. IPS niedriger als in den Strategien

100% bzw. GfP. Diese Unterschiede sind für alle Risikoindizes in den drei Phasen signifikant ($p < 0,001$) mit Ausnahme des akuten Risikos für NTA in der Phase II und III ($p > 0,5$). Die Risikoreduktion zwischen den beiden Strategien ist in Phase I mit 52–76% je nach Risikoindex am größten. In Phase II liegt die Risikoreduktion in der IPS-Strategie zwischen 1% und 32%. Eine Ausnahme in dieser Phase stellt hier jedoch das akute aquatische Risiko im Jahr 2009 dar. In diesem Jahr wurde durch eine Notfallzulassung das Mittel Pyrinex 25 CS mit dem Wirkstoff Chlorpyrifos in Strategie IPS appliziert. Dennoch zeigt Chlorpyrifos sehr hohe akute aquatische Risikowerte aufgrund der sensiblen Toxizitätswerte für Fische ($LC_{50} = 0,00014$ mg/l), aquatische Invertebraten ($LC_{50} = 0,0001$ mg/l) und Sedimentorganismen ($LC_{50} = 0,000024$ mg/l). Die Risikoindizes für Bodenorganismen und NTA verhalten sich in diesem Jahr ähnlich und es konnten Zunahmen des Risikos in der Strategie IPS von $> 800\%$ gegenüber der GfP-Strategie beobachtet werden (Tab. 4). Die Risikoreduktion zwischen den beiden Strategien IPS und GfP fiel in Phase II daher deutlich geringer aus. In Phase III war das akute und chronische aquatische Risiko deutlich reduziert (81% bzw. 43%). Das terrestrische Risiko war in dieser Phase dagegen kaum reduziert (1% bzw. 5%).

Diskussion

Befall und Behandlungsintensität

Die Ergebnisse des hier ausgewerteten Dauerfeldversuches am Standort Dahnsdorf (Fläming) zeigen, dass in 21 von 22 Versuchsjahren (1998–2019) der Befallsdruck mit

Tab. 4. Risikoindizes der Insektizid-Anwendungen zusammengefasst für Phase I bis III. Es werden jeweils der 90. Perzentilwert der feldspezifischen Einzelrechnungen (n = 4.591) und die Risikoreduktion (Red.) zwischen den Szenarien angegeben. NTA: Nicht-Ziel Arthropoden. Die ETR-Werte werden entsprechend den Risikoklassen in Tab. 2 eingefärbt. Grau 50%: hoch; Grau 40%: mittel; Grau 20%: niedrig; Grau 10%: sehr niedrig.

Jahr	Phase	Variante	90. Perzentile des aquatischen Risikos				90. Perzentile des terrestrischen Risikos			
			akut		chronisch		NTA (akut)		Regenwurm (chronisch)	
			ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)
1998	I	50%	0,0014		0,0021		4,181		0,0033	
1998	I	100%	0,0029	52	0,0042	50	8,362	50	0,0067	51
1999	I	50%	0,0117		0,038		6,2925		0,0048	
1999	I	100%	0,0234	50	0,076	50	12,585	50	0,0097	51
2000	I	50%	0,0001		0,0008		0,0496		0,002	
2000	I	100%	0,0001	0	0,0016	50	0,0992	50	0,004	50
2001	I	50%	0,0163		0,0363		6,3485		0,0048	
2001	I	100%	0,0327	50	0,0726	50	12,697	50	0,0095	49
2002	I	50%	0,0139		0,0188		4,7097		0,0038	
2002	I	100%	0,0354	61	0,0495	62	7,8245	40	0,0084	55
2003	I	50%	0,0005		0,0006		4,5342		0,0039	
2003	I	100%	0,001	50	0,0013	54	9,0685	50	0,0079	51
2004	I	50%	0,0044		0,005		4,6285		0,0042	
2004	I	100%	0,0216	80	0,0638	92	11,6583	60	0,0112	63
2005	I	50%	0,0069		0,0096		4,5316		0,0034	
2005	I	100%	0,037	81	0,0531	82	11,9126	62	0,0098	65
2006	I	50%	0,0005		0,0009		3,9846		0,0023	
2006	I	100%	0,001	50	0,0017	47	7,9692	50	0,0045	49
2007	I	50%	0,0263		0,0424		4,2786		0,0043	
2007	I	100%	0,1423	82	0,5377	92	8,5572	50	0,0084	93
2008	II	IPS	0,2318		0,0647		0,0002		0,00	
2008	II	GfP	0,2334	1	0,0658	2	9,3741	100	0,0081	100
2009	II	IPS	2,2132	<-800	0,0524		7,1065		0	<-800
2009	II	GfP	0,232		0,0649	19	0,1019	<-800	0,0061	
2010	II	IPS	0,2022		0,069		9,3982		0,0098	
2010	II	GfP	0,2412	16	0,0787	12	9,3988	0	0,0098	0
2011	II	IPS	0,0055		0,0084		8,3213		0,0118	
2011	II	GfP	0,2342	98	0,0672	88	8,3631	0	0,0137	14
2012	II	IPS	0		0		0		0	
2012	II	GfP	0,2315	100	0,3423	100	0,1511	100	0,0199	100
2013	II	IPS	0,2328		0,0656		0,1006		0,0114	
2013	II	GfP	0,2328	0	0,0656	0	0,1006	0	0,0114	0
2014	III	IPS	0,0137		0,0188		9,4605		0,0123	
2014	III	GfP	0,2365	94	0,0707	73	9,4622	0	0,0123	0
2015	III	IPS	0,0073		0,0133		9,9011		0,0117	
2015	III	GfP	0,2348	97	0,0668	80	10,0079	1	0,0263	56
2016	III	IPS	0,005		0,0105		9,3371		0,0081	
2016	III	GfP	0,2362	98	0,0711	85	9,3372	0	0,0081	0
2017	III	IPS	0,042		0,115		0,152		0,0278	
2017	III	GfP	0,042	0	0,115	0	0,152	0	0,0278	0
2018	III	IPS	0,2395		0,3208		0,3219		0,042	
2018	III	GfP	0,2395	0	0,321	0	0,3859	17	0,046	9
2019	III	IPS	0,2327		0,0651		0,1063		0,0144	
2019	III	GfP	0,2335	0	0,1407	54	0,2254	53	0,0493	71

Tab. 5. Risikoindizes der Insektizid-Anwendungen zusammengefasst für Phase I bis III. Es werden jeweils der 90. Perzentilwert der feldspezifischen Einzelrechnungen und die Risikoreduktion (Red.) zwischen den Szenarien angegeben. NTA: Nicht-Ziel Arthropoden. Die ETR-Werte werden entsprechend den Risikoklassen in Tab. 2 eingefärbt. Grau 50%: hoch; Grau 40%: mittel; Grau 20%: niedrig; Grau 10%: sehr niedrig.

Jahr	Phase	Szenario	n	90. Perzentile des aquatischen Risikos				90. Perzentile des terrestrischen Risikos			
				akut		chronisch		NTA (akut)		Regenwurm (chronisch)	
				ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)	ETR-Wert	Red. (%)
1998–2007	I	50%	45910	0,0089		0,0154		4,9101		0,0023	
1998–2007	I	100%	45910	0,0249	64	0,0654	76	9,9748	52	0,0059	61
2008–2013	II	IPS	27546	0,2306		0,0647		7,1181		0,0055	
2008–2013	II	GfP	27546	0,2333	1	0,0724	11	7,6473	7	0,0081	32
2014–2019	III	IPS	27546	0,0444		0,0651		8,088		0,0117	
2014–2019	III	GfP	27546	0,2352	81	0,115	43	8,136	1	0,0123	5

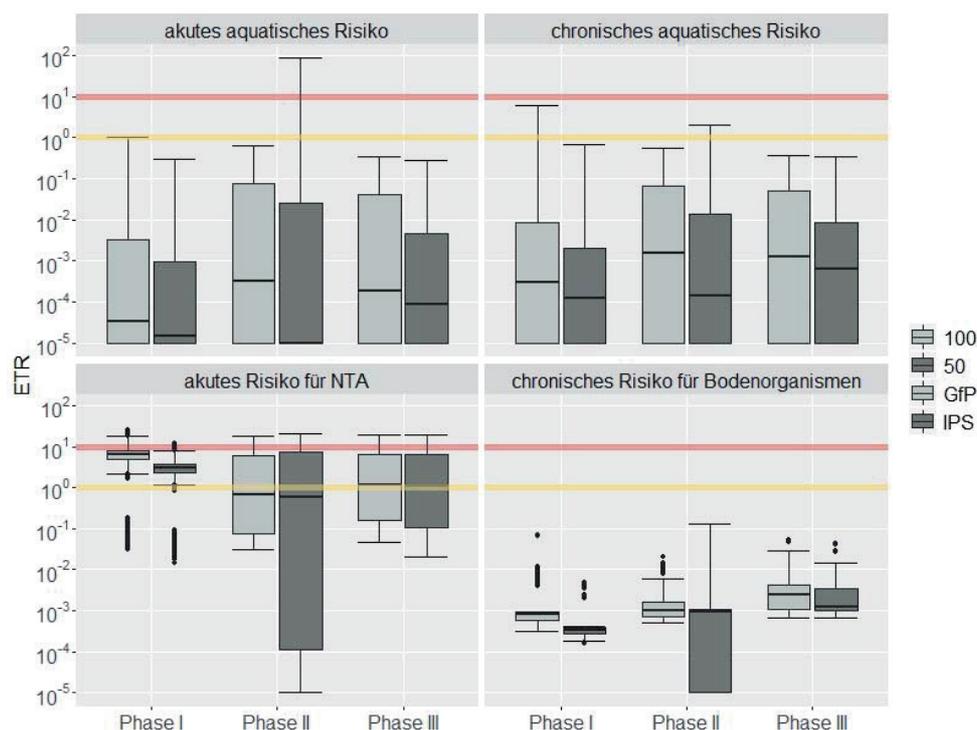


Abb. 2. Boxplots der logarithmisch dargestellten Risikoindizes (ETR-Werte) je Phase (n = 45.910 (I), n = 27.546 (II und III)). Die rote und gelbe Linie stellen die Schwellenwerte für die hohe und mittlere Risikoklasse dar.

tierischen Schaderregern in Winterraps zur Notwendigkeit von Insektizidanwendungen führte, wenngleich es erhebliche jährliche Schwankungen im Befallsdruck gab. Der Vergleich zu den Insektizid-Behandlungsindizes des Netzes Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz (DACHBRODT-SAAAYDEH et al., 2018) ergibt, dass die mittlere Intensität der Insektizidanwendungen der Strategien 50% (Phase I) und IPS (Phase II & III) immer unter dem ostdeutschen Durch-

schnitt lagen. In den Phasen I und II waren die mittleren Insektizidintensitäten auch in den praxisvergleichbaren Strategien (100% und GfP) leicht unter dem Durchschnitt der Großregion Ost. Eine Ursache kann sein, dass das exakte Wissen zum Befallsgeschehen am Standort die Bekämpfungsentscheidungen beeinflusste und einige praxisübliche Behandlungen (z.B. Blütenapplikation) unterlassen wurden. Darüber hinaus variieren der Befallsdruck und das

notwendige Maß schlagbezogen. So beeinflussen standörtliche Gegebenheiten wie das Anbauverfahren und die regionale Anbaukonzentration das Befallsgeschehen maßgeblich. In den Jahren 2014 bis 2016 lagen die Behandlungsindizes der praxisvergleichbaren Strategie GFP jedoch im Bereich der Intensitäten der am Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz beteiligten Betriebe der Großregion Ost.

Die Witterung der Jahre 2018 und 2019 prägte den Pflanzenschutz im Winterraps in besonderer Weise. Aufgrund der Dürre im Herbst 2018 kam es wie in weiten Teilen Deutschlands auch in der Umgebung des Versuchsfeldes zur verspäteten Aussaat und zum Umbruch vieler Winterrapsbestände. In vielen Fällen wurde gänzlich auf die Rapsaussaat verzichtet. Aufgrund dieser Gegebenheiten war im Erntejahr 2019 im Umfeld des Versuchsfeldes Dahnsdorf fast kein Raps vorhanden. Daraus resultierte ein extrem starker Schädlingsdruck im Frühjahr 2019, der sich in der hohen Insektizidintensität widerspiegelte und neben der witterungsbedingten physiologischen Knospenwelke auch ertragswirksam war (siehe auch KRENGEL & SCHWARZ, 2020).

Die hohen Standardabweichungen der Behandlungsintensitäten verdeutlichen die enormen jährlichen Schwankungen im Befallsdruck und dem notwendigen Maß an Insektizidanwendungen. Die strikte Reduzierung der Aufwandmengen um 50% bzw. das Weglassen von Applikationen in Phase I sowie die strikte Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der Strategie IPS in Phase II und III führte über die Jahre stets zu einer erheblichen Reduktion der Insektizid-BIs gegenüber der jeweiligen Praxisstrategie (Phase I: – 50%, Phase II: – 59%, Phase III: – 60%).

Ertragswirkung

Die reduzierte Intensität von Insektizidanwendungen verursachte an diesem Standort, der die Verhältnisse des mitteldeutschen Trockengebietes repräsentiert, im Mittel der Jahre in den drei Versuchsphasen geringfügige Ertragsverluste, diese waren jedoch nur in Phase I signifikant. Diese Erkenntnis unterstreicht die Notwendigkeit der langjährigen Durchführung pflanzenschutzbezogener Untersuchungen. Die Betrachtungen einzelner oder weniger Jahre würde wahrscheinlich zu anderen Schlussfolgerungen führen. Für spezifische Fragestellungen ermöglichen Dauerversuche aber auch eine Auswertung der Jahre nach bestimmten Gesichtspunkten (z.B. Befallsdruck), wie beispielweise von JAHN et al. (2010) vorlegt wurde. Hinsichtlich des erreichten Ertragsniveaus muss beachtet werden, dass dieses auf Versuchsfeldern in vielen Fällen über dem der Praxis liegt (SCHWARZ et al., 2018) und ein Einfluss durch die strategiebezogene Anwendung der Herbizide nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Dennoch stimmt der Trend sinkender Winterrapsenerträge seit 2014 mit dem in ganz Deutschland überein (BMEL, 2020). Es ist anzunehmen, dass die bereits beschriebenen Witterungseffekte die Effekte der Insektizidstrategien auf die Erträge zum Teil überlagern. Zu den genannten Aspekten wäre eine gesonderte mehrfaktorielle Analyse interessant und wichtig.

Umweltwirkungen

Im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung sollte neben der Betrachtung der Ertragseffekte stehen, ob eine Reduktion der Behandlungsintensität auch zu einer Reduktion der Umweltrisiken führt. Die Frage war also, ob die Reduktion des BI mit ökologischen Vorteilen einhergeht. Dazu wurde das terrestrische und aquatische Risiko der Insektizidstrategien mit Hilfe von SYNOPSIS berechnet und gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass in den meisten Jahren die 50%-Strategie bzw. die IPS-Strategie eine deutliche Reduktion des Umweltrisikos aufwies. Die Reduktion fiel je nach Mittelwahl, Aufwandmengen und klimatischen Bedingungen unterschiedlich aus. Es wurden aber auch in einigen Jahren keine Unterschiede festgestellt oder wie in 2009 sogar eine Zunahme des Umweltrisikos beobachtet. Dies zeigt, dass eine Reduktion der Behandlungsintensität nicht unbedingt eine Reduktion des Umweltrisikos nach sich zieht, sondern auch die Mittel- bzw. Wirkstoffwahl von entscheidender Bedeutung ist. Im Jahr 2009 wurde trotz einer Halbierung des BI das Umweltrisiko deutlich erhöht. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass es wichtig ist, den Landwirten Werkzeuge bereitzustellen die es ihnen ermöglichen die Umweltwirkung bei der Mittelwahl zu berücksichtigen. Ein gutes Beispiel hierfür ist das webbasierte Inkatormodell H₂Ot-Spotmanager NRW (STRASSEMAYER et al., 2020).

Es ist davon auszugehen, dass bei einer Einbeziehung der insektiziden Beizen, die hier nicht betrachtet werden konnten, das absolute Umweltrisiko in Phase I und II steigen würde. Da in beiden Strategien stets innerhalb eines Versuchsjahres gleich gebeiztes Saatgut verwendet wurde, bleiben die hier vordergründig betrachteten Strategieunterschiede davon aber unbeeinflusst.

Die vorgelegte Studie zeigt, dass am den untersuchten Standort eine Reduktion der Insektizidintensität im Winterraps um bis zu 60% nur geringfügige Ertragsrückgänge aber zum Teil beachtliche gesenkte Umweltrisiken verursachte. Das Abwägen zwischen Ertragssicherung und potentieller Umweltwirkung der Insektizidmaßnahmen ist aber stets ein schmaler Grat und wird in der Praxis nicht zuletzt dadurch erschwert, dass die Bekämpfungsentscheidungen in der Regel kurzfristig und vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit erfolgen müssen. So zeigten FREIER & PALLUTT (2010) in ihrer Analyse, dass auf Grund der vergleichsweise geringen Insektizidkosten auch ein moderater Ertragsverlust zu einer signifikanten Senkung des insektizidkostenfreien Mehrerlöses führen kann. Umso bedeutender sind gezielte Entscheidungshilfen und integrierte Pflanzenschutzverfahren, die auf fundierten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen. Aufgrund der jährlich variierenden Anbaubedingungen (insbesondere Witterung, und Befall) lassen sich nur aus Dauerfeldversuchen, wie dem hier ausgewerteten, valide Schlussfolgerungen über die langfristigen Wirkungen von Pflanzenschutzstrategien ableiten. Im Bereich der Bekämpfung tierischer Schaderreger fehlt es im Ackerbau oftmals noch an wirksamen vorbeugenden (z.B. resistente Sorten) und nichtchemischen Pflanzenschutz-

verfahren. Aus diesem Grund ist die Nutzung aller verfügbaren Entscheidungshilfen wie regelmäßige Befallskontrollen, Warndienstmeldungen, Prognosemodelle und entsprechende Erfolgskontrollen von hoher Bedeutung, um die Anwendung chemisch-synthetischer Insektizide auf das notwendige Maß zu beschränken und deren Umweltwirkungen zu minimieren.

Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte bestehen.

Literatur

- AdV, 2008: Dokumentation zu Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok), ATKIS-Katalogwerke; ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM; Version 6.0. Stand: 11.04.2008. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.
- AdV, 2015: Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok); Erläuterungen zum ATKIS® Basis-DLM; Version 6.0.1; Stand: 25.08.2015 Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV).
- ANONYMUS, 2008: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bonn, BMELV.
- ANONYMUS, 2020: Rapool, Sorteninformation. Zugriff: 05.04.2020. URL: <https://www.rapool.de/index.cfm/action/varieties/c/1/var/62.html>.
- BGR, 1996: Digitale Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- BKG, 2016: Digitales Basis-Landschaftsmodell (AAA Modellierung). Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).
- BMEL, 2020: Statistisches Jahrbuch, Tabellen, Zugriff: 05.04.2020. URL: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tabellen-kapitel-c-hii-und-hiii-des-statistischen-jahrbuchs/>.
- BVL, 2019: Online data base on plant protection products. The Federal Office for Consumer Protection and Food Safety (BVL).
- DACHBRODT-SAAAYDEH, S., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, S. KRENGEL, H. KEHLENBECK, 2018: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 194, DOI: 10.5073/berjki.2018.194.000.
- DESTATIS, 2020: Deutsches Statistisches Bundesamt, Feldfrüchte und Grünland, Tabellen, Anbauflächen, Hektarerträge und Erntemengen ausgewählter Anbaukulturen im Zeitvergleich. Zugriff: 05.04.2020. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/liste-feldfruechte-zeitreihe.html>.
- DWD, 2016: Climate Data Center, URL: <ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>.
- FOCUS, 2001: FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC. Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2., 245 p.
- FREIER, B., B. PALLUTT, 2010: Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Insektizidanwendungen im Winterraps im Dauerfeldversuch Dahnsdorf. Journal für Kulturpflanzen, 62 (9), 326-330, DOI: 10.5073/JfK.2010.09.02.
- FREIER, B., J. SELLMANN, J. STRASSEMAYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, S. DACHBRODT-SAAAYDEH, H. KEHLENBECK, W. ZORNACH, 2016: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz – Jahresbericht 2014 – Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2014, Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Braunschweig, Julius Kühn-Institut.
- GUTSCHE, V., J. STRASSEMAYER, 2007: SYNOPSIS – ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risiko-potentials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 59, 197-210.
- JAHN, M., C. WAGNER, E. MOLL, B. PALLUTT, 2010: Auftreten und Bekämpfung von Krankheiten in Wintergetreide in einem Dauerfeldversuch auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf. Journal für Kulturpflanzen 62 (7), 248-258, DOI: 10.5073/JfK.2010.07.03.
- JARVIS, N.J., J.M. HOLLIS, P.H. NICHOLLS, T. MAYR, S.P. EVANS, 1997: MACRO-DB: a decision-support tool for assessing pesticide fate and mobility in soils. Environmental Modelling & Software 12, 251-265.
- KRENGEL, S., J. SCHWARZ, 2020: Auswirkungen der Witterung in 2018 und 2019 auf den Schaderregerbefall im Winterraps am Standort Dahnsdorf (Fläming). Deutsche Pflanzenschutztagung, Göttingen. Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv (submitted).
- KUDSK, P., 1989: Experiences with reduced herbicide doses in Denmark and the development of the concept of factor-adjusted doses. Proceedings, Brighton Crop Protection Conference, Weeds, 545-554.
- LEWIS, K.A., J. TZILIVAKIS, D.J. WARNER, A. GREEN, 2016: An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment 22, 1050-1064.
- PALLUTT, B., M. JAHN, B. FREIER, E. MOLL, 2010: Dauerfeldversuche auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautbekämpfung. Journal für Kulturpflanzen 62 (7), 238-247, DOI: 10.5073/JfK.2010.07.02.
- SCHWARZ, J., T. FEIKE, B. FREIER, M. JAHN, H. KEHLENBECK, B. KLOCKE, S. KÜHNE, B. PALLUTT, J. SALTZMANN, C. WAGNER, U. WITTCHEN, 2015: 20 Jahre Dauerfeldversuche am Standort Dahnsdorf des Julius Kühn-Instituts. Journal für Kulturpflanzen 67 (12), 389-403, DOI: 10.5073/JfK.2015.12.01.
- SCHWARZ, J., B. KLOCKE, C. WAGNER, S. KRENGEL, 2018: Untersuchungen zum notwendigen Maß bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen in den Jahren 2004 bis 2016, Gesunde Pflanzen 70 (3), 119-127.
- STRASSEMAYER, J., D. DAEHMLOW, A.R. DOMINIC, S. LORENZ, B. GOLLA, 2017: SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. Crop Protection, Amsterdam, Elsevier.
- STRASSEMAYER, J., A.R. DOMINIC, B. GOLLA, A. CLAUS-KRUPP, D. DAEHMLOW, 2020: H₂Ot-Spot-Manager NRW – Ein Web-basiertes Analyse- und Beratungswerkzeug für die zielgerichtete und risikomindernde Pflanzenschutzberatung. In: FREITAG, U.; FUCHSKITOWSKI, F., ABECKER, A., HOSENFELD, F. (Hrsg.): Umweltinformationssysteme – Wie verändert die Digitalisierung unsere Gesellschaft? – Tagungsband des 27. Workshops des Arbeitskreises „Umweltinformationssysteme“ der Fachgruppe „Informatik im Umweltschutz“ der Gesellschaft für Informatik (GI) 2020, Heidelberg, Springer Nature, (im Druck).
- STRASSEMAYER, J., B. GOLLA, 2018: Berechnung des Umweltrisikos der Pflanzenschutzmittelanwendungen in den Vergleichsbetrieben mittels SYNOPSIS. Gesunde Pflanze 70 (3), 155–166.
- STRASSEMAYER, J., V. GUTSCHE, 2010: The approach of the German pesticide risk indicator SYNOPSIS in frame of the National Action Plan for Sustainable Use of Pesticides (www.oecd.org/agriculture/sustainable-agriculture/44806454.pdf). Proceedings of the SESSION 2 PART II – SOIL, PESTICIDE AND NUTRIENT INDICATORS, 2010, Leysin, Switzerland.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).