

Heinrich Reineke¹, Jörn Strassemeyer², Nicol Stockfisch¹, Bernward Märländer¹

Stand und Perspektiven von Intensität und Risiko des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau in Deutschland

State and prospects of intensity and risk of pesticide application in sugar beet cultivation in Germany

153

Zusammenfassung

Um die Risiken des chemischen Pflanzenschutzes zu reduzieren, werden Informationen über Intensität und Risiko des Pflanzenschutzes in Praxisbetrieben benötigt. Diese Studie bezieht sich auf den Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau. Datengrundlage war eine Befragung zum Anbau 2004 in 109 Betrieben mit 285 Schlägen. Die Intensität wurde anhand der Größen Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex untersucht. Die Risiken wurden mit dem Bewertungsmodell SYNOPSIS unter Worst-Case-Bedingungen und unter realistischen Bedingungen analysiert. Rangkorrelationen zwischen Intensität und Risiken wurden berechnet, um den Einfluss der Intensität auf die Risiken zu prüfen. Zusätzlich wurden Intensität und Risiken für die Szenarien „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“, „Pflanzenschutz 2004“ und „Anbau Glyphosat toleranter Sorten“ verglichen.

Behandlungshäufigkeit (Median: 5,0), Wirkstoffaufwand (Median: 4535 g ha⁻¹) und Behandlungsindex (Median: 3,1) unterschieden sich zwischen den Schlägen deutlich. Deren Höhe resultierte zum größten Teil aus der Anwendung von Herbiziden. Im Vergleich der Szenarien wies der „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“ die höchste Intensität auf, während diese beim „Pflanzenschutz 2004“ und beim „Anbau Glyphosat toleranter Sorten“ etwa gleich war.

Die mit SYNOPSIS ermittelten Risikowerte lagen selbst unter Worst-Case-Bedingungen weitgehend im tolerablen Bereich. Unter realistischen Bedingungen befanden sich

die Risikowerte fast immer im tolerablen Bereich. Vom Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau sind somit bei Anwendungen nach guter fachlicher Praxis keine relevanten negativen Folgen für die Umwelt zu erwarten. Der Vergleich der Szenarien zeigte, dass die Risiken beim „Pflanzenschutz 2004“ (ausschließlich tolerable Risiken) deutlich niedriger sind als beim „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“ (teilweise nicht-tolerable Risiken).

Zwischen den Kennzahlen für die Intensität und den Risiken gab es signifikant positive Korrelationen. Die geringen Korrelationskoeffizienten (< 0,4) zeigten jedoch, dass sich Risiken des Pflanzenschutzes nicht anhand der Intensität ermitteln lassen.

Stichwörter: Behandlungshäufigkeit, Behandlungsindex, Nationaler Aktionsplan, SYNOPSIS, Umweltwirkungen, Wirkstoffaufwand

Abstract

To reduce the risk of pesticide use, information on the intensity and risk of pesticide applications in commercial farms is required. This study refers to the pesticide use in sugar beet cultivation. The data base was a survey on the cultivation in 2004 on 109 farms with 285 fields. The intensity was examined on the basis of the indicators treatment frequency, active ingredient amount and treatment frequency. The risks were analysed with the risk indicator model SYNOPSIS for worst-case-conditions and for realis-

Institut

Institut für Zuckerrübenforschung an der Universität Göttingen, Holtenser Landstraße 77, 37079 Göttingen¹
Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow²

Kontaktanschrift

Prof. Dr. Bernward Märländer, Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, 37079 Göttingen. E-Mail: maerlaender@ifz-goettingen.de

Zur Veröffentlichung angenommen

19. Dezember 2013

tic conditions. Rank correlations between the intensity and the risks were calculated to test the influence of the intensity on the risks. Additionally, the intensity and the risks were compared between the scenarios “Pesticide use in the 1980s”, “Pesticide use today” and “Cultivation of glyphosate-tolerant varieties”.

Treatment frequency (median: 5.0), active ingredient amount (median: 4535 g ha⁻¹) and treatment frequency (median: 3.1) varied between the fields significantly. Their amounts resulted largely from the use of herbicides. In the comparison between the scenarios the “Pesticide use in the 1980” showed the highest intensity, whereas it was similar for “Pesticide use today” and “Cultivation of glyphosate-tolerant varieties”.

The risk values calculated with SYNOPSIS remained even for worst-case-conditions to a large extent within the tolerable bounds. For realistic conditions the risk values were almost always within the tolerable bounds. It is therefore to be expected that pesticide use in sugar beet cultivation in accordance with good farming practice does not cause relevant negative effects on the environment. The comparison between the scenarios showed, that the risks of “Pesticide use today” (exclusively tolerable risk values) are significantly lower than the risks of “Pesticide use in the 1980” (partially intolerable risk values).

Significantly positive correlations exist between the indicators of the intensity and the risks. However, the low correlation coefficients (< 0.4) showed that the risks of pesticide use cannot be determined on the basis of the intensity.

Key words: Treatment frequency, treatment index, national action plan, SYNOPSIS, environmental effects, active ingredient amount

1 Einleitung

Der chemische Pflanzenschutz trägt zur Sicherung der Erträge, zur Verbesserung der Produktqualität und zur Steigerung der Produktivität bei (COOPER und DOBSON, 2007). Nach Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 erfolgt die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln nur, wenn diese keine unannehmbaren Auswirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und den Naturhaushalt haben (ANONYM, 2009a). Unter ungünstigen Umständen kann die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln allerdings trotzdem zu Belastungen von Gewässern, Auswirkungen auf Flora und Fauna und Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit führen (SKINNER et al., 1997). In der EU sieht die Gesellschaft die Nutzung von Pflanzenschutzmitteln daher kritisch (COOPER et al., 2009). In der EU-Richtlinie 2009/128/EG ist deshalb die Erarbeitung nationaler Aktionspläne durch die Mitgliedsstaaten vorgesehen, mit denen Risiken des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln reduziert und integrierte sowie nichtchemische Pflanzenschutzverfahren gefördert werden sollen (ANONYM, 2009a). Der „nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“ (nachfolgend: nationaler Aktionsplan) in Deutschland sieht neben anderen Maßnah-

men die Erhebung praxisbezogener Daten über die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und die Analyse der Risiken vor (BMELV, 2013). Zur Analyse der Intensität werden für die untersuchten Kulturen jeweils Behandlungsindizes berechnet (ROSSBERG, 2009; ROSSBERG, 2010; ROSSBERG et al., 2010). Die Risikobewertung erfolgt mit dem Modell SYNOPSIS (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007).

Im Zuckerrübenanbau werden chemische Pflanzenschutzmittel seit Ende der 1940er Jahre eingesetzt (VASEL et al., 2012; VASEL et al., 2013). Heute erfolgen mehrere Behandlungen mit Herbiziden, um hohe Ertragsverluste durch Unkrautkonkurrenz zu vermeiden (MÄRLÄNDER et al., 2003). Fungizide und Insektizide werden zur Saatgutbehandlung genutzt und begrenzen Verluste durch Krankheiten und Schädlinge während der Jugendentwicklung. Bei Überschreiten von Schadschwellen für die Blattkrankheiten *Cercospora beticola*, Mehltau (*Erysiphe betae*) und *Ramularia beticola* werden Fungizide zur Sicherung von Ertrag und Qualität eingesetzt. Darüber hinaus werden bei Bedarf Insektizide und Molluskizide appliziert, weil bei starkem Auftreten von Schädlingen der Befall mit diesen zu hohen ökonomischen Schäden führen könnte.

Für den Ackerbau mit Schwerpunkt auf Winterweizen, Wintergerste und Winterraps werden Daten über den chemischen Pflanzenschutz im Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz des BMELV (FREIER et al., 2012) gesammelt. Umfassende Daten für den Zuckerrübenanbau in Deutschland wurden im Rahmen der NEPTUN-Erhebungen 2005, 2007 und 2009 sowie der PAPA-Erhebungen 2010 und 2011 zusammengestellt (ROSSBERG, 2006; ROSSBERG et al., 2008; ROSSBERG et al., 2010; ROSSBERG, 2013). Bisher wurde nur die Intensität des chemischen Pflanzenschutzes anhand der Indikatoren Behandlungshäufigkeit und Behandlungsindex analysiert. Jedoch ist bisher nicht quantifiziert worden, in welcher Höhe Risiken beim Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau auftreten. Es ist auch nicht klar, inwieweit Unterschiede in der Intensität die Höhe der Risiken beeinflussen.

Eine Analyse des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel im Zuckerrübenanbau ist nicht nur im Hinblick auf die Richtlinie 2009/128/EG und den nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz von Bedeutung. Kennzahlen für Intensität und Risiko des Pflanzenschutzes sind auch geeignet, um die Umweltwirkungen des Anbaus zu dokumentieren. Im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung können Informationen über Intensität und Risiko zur Optimierung des Anbauverfahrens dienen (RUSSILLO und PINTÉR, 2009). Daneben kann mit den Kennzahlen gegenüber verarbeitenden Unternehmen und den Konsumenten eine ökologisch akzeptable Erzeugung nachgewiesen werden. Im Zuckerrübenanbau liegen entsprechende Kennzahlen über die Umweltwirkungen bisher nicht vor (STOCKFISCH et al., 2008). Um insgesamt einen Überblick über die ökologischen Auswirkungen des Anbaus zu erhalten, können Kennzahlen über die Umweltwirkungen des Pflanzenschutzes z.B. Kennzahlen aus der Energiebilanz (REINEKE et al., 2013) ergänzen.

Das Ziel dieser Untersuchung war daher, (i) die Intensität des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrüben-

anbau in Deutschland zu ermitteln, (ii) daraus resultierende Risiken zu analysieren und (iii) mögliche Zusammenhänge zwischen Intensität und Risiken exemplarisch aufzuzeigen und zu prüfen.

Grundlage der Untersuchung ist eine bundesweite Betriebsbefragung zum Zuckerrübenanbau 2004. Aus den Daten wurden Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex als Kennzahlen für die Intensität des Pflanzenschutzes ermittelt. Die Risiken des Pflanzenschutzes wurden mit dem Bewertungsmodell SYNOPSIS zum einen für die Anwendung unter Worst-Case-Bedingungen und zum anderen für die Anwendung unter realistischen Bedingungen berechnet. Zudem wurden Szenarien für den Pflanzenschutz in den 1980er Jahren, den Pflanzenschutz im Jahr 2004 und den Pflanzenschutz beim Anbau Glyphosat-toleranter Sorten hinsichtlich Intensität und Risiko analysiert, um die Entwicklung von Umweltwirkungen des Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau aufzuzeigen. Die Zusammenhänge zwischen Intensität und Risiko wurden durch Berechnung von Rangkorrelationskoeffizienten geprüft.

2 Datenbasis und Methodik

2.1 Datenbasis

In allen Anbaugebieten in Deutschland wurden zum Zuckerrübenanbau 2004 109 Betriebe befragt (STOCKFISCH et al., 2008). Die Anzahl der Betriebe je Anbaugebiet entsprach etwa dem regionalen Anteil an der Anbaufläche in Deutschland. Die Auswahl der Betriebe erfolgte unabhängig von Betriebsform, spezifischen Anbaumethoden und Ertragsniveau. Wesentliche Voraussetzungen für die Befragung waren die Verfügbarkeit der Daten und die Teilnahmebereitschaft der Landwirte. Die bewirtschaftete Ackerfläche der befragten Betriebe umfasste 31 bis 6449 ha und lag im Durchschnitt bei 208 ha. Die Anbaufläche Zuckerrüben variierte von 7 bis 560 ha und betrug im Durchschnitt 32 ha.

Für bis zu drei Schläge je Betrieb wurden die Standortbedingungen und alle Anbaumaßnahmen abgefragt. Insgesamt wurden Daten von 285 Schlägen erfasst, von denen 98 Schläge in der Region Nord, 65 Schläge in der Region Ost, 78 Schläge in der Region Süd und 44 Schläge in der Region West lagen (STOCKFISCH et al., 2008). Die Größe der Schläge variierte zwischen 1 und 100 ha und betrug im Durchschnitt 9 ha. Für alle Behandlungen mit chemischen Pflanzenschutzmitteln wurden Termine, behandelte Flächenanteile, verwendete Produkte und eingesetzte Aufwandmengen erhoben.

2.2 Analyse der Intensität

Die Intensität des chemischen Pflanzenschutzes wurde mit den Kennzahlen Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex schlagspezifisch untersucht. Wie in den Analysen von ROSSBERG et al. (2002) und FREIER et al. (2012) wurden die Kennzahlen für die breitflächigen Applikationen von Pflanzenschutzmitteln berechnet, die Saatgutbehandlungen wurden nicht berücksichtigt.

Die Behandlungshäufigkeit (ROSSBERG et al., 2010) gibt an, wie viele Behandlungen mit Pflanzenschutzmitteln durchgeführt wurden. Für jede Behandlung wird der Quotient von behandelter und gesamter Fläche gebildet, so dass auch Behandlungen auf Teilflächen berücksichtigt werden (Gleichung 1).

$$\text{Behandlungshäufigkeit} = \sum_1^n \frac{\text{behandelte Fläche}}{\text{gesamte Fläche}} \quad (1)$$

Der Wirkstoffaufwand stellt die eingesetzte Menge Wirkstoff in g ha^{-1} dar und wird für jedes eingesetzte Pflanzenschutzmittel aus Aufwandmenge und Wirkstoffanteil ermittelt (Gleichung 2).

$$\text{Wirkstoffaufwand} = \sum_1^n \left(\frac{\text{Aufwandmenge}}{1} \cdot \frac{\text{Wirkstoffgehalt}}{1} \right) \quad (2)$$

Der Behandlungsindex ist eine in Deutschland etablierte Kennzahl für die Intensität des chemischen Pflanzenschutzes (ROSSBERG et al., 2010). Für jedes eingesetzte Pflanzenschutzmittel wird der Quotient von eingesetzter und zugelassener Aufwandmenge mit dem behandelten Flächenanteil multipliziert (Gleichung 3).

$$\text{Behandlungsindex} = \sum_1^n \left(\frac{\text{eingesetzte Aufwandmenge}}{\text{zugelassene Aufwandmenge}} \cdot \frac{\text{behandelte Fläche}}{\text{gesamte Fläche}} \right) \quad (3)$$

2.3 Analyse der Risiken

Die Risiken für die Umwelt wurden mit dem Bewertungsmodell SYNOPSIS als Indikator ermittelt (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007). In SYNOPSIS wird modelliert, inwieweit bei der breitflächigen Applikation von Pflanzenschutzmitteln Nichtziel-Kompartimente mit Wirkstoffen befrachtet werden. Als Nichtziel-Kompartimente werden der Boden, benachbarte Oberflächengewässer sowie an das Feld grenzende Saumbiotope betrachtet. Auf Basis der Befrachtungen wird berechnet, welche Konzentrationen an Wirkstoffen sich daraus in den Nichtziel-Kompartimenten ergeben.

Das Risiko wird in SYNOPSIS für fünf Organismen aus der terrestrischen (Regenwurm, Biene) und aquatischen Umwelt (Daphnie, Fisch, Alge) untersucht (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007). Die Konzentration der Wirkstoffe in den Kompartimenten wird ins Verhältnis zur Toxizität für die Organismen gesetzt. Zur Berechnung des akuten Risikos wird für jeden Wirkstoff der Quotient aus der höchsten Umweltkonzentration und der in Laborversuchen ermittelten letalen Konzentration (LC50) gebildet. In einer Spritzfolge wird das akute Risiko durch den höchsten Quotient der eingesetzten Wirkstoffe bestimmt (Gleichung 4). Als maximal tolerabel wird ein akutes Risiko von 0,1 angesehen (ANONYM, 2009b; GUTSCHE et al., 2012).

$$\text{akutes Risiko} = \max \left(\frac{\max C_{\text{Wirkstoff } n}}{\text{LC50}_{\text{Wirkstoff } n}} \right) \quad (4)$$

Zur Berechnung des subchronischen Risikos wird für jeden Wirkstoff die durchschnittliche Umweltkonzentration ($\bar{C}(t)$) bestimmt und ins Verhältnis zur No-Effect-Concentration (NOEC) gesetzt (STRASSEMEYER et al., 2007; GUTSCHE et al., 2012). Die durchschnittliche Umweltkonzentration ($\bar{C}(t)$) wird für jeden Tag und jeweils für den Zeitraum des NOEC Experiments ermittelt. In einer Spritzfolge werden die Quotienten der eingesetzten Wirkstoffe auf Tagesbasis aufsummiert, die maximale Summe stellt das subchronische Risiko der Spritzfolge dar (Gleichung 5). Als maximal tolerabel wird ein subchronisches Risiko von 1,0 angesehen (ANONYM, 2009b; GUTSCHE et al., 2012).

subchronisches
Risiko

$$= \max_{t=1}^{365} \left(\frac{\bar{C}(t)_{\text{Wirkstoff 1}}}{\text{NOEC}_{\text{Wirkstoff 1}}} + \frac{\bar{C}(t)_{\text{Wirkstoff 2}}}{\text{NOEC}_{\text{Wirkstoff 2}}} + \dots + \frac{\bar{C}(t)_{\text{Wirkstoff n}}}{\text{NOEC}_{\text{Wirkstoff n}}} \right) \quad (5)$$

Die Modellierung mit SYNOPSIS erfolgte für unterschiedliche Anwendungsbedingungen: Unter Worst-Case-Bedingungen wurde davon ausgegangen, dass alle Schläge 3% Hangneigung aufweisen, an einen Graben und ein Saumbiotop angrenzen und die Böden aus sandigem Lehm mit 1,5% organischem Kohlenstoff bestehen. Daneben wurden mit einem geographischen Informationssystem für die Schläge realistische Bedingungen geschätzt. Aus dem Postleitzahl-Gebiet der befragten Betriebe wurden zufällig Schläge ausgewählt und die Risiken unter Berücksichtigung von Boden, Hangneigung, vorhandenen Gräben und Saumbiotopen ermittelt. Für die weitere Auswertung wurden die Mittelwerte der berechneten Risiken herangezogen. Unabhängig von den Anwendungsbedingungen wurde drei Tage nach jeder Applikation ein Starkregen von 30 l m⁻² angenommen.

2.4 Szenarien für die Entwicklung des Pflanzenschutzes in Zuckerrüben

Die Entwicklung des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau wurde anhand von drei Szenarien dargestellt (Tab. 1). Szenario 1 beschrieb eine typische Spritzfolge in den 1980er Jahren (HILLE, 1982): Vor der Aussaat wurden das Insektizid Lindan und das Herbizid Triallat eingearbeitet. Nach der Aussaat erfolgten eine Voraufbehandlung mit dem Herbizid Chloridazon und zwei Nachaufbehandlungen mit den Herbiziden Phenmedipham, Lenacil, Metamitron und Ethofumesat. Zusätzlich wurden die Insektizide Oxydemeton-methyl und Parathion appliziert.

Szenario 2 (Tab. 1) stand für die typische Abfolge des chemischen Pflanzenschutzes im Jahr 2004 bzw. in der Gegenwart (VASEL et al., 2012; VASEL et al., 2013): Im Rahmen einer Saatgutbehandlung wurden das Fungizid Hymexazol und die Insektizide Clothianidin, Beta-Cyfluthrin und Imidacloprid in die Hüllmasse des Saatguts eingearbeitet. Vor der Aussaat erfolgte eine Behandlung mit dem Herbizid Glyphosat. Im Nachauflauf wurden dreimal die Herbizide Desmedipham, Phenmedipham,

Ethofumesat und Metamitron eingesetzt. Zur Bekämpfung von Monokotylen wurde einmal zusätzlich Propaquizafop appliziert. Eine Behandlung auf 10% der Fläche mit Clopyralid diente zur Bekämpfung von *Cirsium arvense* auf Teilflächen. Insektizide wurden nicht breitflächig appliziert. Im Sommer folgte eine Behandlung mit den Fungiziden Difenconazol und Fenpropidin.

Szenario 3 (Tab. 1) stellte eine mutmaßliche Spritzfolge beim Anbau Glyphosat-toleranter Zuckerrüben dar (MÄRLÄNDER, 2005): Das Saatgut wurde mit dem Fungizid Hymexazol und den Insektiziden Clothianidin, Beta-Cyfluthrin und Imidacloprid behandelt. Zur Unkrautbekämpfung wurde vor der Aussaat und im Nachauflauf Glyphosat appliziert. Als Fungizide wurden Difenconazol und Fenpropidin eingesetzt.

Für alle Szenarien wurde die Intensität mit den Kennzahlen Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex ermittelt. Das Risiko wurde mit SYNOPSIS analysiert. Da bei der Berechnung von Kennzahlen für die Intensität und bei der Ermittlung von Risiken in SYNOPSIS nur die breitflächige Applikation von Pflanzenschutzmitteln berücksichtigt wird (GUTSCHE und STRASSEMEYER, 2007; FREIER et al., 2012), blieben die Saatgutbehandlungen jeweils unberücksichtigt.

2.5 Statistische Auswertung

Die Daten der Untersuchung wichen zum Teil deutlich von der Normalverteilung ab. Daher wurden alle Durchschnittswerte als Median berechnet. Wesentliche Ergebnisse wurden graphisch als Boxplots dargestellt.

Zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Behandlungsindex und Risiko nach SYNOPSIS erfolgte eine Analyse der Rangkorrelation nach Kendall (BORTZ et al., 1990), weil insbesondere die Risiken keine Normalverteilung aufwiesen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SAS (Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

3 Ergebnisse

3.1 Intensität

In der Betriebsbefragung wurden Herbizide auf 100%, Fungizide auf 66%, Insektizide auf 18% und Molluskizide auf 8% der Schläge eingesetzt (Tab. 2).

Die Behandlungshäufigkeit für alle Pflanzenschutzmittel lag zwischen 2,1 und 9,0, betrug im 90. Perzentil 6,0 und im Median 5,0 (Abb. 1). Bei Herbiziden betrug die Behandlungshäufigkeit im 90. Perzentil 5,0 und im Median 4,0. Bei Fungiziden lagen das 90. Perzentil und der Median bei 1,0. Bei Insektiziden ergab sich ein 90. Perzentil von 1,0 und ein Median von 0. Bei Molluskiziden lagen 90. Perzentil und Median jeweils bei 0.

Der Wirkstoffaufwand für die gesamte Applikation von Pflanzenschutzmitteln variierte zwischen 1783 und 8158 g ha⁻¹. Das 90. Perzentil betrug 5805 g ha⁻¹ und der Median 4535 g ha⁻¹ (Abb. 2). Auf Herbizide entfiel im 90. Perzentil ein Wirkstoffaufwand von 5564 g ha⁻¹

Tab. 1. Szenarien für den „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“, den „Pflanzenschutz 2004“ und bei „Anbau Glyphosat-toleranter Sorten“

Szenario	Nr. der Behandlung	Datum	Wirkstoff	Wirkstoffaufwand (g ha ⁻¹)		
„Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“	1	1. April	Lindan	800		
			Triallat	1200		
	2	3. April	Chloridazon	2580		
			Phenmedipham	942		
			Lenacil	800		
	3	22. April	Oxydemeton-methyl	214		
			Parathion	178		
			Metamitron	1420		
			Phenmedipham	314		
			Ethofumesat	600		
„Pflanzenschutz 2004“	Saatgutbehandlung ¹		Hymexazol	14 ²		
			Clothianidin	60 ²		
			Beta-Cyfluthrin	8 ²		
			Imidacloprid	30 ²		
			1	20. März	Glyphosat	1440
					Phenmedipham	75
	2	22. April	Desmedipham	25		
			Ethofumesat	151		
			Metamitron	700		
			Phenmedipham	75		
			Desmedipham	25		
	3	4. Mai	Ethofumesat	151		
			Metamitron	700		
			Propaquizafop	50		
			Phenmedipham	75		
			Desmedipham	25		
			Ethofumesat	151		
	4	18. Mai	Metamitron	700		
			Phenmedipham	75		
			Desmedipham	25		
			Ethofumesat	151		
	5	22. Mai	Metamitron	700		
Clopyralid			12 ³			
6	1. August	Difenoconazol	100			
		Fenpropidin	375			
„Anbau Glyphosat toleranter Sorten“	Saatgutbehandlung ¹		Hymexazol	14 ²		
			Clothianidin	60 ²		
			Beta-Cyfluthrin	8 ²		
			Imidacloprid	30 ²		
			1	20. März	Glyphosat	1440
					Glyphosat	1080
	2	15. Mai	Glyphosat	1080		
			Glyphosat	1080		
	3	1. Juni	Glyphosat	1080		
			Glyphosat	1080		
4	1. August	Difenoconazol	100			
		Fenpropidin	375			

¹ Saatgutbehandlungen werden bei der Ermittlung der Intensität und der Risiken mit SYNOPSIS nicht berücksichtigt.

² Der Wirkstoffaufwand ergab sich bei einer angenommenen Aussaatstärke von 100.000 Pfl. ha⁻¹.

³ 120 g Clopyralid ha⁻¹ wurden auf 10% der Fläche appliziert.

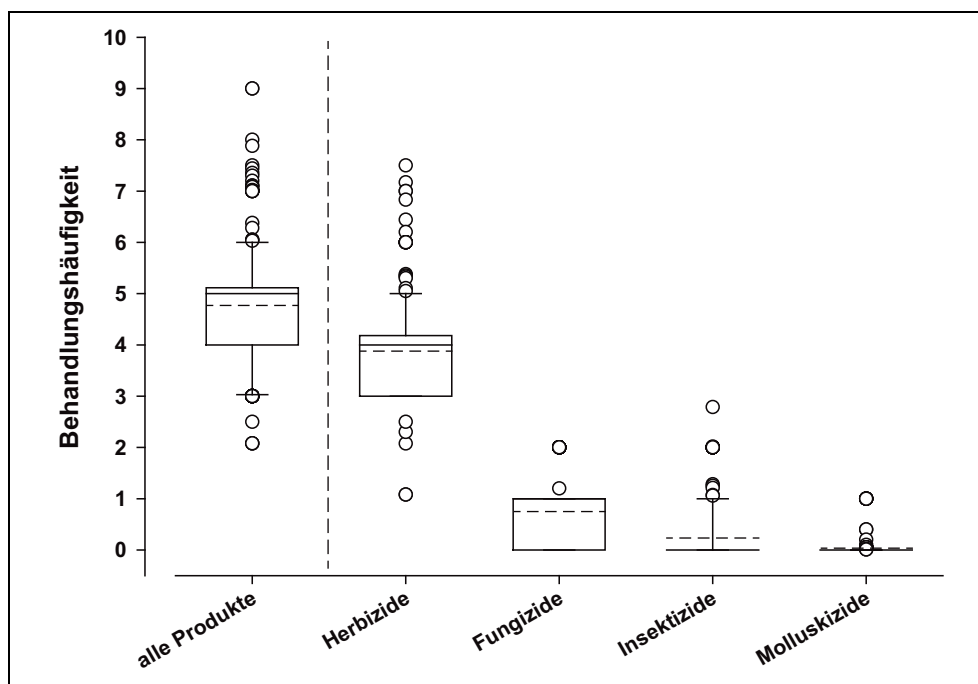


Abb. 1. Behandlungshäufigkeit für alle Pflanzenschutzmittel und für Herbizide, Fungizide, Insektizide und Molluskizide im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland (n = 285 Schläge).

Tab. 2. Anteil der mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Schläge im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland (n = 285 Schläge)

Anteil der behandelten Schläge (%)	
Herbizide	100
Fungizide	66
Insektizide	18
Molluskizide	8

und im Median einer von 4156 g ha⁻¹. Bei den Fungiziden lag das 90. Perzentil bei 475 g ha⁻¹ und der Median bei 225 g ha⁻¹. Für Insektizide wurden ein 90. Perzentil von 47 g ha⁻¹ und ein Median von 0 g ha⁻¹ ermittelt. Bei den Molluskiziden lagen das 90. Perzentil und der Median bei 0 g ha⁻¹.

Der Behandlungsindex für alle Pflanzenschutzmaßnahmen variierte zwischen 0,9 und 7,9, das 90. Perzentil lag bei 5,1 und der Median bei 3,1 (Abb. 3). Beim Behandlungsindex für Herbizide betrug das 90. Perzentil 3,3 und der Median 2,2. Der Behandlungsindex für Fungizide lag im 90. Perzentil bei 1,2 und im Median bei 1,0. Bei den Insektiziden betrug das 90. Perzentil 1,0 und der Median 0. Molluskizide wiesen ein 90. Perzentil und einen Median von 0 auf.

Bei den Szenarien für die Entwicklung des Pflanzenschutzes (Tab. 3) war die Behandlungshäufigkeit von 5,1 beim „Pflanzenschutz 2004“ größer als beim „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“ und beim „Anbau Glyphosat toleranter Sorten“. Der Wirkstoffaufwand von 9048 g ha⁻¹ und der Behandlungsindex von 6,8 waren beim

„Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“ jeweils deutlich größer als in den übrigen Szenarien.

3.2 Risiken

Die mit SYNOPSIS ermittelten Risikowerte lagen bis auf wenige Schläge unterhalb von 0,1 bei den akuten Risiken bzw. unterhalb von 1,0 bei den subchronischen Risiken. Unter Worst-Case-Bedingungen betrug das 90. Perzentil des akuten Risikos für Regenwürmer 0,0168, für Bienen 0,0193, für Daphnien 0,0088, für Fische 0,0082 und für Algen 0,0640 (Abb. 4a). Über dem akuten Risiko von 0,1 lagen 3,9% der Risikowerte für Bienen und 3,2% der Risikowerte für Algen. Beim subchronischen Risiko betrug das 90. Perzentil bei Regenwürmern 0,0667, bei Bienen 0,0023, bei Daphnien 0,2291, bei Fischen 0,0573 und bei Algen 0,7444 (Abb. 4b). Über 1,0 lagen 5,6% der subchronischen Risikowerte für Daphnien und 1,8% der Risikowerte für Algen.

Unter realistischen Bedingungen ergab sich im 90. Perzentil ein akutes Risiko von 0,0146 bei Regenwürmern, 0,0017 bei Bienen, 0,0011 bei Daphnien, 0,0010 bei Fischen und 0,0290 bei Algen (Abb. 5a). Das akute Risiko von 0,1 wurde bei den Bienen von 3,2% der Werte und bei den Algen von 0,4% der Werte überschritten. Das subchronische Risiko betrug im 90. Perzentil bei Regenwürmern 0,0586, bei Bienen 0,0028, bei Daphnien 0,0119, bei Fischen 0,0041 und bei Algen 0,1420 (Abb. 5b). Über dem subchronischen Risiko von 1,0 lagen 0,4% der Werte bei den Algen.

Bei der Berechnung für die Szenarien zur Entwicklung des Pflanzenschutzes lag beim „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“ das akute Risiko für Regenwürmer bei 0,1100, das für Bienen bei 0,1760, das für Daphnien bei 0,3267, das für Fische bei 0,1468 und das für Algen bei 0,5006 (Abb. 6a). Im Szenario „Pflanzenschutz 2004“

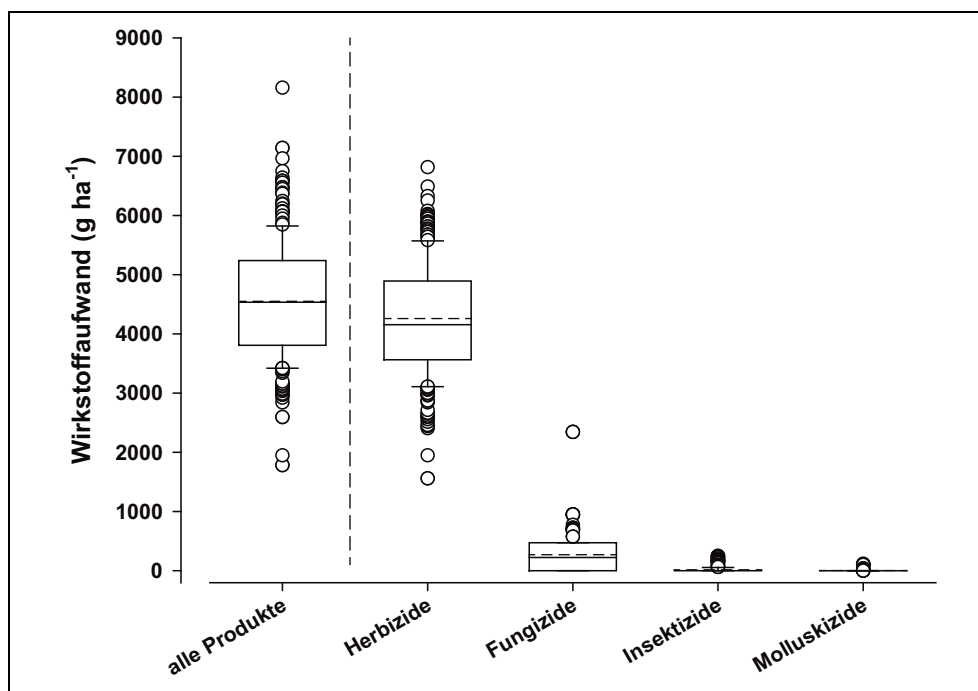


Abb. 2. Wirkstoffaufwand für alle Pflanzenschutzmittel und für Herbizide, Fungizide, Insektizide und Molluskizide im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland (n = 285 Schläge).

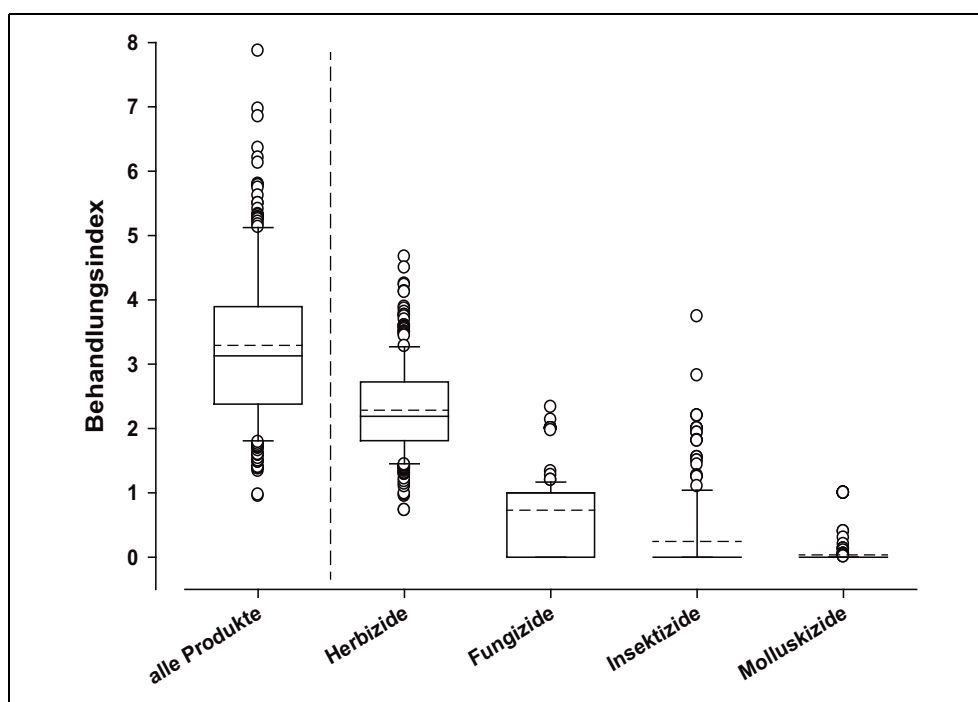


Abb. 3. Behandlungsindex für alle Pflanzenschutzmittel und für Herbizide, Fungizide, Insektizide und Molluskizide im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland (n = 285 Schläge).

Tab. 3. Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex für die Szenarien „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“, „Pflanzenschutz 2004“ und „Anbau Glyphosat-toleranter Sorten“

Szenario	Behandlungshäufigkeit (n)	Wirkstoffaufwand (g ha ⁻¹)	Behandlungsindex (n)
„Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“	4,0	9048	6,8
„Pflanzenschutz 2004“	5,1	4830	3,4
„Anbau Glyphosat toleranter Sorten“	4,0	4075	3,8

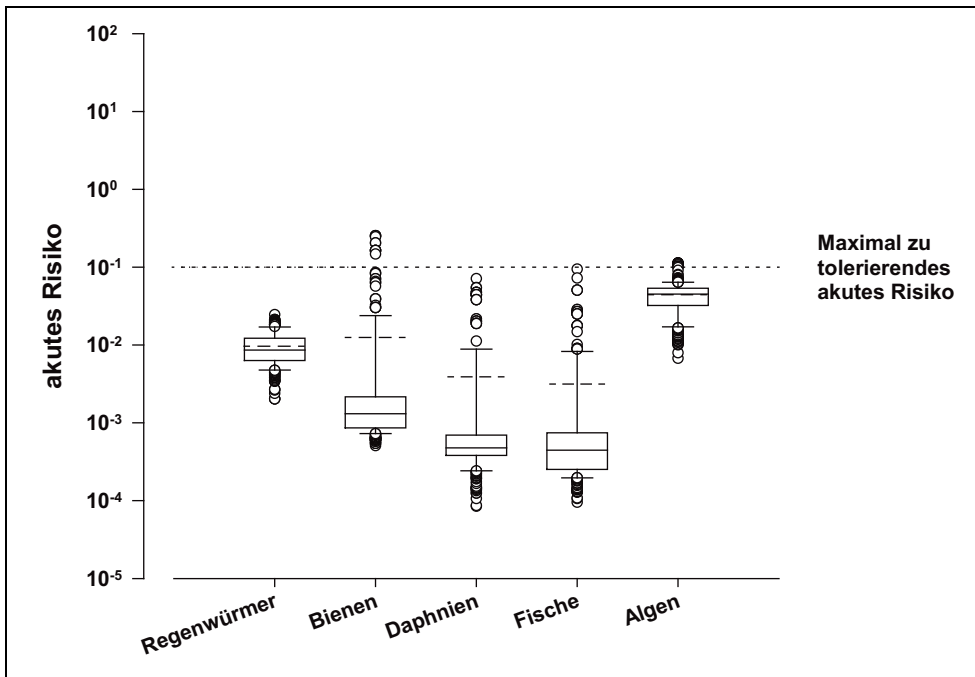


Abb. 4a. Akute Risiken des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland, berechnet mit SYNOPSIS für Worst-Case-Bedingungen und unter Berücksichtigung der Abstandsauflagen (n = 285 Schläge).

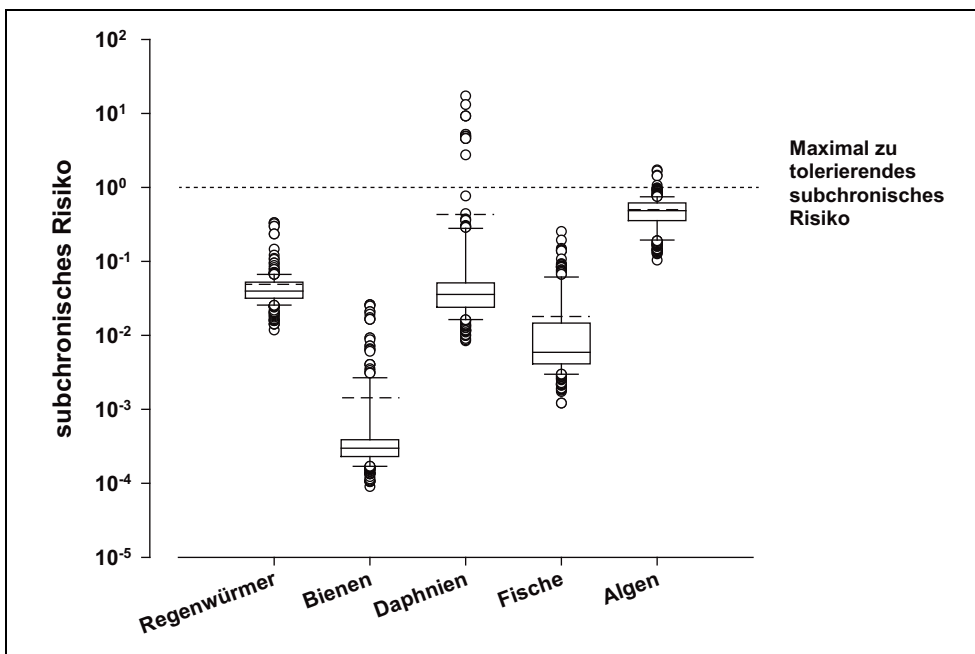


Abb. 4b. Subchronische Risiken des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland, berechnet mit SYNOPSIS für Worst-Case-Bedingungen und unter Berücksichtigung der Abstandsauflagen (n = 285 Schläge).

betrug das akute Risiko für Regenwürmer 0,0135, das für Bienen 0,0001, das für Daphnien 0,0004, das für Fische 0,0002 und das für Algen 0,0087. In Szenario „Anbau Glyphosat toleranter Sorten“ ergaben sich akute Risiken von 0,0027 für Regenwürmer, 0,0002 für Bienen, 0,0000 für Daphnien, 0,0000 für Fische und 0,0045 für Algen.

Das subchronische Risiko lag im Szenario „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“ für Regenwürmer bei 4,4367, für Bienen bei 0,2607, für Daphnien bei 0,2061, für Fische bei 0,1364 und für Algen bei 0,2420 (Abb. 6b). Im Szenario „Pflanzenschutz 2004“ betrug die subchro-

nischen Risikowerte 0,0681 für Regenwürmer, 0,0001 für Bienen, 0,0008 für Daphnien, 0,0002 für Fische und 0,0029 für Algen. In Szenario „Anbau Glyphosat toleranter Sorten“ lagen die subchronischen Risikowerte für Regenwürmer bei 0,0032, für Bienen bei 0,0001, für Daphnien bei 0,0002, für Fische bei 0,0001 und für Algen bei 0,0012.

3.3 Zusammenhang zwischen Intensität und Risiken

Zwischen den Kennzahlen für die Intensität des Pflanzenschutzes und den Risiken unter Worst-Case-Bedin-

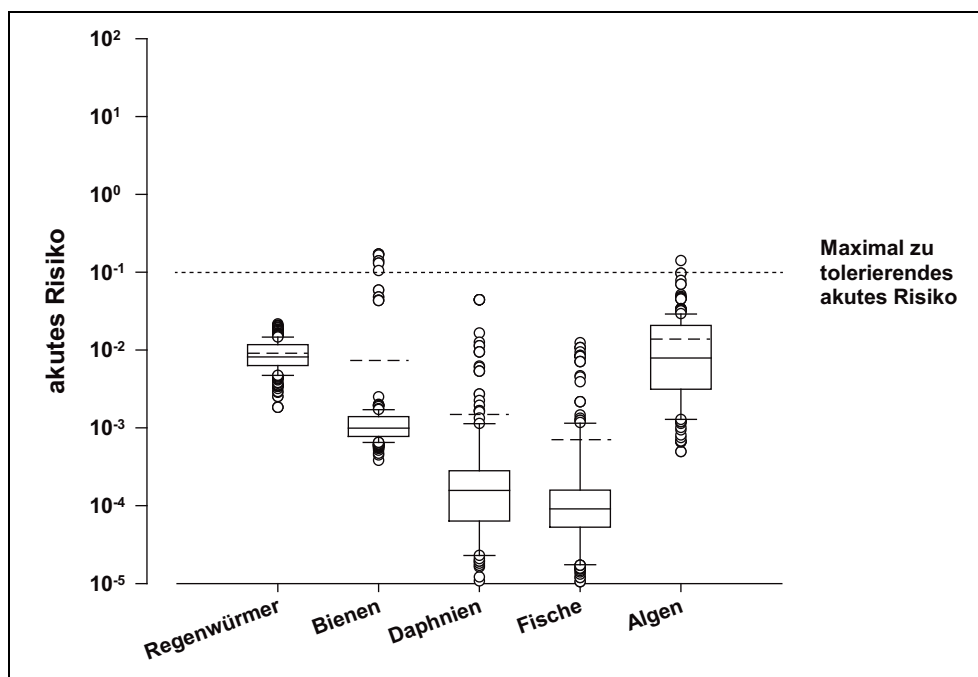


Abb. 5a. Akute Risiken des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland, berechnet mit SYNOPS für realistische Bedingungen und unter Berücksichtigung der Abstandsauflagen (n = 260 Schläge).

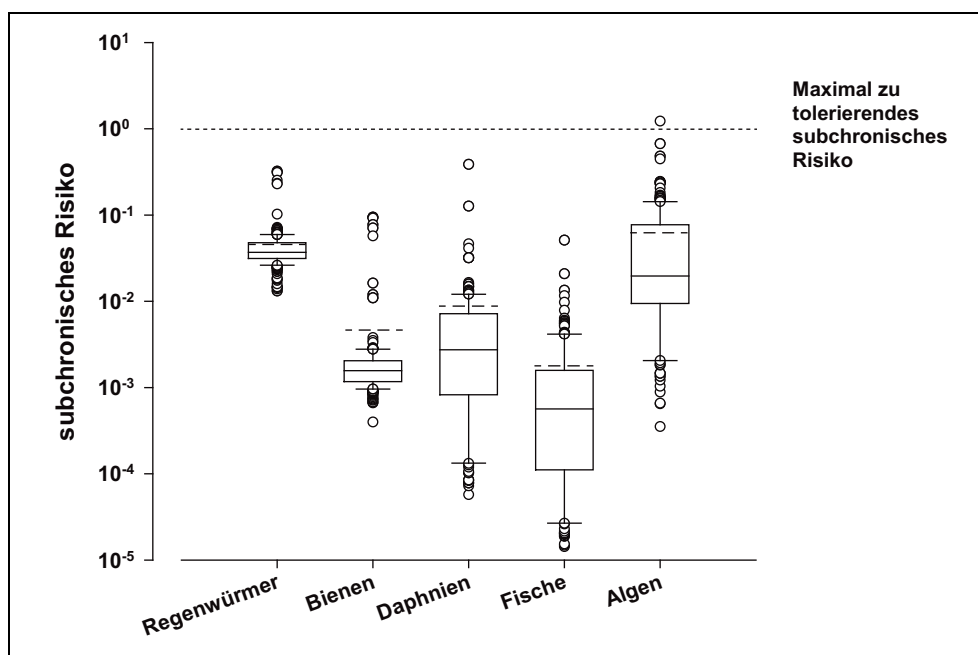


Abb. 5b. Subchronische Risiken des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland, berechnet mit SYNOPS für realistische Bedingungen und unter Berücksichtigung der Abstandsauflagen (n = 260 Schläge).

gungen bestanden größtenteils signifikante Zusammenhänge (Tab. 4), der höchste Rangkorrelationskoeffizient betrug jedoch nur 0,39: Die Behandlungshäufigkeit zeigte zu allen akuten und subchronischen Risiken mit Ausnahme des akuten Risikos für Regenwürmer signifikante Rangkorrelationen mit Koeffizienten von 0,18 bis 0,36. Der Wirkstoffaufwand wies bis auf das akute Risiko für Regenwürmer zu allen Risiken signifikante Zusammenhänge mit Rangkorrelationskoeffizienten zwischen 0,11 und 0,39 auf. Für den Behandlungsindex ergaben sich zu allen Risiken signifikante Korrelationen mit Rangkorrelationskoeffizienten zwischen 0,10 und 0,39.

4 Diskussion

Der Anlass für diese Untersuchung war, dass Intensität und Risiko des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau in Deutschland bisher nicht ausreichend analysiert wurden. Zum einen ist die Ermittlung von Intensität und Risiko des Pflanzenschutzes in der EU-Richtlinie 2009/128/EG (ANONYM, 2009a) und im nationalen Aktionsplan in Deutschland (BMELV, 2013) vorgesehen; zum anderen müssen die Umweltwirkungen bei einer nachhaltigen Entwicklung des Zuckerrübenanbaus berücksichtigt werden (STOCKFISCH et al., 2008). Auf Grundlage

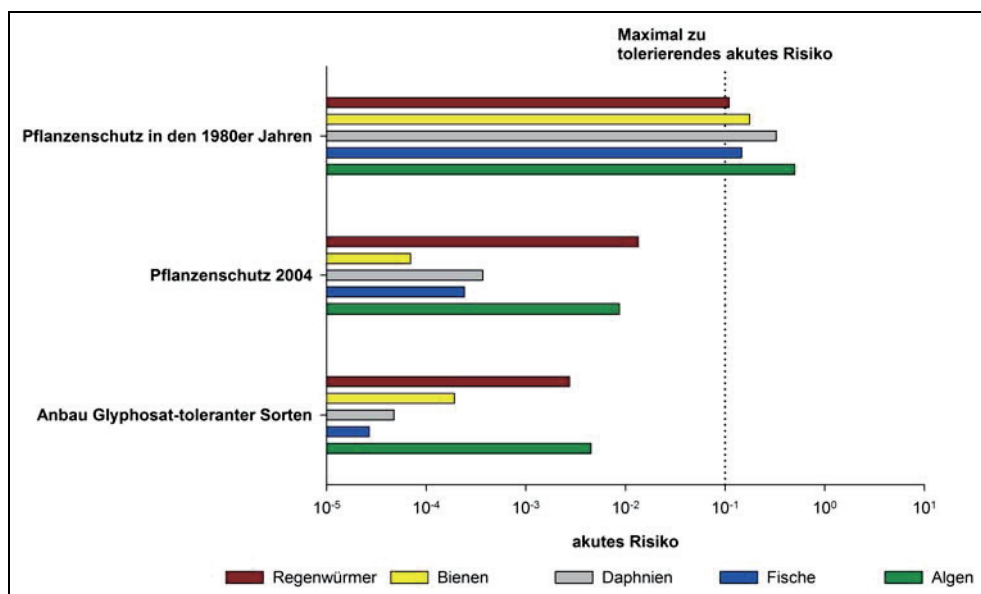


Abb. 6a. Akute Risiken des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau, berechnet mit SYNOPSIS für die Szenarien „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“, „Pflanzenschutz 2004“ und „Anbau Glyphosat-toleranter Sorten“.

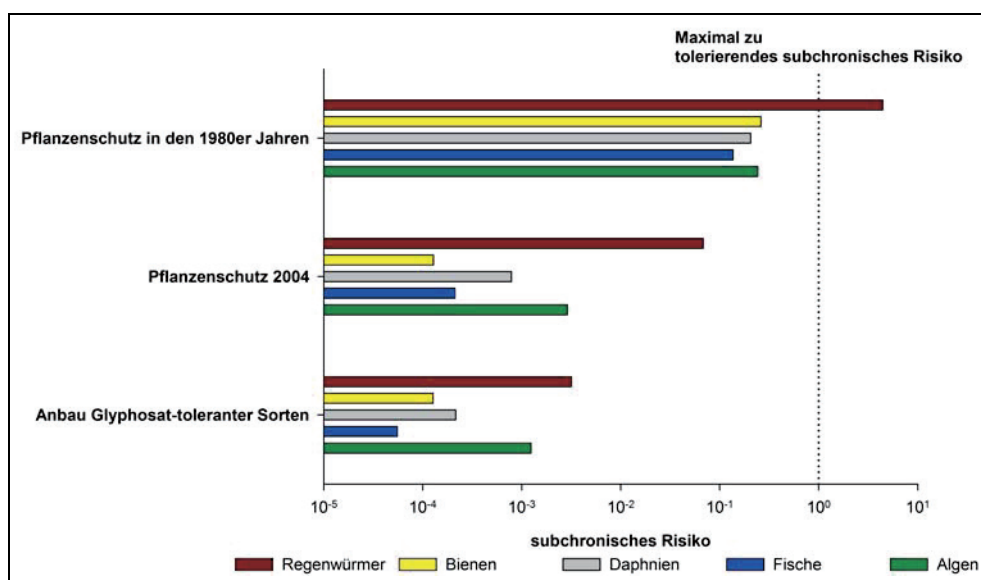


Abb. 6b. Subchronische Risiken des chemischen Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau, berechnet mit SYNOPSIS für die Szenarien „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“, „Pflanzenschutz 2004“ und „Anbau Glyphosat-toleranter Sorten“.

einer Betriebsbefragung sollten deshalb in dieser Studie die Intensität des Pflanzenschutzes und daraus resultierende Risiken ermittelt werden. Darüber hinaus wurden mögliche Zusammenhänge zwischen Intensität und Risiken untersucht. Mit den Daten aus der Befragung zum Zuckerrübenanbau 2004 wurden bereits Umweltwirkungen von Bodenbearbeitung und N-Düngung, die Energiebilanz, die Ökoeffizienz sowie die Kostenstrukturen des Anbaus untersucht (REINEKE und STOCKFISCH, 2008; STARCKE und BAHRS, 2009; WIESSNER et al., 2010; REINEKE et al., 2013).

4.1 Intensität

Die Intensität des chemischen Pflanzenschutzes wird im Rahmen des nationalen Aktionsplans ermittelt (FREIER et al., 2012; BMELV, 2013), um wissenschaftliche Analysen und politische Entscheidungen vorzubereiten (ROSSBERG

et al., 2002). Daneben dienen statistische Daten zur Intensität des Pflanzenschutzes auch zur Erfüllung der Anforderungen der Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 (ANONYM, 2009c). Häufig gebrauchte Kennzahlen für die Intensität sind die Behandlungshäufigkeit und der Wirkstoffaufwand (HILDESBRANDT et al., 1990). Die Behandlungshäufigkeit macht allerdings keine Aussagen über Anzahl und Aufwandmengen der Pflanzenschutzmittel und der Wirkstoffaufwand berücksichtigt nicht die unterschiedliche Potenz und Toxizität der Wirkstoffe (BARNARD et al., 1997). Als besser geeignete Kennzahl für die Intensität des Pflanzenschutzes wird der Behandlungsindex vorgeschlagen (ROSSBERG et al., 2002). Dieser bezieht alle angewendeten Pflanzenschutzmittel ein und normiert die applizierte an der zugelassenen Aufwandmenge (SATTLER et al., 2007). Die Intensität des Pflanzenschutzes wurde in der vorliegenden Arbeit mit den Kennzahlen Behandlungshäufig-

Tab. 4. Rangkorrelationskoeffizient τ (nach Kendall) für Zusammenhänge zwischen Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand bzw. Behandlungsindex und den akuten und subchronischen Risiken des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (berechnet mit SYNOPS) im Zuckerrübenanbau 2004 in Deutschland (n = 285 Schläge)

	Risiko	Regenwürmer	Bienen	Daphnien	Fische	Algen
Behandlungshäufigkeit	akut	ns	0,30***	0,22***	0,18***	0,25***
	subchronisch	0,21***	0,30***	0,36***	0,24***	0,33***
Wirkstoffaufwand	akut	ns	0,18***	0,19***	0,11**	0,26***
	subchronisch	0,18***	0,15***	0,25***	0,17***	0,39***
Behandlungsindex	akut	0,10*	0,21***	0,39***	0,28***	0,16***
	subchronisch	0,23***	0,33***	0,32***	0,39***	0,24***

ns (nicht signifikant); *(p < 0,05); **(p < 0,01); ***(p < 0,001)

keit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex untersucht. Die Applikation von Pflanzenschutzmitteln im Rahmen der Saatgutbehandlung blieb dabei unberücksichtigt, da diese auch bei vergleichbaren Untersuchungen nicht einbezogen wurde (ROSSBERG, 2006; ROSSBERG et al., 2008; ROSSBERG et al., 2010).

Datengrundlage dieser Studie war eine Betriebsbefragung zum Zuckerrübenanbau 2004 (STOCKFISCH et al., 2008), da belastbare Untersuchungen nur mit Daten über die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis erfolgen können (ROSSBERG et al., 2010). Vor der Betriebsbefragung waren Informationen über den Pflanzenschutz in Zuckerrüben aus Expertenschätzungen verfügbar (BUHRE et al., 2011). Diese eignen sich nicht zur Berechnung von Kennzahlen wie dem Behandlungsindex. Geeignete Daten wurden erstmals in den NEPTUN-Erhebungen für den Zuckerrübenanbau 2005, 2007 und 2009 erhoben (ROSSBERG, 2006; ROSSBERG et al., 2008; ROSSBERG et al., 2010). Da die NEPTUN-Erhebungen sich nur auf Pflanzenschutz bezogen, konnten keine Zusammenhänge zu anderen Anbaumaßnahmen untersucht werden. Eine Erhebung der gesamten Anbaugestaltung erfolgte mit der Betriebsbefragung. Aktuell werden für den Zuckerrübenanbau in Deutschland jährliche Betriebsbefragungen durchgeführt, um eine Datenbasis zur Analyse von Umweltwirkungen und Ökoeffizienz aufzubauen (KRAYL und ZELLER, 2012; HEIDKAMP-HEINEKE und REINERS, 2013). Die Befragungen dienen auch zur Erhebung von Daten über die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln im Rahmen des Panels Pflanzenschutzmittel-Anwendungen (PAPA) (ROSSBERG, 2013). Diese Daten werden zum einen im Rahmen des nationalen Aktionsplans genutzt und zum anderen gemäß Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 (ANONYM, 2009c) an die EU übermittelt.

Pflanzenschutzmittel werden in Deutschland auf 99,8% der Anbaufläche für Zuckerrüben angewendet (BUHRE et al., 2011). In der Befragung wurden erwartungsgemäß auf allen Schlägen Herbizide appliziert, da Zuckerrüben konkurrenzwach gegenüber Unkräutern sind und Herbizide eine sichere Bekämpfung ermöglichen (MÄRLÄNDER

et al., 2003). Fungizide wurden auf 66% der Schläge eingesetzt, weil der Befall mit Blattkrankheiten je nach Witterung regional unterschiedlich auftritt und Behandlungen erst bei Überschreiten der Bekämpfungsschwelle erfolgen (VASEL et al., 2013). Die Applikation von Insektiziden hatte wenig Bedeutung, da zur Regulierung von Schädlingen meist die Saatgutbehandlung mit Insektiziden mit hoher Wirkdauer ausreicht und daher die Bekämpfungsschwelle für die Anwendung von Insektiziden selten überschritten wird (VASEL et al., 2013). Molluskizide wurden vereinzelt bei Auftreten von Schnecken eingesetzt.

Die Behandlungshäufigkeit für alle Pflanzenschutzmaßnahmen betrug im Median der Befragung 5,0, während in den NEPTUN-Erhebungen für 2005, 2007 und 2009 Durchschnittswerte von 4,1, 4,8 bzw. 4,7 ermittelt wurden (ROSSBERG, 2006; ROSSBERG et al., 2008; ROSSBERG et al., 2010). Die Variation zwischen den Jahren resultiert wesentlich aus unterschiedlichen Anwendungsbedingungen für Herbizide und Unterschieden beim Befall mit Krankheiten (ROSSBERG et al., 2010). In der Befragung ergab sich für Herbizide eine größere Behandlungshäufigkeit als für Fungizide, Insektizide und Molluskizide, da im Rübenanbau mehrere Behandlungen mit Herbiziden zur Bekämpfung von über einen längeren Zeitraum auflaufenden Unkräutern erfolgen (VASEL et al., 2012). Zwischen den Schlägen gab es größere Unterschiede in der Behandlungshäufigkeit mit Herbiziden, weil regionale unterschiedliche Strategien zur Unkrautregulierung zur Anwendung kommen und auf einem Teil der Schläge vor der Aussaat Glyphosat eingesetzt wurde. Bei den Fungiziden betrug die Behandlungshäufigkeit im Median 1,0. Wahrscheinlich war die Befallshäufigkeit mit Blattkrankheiten relativ niedrig, so dass auf fast allen Schlägen eine Fungizid-Behandlung zur Regulierung von Blattkrankheiten ausreichte oder darauf verzichtet werden konnte (VASEL et al., 2013). Bei Insektiziden und Molluskiziden betrug die Medianwerte der Behandlungshäufigkeit 0, da nur wenige Schläge behandelt wurden.

Der Wirkstoffaufwand für alle Pflanzenschutzmaßnahmen lag in der Befragung im Median bei 4535 g ha⁻¹. Der

Wirkstoffaufwand ergab sich zum größten Teil durch Herbizide. Zum einen erfolgten mit Herbiziden die meisten Behandlungen, zum anderen sind die Aufwandmengen und Wirkstoffgehalte vieler Herbizide relativ hoch. Die Wirkstoffaufwände für die übrigen Produkte waren demgegenüber vergleichsweise gering.

Der Behandlungsindex für den gesamten Pflanzenschutz betrug im Median der Befragung 3,1. Leichte Unterschiede zu den NEPTUN-Erhebungen 2005, 2007 und 2009 mit Behandlungsindizes von 2,7, 3,4 bzw. 3,3 resultierten vermutlich wie bei der Behandlungshäufigkeit aus Unterschieden in den Anwendungsbedingungen für Herbizide und im Befall mit Blattkrankheiten (ROSSBERG et al., 2010). Der höhere Behandlungsindex von 5,1 im Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz für das Mittel der Jahre 2007 bis 2011 wird mit Trockenheit in einigen Jahren und dadurch nötigen Mehraufwendungen von Herbiziden erklärt (FREIER et al., 2012). Wahrscheinlich ergab sich aber auch ein anderer Behandlungsindex als für die Befragung, da die Datenbasis für Zuckerrüben deutlich kleiner ist und die Betriebe nicht nach Anbauregionen verteilt waren. In der Befragung führten die Unterschiede bei den behandelten Flächenanteilen, der Anzahl Behandlungen sowie den Aufwandmengen zu einer großen Variation der Behandlungsindizes. Wesentlichen Anteil am Behandlungsindex und auch an seiner Variation hatten Herbizide und Fungizide. Die Behandlungsindizes für Insektizide und Molluskizide lagen im Median zwar bei 0, aber für die Applikation von Insektiziden ergaben sich auf einzelnen Schlägen auch höhere Behandlungsindizes über 1.

Bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ist im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes grundsätzlich das notwendige Maß einzuhalten (ANONYM, 2012). Das notwendige Maß lässt sich am besten durch Experten beurteilen (FREIER et al., 2012). Da für die Schläge der Befragung keine Angaben zu Auftreten und Befall mit Unkräutern und Schaderregern verfügbar waren, ließ sich die Intensität des Pflanzenschutzes nicht hinsichtlich der Einhaltung des notwendigen Maßes beurteilen.

Eine weitere Einstufung der Intensität im Zuckerrübenanbau ist durch Vergleiche mit anderen Ländern, anderen Kulturen oder dem Pflanzenschutz in der Vergangenheit bzw. der Zukunft möglich. Allerdings können sich die zu vergleichenden Szenarien im Bedarf für Behandlungen unterscheiden, so dass höhere oder niedrigere Kennzahlen nur eine andere Intensität des Pflanzenschutzes charakterisieren und daraus keine negative oder positive Bewertung abgeleitet werden kann.

Ein Vergleich der Intensität mit dem Zuckerrübenanbau in anderen Ländern kann anhand der Behandlungshäufigkeit und des Wirkstoffaufwandes erfolgen. In der Schweiz lag die Behandlungshäufigkeit bei 4,7 und der Wirkstoffaufwand betrug 4255 g ha⁻¹ (FLIESSBACH und SPEISER, 2010). In Großbritannien wurden 6,6 Behandlungen durchgeführt und der Wirkstoffaufwand lag bei 4049 g ha⁻¹ (GARTHWAITE et al., 2011). Die Intensität des Pflanzenschutzes lag in Deutschland damit im gleichen Bereich wie in anderen Ländern.

Vergleiche mit anderen Kulturen sollten vorrangig für den Ackerbau wie z.B. Weizen und Raps vorgenommen werden. Für Weizen wurden eine Behandlungshäufigkeit von 5,0 (BÜRGER und GEROWITT, 2009), ein Wirkstoffaufwand von 1812 g ha⁻¹ (FLIESSBACH und SPEISER, 2010) und ein Behandlungsindex von 5,7 ermittelt (FREIER et al., 2012). Für Raps wurde eine Behandlungshäufigkeit von 5,5, ein Wirkstoffaufwand von 2657 g ha⁻¹ und ein Behandlungsindex von 6,2 bestimmt. Obwohl bei Zuckerrüben der Wirkstoffaufwand höher ist und die Behandlungshäufigkeit und der Behandlungsindex niedriger sind, liegt die Intensität des Pflanzenschutzes in der gleichen Größenordnung wie bei Weizen und Raps.

Zum Vergleich mit Spritzfolgen der Vergangenheit und Zukunft wurden die Szenarien „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“, „Pflanzenschutz 2004“ und „Anbau Glyphosat toleranter Sorten“ gebildet. Für den „Pflanzenschutz 2004“ ergab sich mit Ausnahme der Behandlungshäufigkeit eine niedrigere Intensität als beim „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“. Dazu trugen wahrscheinlich die kombinierte Applikation mehrerer Herbizide in reduzierter Dosis sowie die Saatgutbehandlung mit Insektiziden bei (VASEL et al., 2012; VASEL et al., 2013). Zukünftig wäre beim „Anbau Glyphosat toleranter Sorten“ kaum eine Reduktion der Intensität zu erwarten. Erfahrungen aus den USA zeigen auch, dass neben Glyphosat zusätzlich andere Wirkstoffe zur Resistenzvermeidung appliziert werden sollten (WILSON und SBATELLA, 2011). Der Vorteil beim Anbau Glyphosat toleranter Sorten wäre jedoch ein einfacheres Management der Unkrautregulierung (MÄRLÄNDER, 2005).

4.2 Risiken

Pflanzenschutzmittel können zu Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt führen (SKINNER et al., 1997). Aus toxikologischer Sicht ergeben sich Risiken aus der Exposition gegenüber Pflanzenschutzmitteln und aus deren Gefährlichkeit (ULBIG et al., 2009). Um den Pflanzenschutz zu bewerten, sind Landwirtschaft, Verbraucher und Politik an der Quantifizierung der Risiken interessiert (VERCRUYSE und STEUERBAUT, 2002). Eine Quantifizierung z.B. durch ein Monitoring in der Umwelt ist allerdings aufwendig (SAUPHANOR et al., 2008). Um die Risiken des Pflanzenschutzes für die menschliche Gesundheit und die Umwelt abzuschätzen, wurden daher Risiko-Bewertungsmodelle entwickelt (REUS et al., 2002; BOCKSTALLER et al., 2009). Zur Risikobewertung in Deutschland ist im nationalen Aktionsplan das Modell SYNOPSIS vorgesehen (BMELV, 2013). SYNOPSIS (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007; STRASSEMAYER und GUTSCHE, 2010) erfüllt wesentliche Anforderungen an Risikoindikatoren (REUS et al., 2002) und wurde bereits in Projekten der EU und der OECD eingesetzt (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007; STRASSEMAYER und GUTSCHE, 2010). Bislang lassen sich mit dem Modell Risiken für die terrestrische und aquatische Umwelt bestimmen, eine Erweiterung um Risiken für Anwender von Pflanzenschutzmitteln und Verbraucher ist geplant (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007). Nur so lässt sich eine umfassende und von Gesellschaft und Politik akzeptierte

Risikobewertung sicherstellen. Da eine vermehrte Nutzung nicht-chemischer Maßnahmen im Pflanzenschutz angestrebt wird (ANONYM, 2009a; BMELV, 2013), sollten auch für andere Verfahren des Pflanzenschutzes Methoden zur Risikobewertung entwickelt werden.

In SYNOPSIS werden Risiken der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ermittelt. Dazu werden akute bzw. subchronische Risikowerte als Verhältnis der Konzentration von Wirkstoffen und der LC 50 bzw. der NOEC für Beispielorganismen berechnet. Je höher die Risikowerte ausfallen, desto höher sind die Risiken des Pflanzenschutzes für die Umwelt. Die Risiken werden als tolerabel angesehen, wenn die akuten Risikowerte nicht größer als 0,1 und die subchronischen Risikowerte nicht größer als 1,0 sind. Insgesamt liegt die Schwelle für nicht-tolerable Risiken eher niedrig, da bei den akuten Risiken eine Wirkstoffkonzentration von einem Zehntel der LC 50 ausreicht und bei den subchronischen Risiken eine additive Wirkung der Wirkstoffe angenommen wird. Wenn in SYNOPSIS die Risikowerte im tolerablen Bereich liegen, können daher in der Realität mit hoher Wahrscheinlichkeit Risiken ausgeschlossen werden.

Für die Daten der Befragung wurden die Risiken zunächst unter Worst-Case-Bedingungen ermittelt, um durch Annahme einheitlicher Anwendungsbedingungen für die Schläge allein die Auswirkungen der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu analysieren. Bei den akuten Risikowerten für die Referenzorganismen Regenwurm, Biene, Daphnie, Fisch und Alge war das 90. Perzentil jeweils kleiner als 0,1. Die subchronischen Risikowerte lagen im 90. Perzentil bei allen Organismen unterhalb von 1,0. Die Risiken von Spritzfolgen im Zuckerrübenanbau scheinen damit weitgehend im tolerablen Bereich zu liegen. In der Analyse mit SYNOPSIS ergaben sich nur für wenige Spritzfolgen aus der Praxis nicht-tolerable Risiken für Bienen, Daphnien und Algen.

In der Praxis weisen die Schläge Unterschiede bei Bodeneigenschaften, Hangneigung und dem Vorkommen von Gewässern und Saumbiotopen auf. Zur weiteren Analyse wurden daher wahrscheinliche Anwendungsbedingungen für die Schläge der Befragung geschätzt. Auch bei dieser Modellierung lagen im 90. Perzentil die akuten Risikowerte unter 0,1 und die subchronischen unter 1,0. Insbesondere die Risiken für Daphnie, Fisch und Alge waren jedoch deutlich kleiner als unter Worst-Case-Bedingungen, weil nicht für jeden Schlag ein angrenzendes Oberflächengewässer angenommen wurde. Nur auf äußerst wenigen Schlägen traten nicht-tolerable Risiken auf. Somit sind mit dem chemischen Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau sehr wahrscheinlich keine negativen Folgen für die Umwelt verbunden. Genauso wird in englischen Untersuchungen die Ökotoxizität des Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau als niedrig eingestuft (TZILIVAKIS et al., 2005). Auch Versuche bestätigen, dass unterschiedliche Herbizidstrategien im Zuckerrübenanbau Regenwürmer und weitere Organismen aus der terrestrischen Umwelt wie Laufkäfer nicht beeinflussen (FISCHER und HEIMBACH, 2011; MARWITZ et al., 2012).

Um die Risiken des Pflanzenschutzes bei Zuckerrüben insgesamt einzuordnen, können diese mit denen bei ande-

ren Kulturen verglichen werden. Wie bei dieser Analyse für Zuckerrüben in Deutschland lagen auch bei einer Untersuchung für den Weizenanbau in Sachsen-Anhalt alle Risikowerte im tolerablen Bereich (ANONYM, 2009b). Allerdings waren die subchronischen Risikowerte für Regenwurm, Daphnie und Alge etwas höher. Weitere Auswertungen von Daten für Getreide und Mais aus dem Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz (FREIER et al., 2012) lassen sich nur hinsichtlich des terrestrischen Risikos vergleichen, wiesen aber für Regenwurm und Biene ähnliche Risikowerte aus wie in dieser Analyse für Zuckerrüben. Auch in früheren Untersuchungen mit SYNOPSIS wurden für den Zuckerrübenanbau Risiken in gleicher Höhe wie beim Anbau anderer Ackerbaukulturen ermittelt (DELBAERE und NIETO SERRADILLA, 2004). Die Risiken bei Zuckerrüben sind somit sehr niedrig und unterscheiden sich nicht von denen bei anderen Ackerbaukulturen. Deutlich höhere Risiken können hingegen bei Sonderkulturen wie z.B. Kernobst bestehen (ANONYM, 2009b).

Um die Veränderung der Risiken während der Entwicklung des Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau zu untersuchen, wurden mit SYNOPSIS Szenarien für den „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“, den „Pflanzenschutz 2004“ und den „Pflanzenschutz beim Anbau Glyphosat toleranter Sorten“ analysiert. Beim „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“ als ex-post Betrachtung lagen alle akuten Risikowerte und der subchronische Risikowert für Regenwürmer im nicht-tolerablen Bereich. Im Szenario „Pflanzenschutz 2004“ lagen hingegen alle Risikowerte im tolerablen Bereich. Die Werte waren mindestens um den Faktor 10 kleiner als beim „Pflanzenschutz in den 1980er Jahren“. Ähnlich niedrige Risikowerte wurden auch in einer Untersuchung von Herbizidstrategien im Zuckerrübenanbau ermittelt (GUTSCHE et al., 2012). In den zurückliegenden Jahren hat sich somit das Risiko des Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau deutlich verringert. Dies wird auch durch eine Analyse für den gesamten Pflanzenschutz in Deutschland bestätigt, bei der für den Zeitraum von 1987 bis 2004 ein starker Rückgang der Risikowerte ermittelt wurde (GUTSCHE und STRASSEMAYER, 2007). Ursächlich für die Abnahme der Risiken im Zuckerrübenanbau waren vermutlich die weitgehende Substitution von breitflächigen Behandlungen mit Insektiziden durch eine Saatgutbehandlung (VASEL et al., 2013) sowie die Entwicklung neuer Herbizide und Strategien des Einsatzes von Herbiziden, die sich an dem Auftreten von Unkräutern während der Vegetation orientieren (VASEL et al., 2012). Auch im Szenario „Pflanzenschutz beim Anbau Glyphosat-toleranter Sorten“ lagen die Risikowerte im tolerablen Bereich und waren teilweise noch erheblich niedriger als beim „Pflanzenschutz 2004“. Trotz der günstigen Risikobewertung wird aber vermutlich ein Anbau Glyphosat-toleranter Sorten in Deutschland vorerst nicht erfolgen, da die Akzeptanz dazu fehlt (MÄRLÄNDER, 2005). Allerdings zeigt das Szenario, dass künftige Spritzfolgen ein optimiertes Risikoverhalten aufweisen werden. Bei der Entwicklung zukünftiger Herbizidsysteme für den Zuckerrübenanbau wird dies sicherlich eine hohe Bedeutung haben.

4.3 Zusammenhänge zwischen Intensität und Risiko

Ziel der EU-Richtlinie 2009/128/EG (ANONYM, 2009a) und des nationalen Aktionsplans in Deutschland (BMELV, 2013) ist die Verminderung der Risiken des Pflanzenschutzes. Bis vor kurzem sollte dies in vielen EU-Mitgliedsstaaten durch eine Einschränkung der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln erreicht werden (BARZMAN und DACHBRODT-SAAAYDEH, 2011), da man bei einer höheren Intensität von höheren Risiken ausging. Allerdings ist bislang nicht bekannt, welchen Einfluss die Intensität auf die Risiken hat. Da in dieser Untersuchung die Intensität und die Risiken für Daten aus der Praxis untersucht wurden, konnten auch mögliche Zusammenhänge analysiert werden. Dazu wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Als Kennzahlen für die Intensität dienten die Behandlungshäufigkeit, der Wirkstoffaufwand und der Behandlungsindex. Für das Risiko wurden die unter Worst-Case-Bedingungen ermittelten Risikowerte einbezogen. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Zusammenhänge zwischen Intensität und Risiko für einheitliche Bedingungen untersucht werden und der Einfluss der Anwendungsbedingungen ausgeschlossen bleibt. Als Korrelation wurde die Rangkorrelation nach Kendall berechnet, da diese für nicht-normalverteilte Daten geeignet ist und die Korrelation allein auf Grundlage von Rangunterschieden berechnet wird (BORTZ et al., 1990).

In der Korrelationsanalyse waren Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex mit fast allen akuten und subchronischen Risikowerten signifikant positiv korreliert. Die Intensität des Pflanzenschutzes hatte einen signifikanten Einfluss auf die Risiken, weil mit Zunahme von Behandlungshäufigkeit, Wirkstoffaufwand und Behandlungsindex mehr Wirkstoffe in den Kompartimenten exponiert werden und diese Einfluss auf die Organismen haben.

Die ermittelten Korrelationskoeffizienten waren mit $< 0,40$ jedoch relativ klein. Ähnlich niedrige Koeffizienten wurden auch für die Korrelationen zwischen Intensität und Risiken im Weizenanbau ermittelt (ANONYM, 2009b). Im Zuckerrübenanbau und wahrscheinlich auch allgemein lassen sich die Risiken des Pflanzenschutzes somit nur teilweise durch die Kennzahlen der Intensität erklären.

In der Korrelationsanalyse ergaben sich die höchsten Koeffizienten meist zwischen dem Behandlungsindex und den Risikowerten. Diese Beziehungen zeigten die relativ engsten Zusammenhänge, weil der Behandlungsindex die zulässigen Aufwandmengen der Pflanzenschutzmittel einbezieht (ROSSBERG et al., 2010). Diese werden bei der Zulassung im Hinblick auf den Schutz des Naturhaushalts, die Gesundheit von Mensch und Tier sowie die notwendige Wirksamkeit der Pflanzenschutzmittel festgelegt (ANONYM, 2012). Da die Koeffizienten allerdings auch beim Behandlungsindex relativ niedrig sind, lassen sich auch von diesem nur teilweise die Risiken ableiten. Der Behandlungsindex wird deshalb als ungeeignet zur Vorhersage von Risiken angesehen (ANONYM, 2009b). Dies gilt angesichts der niedrigen Korrelationskoeffizienten auch für die übrigen Kennzahlen der Intensität.

Die Umweltbewertung von Produktionsverfahren erfolgte bisher häufig auf Basis der Intensität des Pflanzenschutzes (ECKERT et al., 1999). Auch im Rahmen der EU-Richtlinie 2009/128/EG (ANONYM, 2009a) und nationaler Aktionspläne in Deutschland und anderen Ländern (BMELV, 2013; BARZMAN und DACHBRODT-SAAAYDEH, 2011) wird die Intensität des Pflanzenschutzes erhoben und analysiert. Insbesondere der Behandlungsindex eignet sich sehr gut, um die Intensität des Pflanzenschutzes über die Zeit abzubilden. Kennzahlen zur Intensität sollten allerdings nur zur Beschreibung des Pflanzenschutzes als Ursache für Risiken dienen. Eine Ableitung von Risiken allein anhand der Intensität wie z.B. von BALDOCK und DWYER (2002) für Zuckerrüben kann hingegen zu Fehleinschätzungen führen.

Die geringen Zusammenhänge zwischen Intensität und Risiken des Pflanzenschutzes zeigen, dass sich die Risiken nicht wirksam durch eine Begrenzung oder Reduktion der Intensität vermindern lassen. Analysen der Risiken und gezielte Maßnahmen zur Optimierung sind eher geeignet und daher auch Bestandteil des nationalen Aktionsplans in Deutschland (BMELV, 2013). Zur Verminderung der Risiken sollen u.a. kulturspezifische Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz beitragen, die für den Zuckerrübenanbau bereits entwickelt wurden (GUMMERT et al., 2011).

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den befragten Betrieben herzlich für die Bereitschaft zur Mitwirkung und das entgegengebrachte Vertrauen. Den Ansprechpartnern in den Regionen wird für die Kontakte zu den Betrieben gedankt. Den Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss sei für kritische und anregende Diskussionen gedankt.

Literatur

- ANONYM, 2012: Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) Bundesgesetzblatt Jahrgang 2012 Teil I Nr. 7, ausgegeben zu Bonn am 13. Februar 2012.
- ANONYM, 2009a: Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union, L 309/71-L 309/86.
- ANONYM, 2009b: Report on environmental risk and benefits assessment (DR3.3), ENDURE, European Network for Durable Exploitation of crop protection strategies. http://www.endure-network.eu/content/download/5457/42969/file/ENDURE_DR3.3-validated.pdf, Abgerufen: 16.01.2013.
- ANONYM, 2009c: Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über Statistiken zu Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union, L 324/1-L 324/22.
- ANONYM, 2009d: Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union, L 309/1-L 309/50.
- BALDOCK, D., J. DWYER, 2002: Environmental Integration and the CAP. A report to the European Commission, DG Agriculture. London, Institute for European Environmental Policy. <http://www.ieep.eu/assets/139/EnvironmentalintegrationandCAP.pdf>, Abgerufen: 25.01.2013.

- BARNARD, C., S. DABERKOW, M. PADGITT, M.E. SMITH, N.D. URI, 1997: Alternative measures of pesticide use. *The Science of the Total Environment* **203**, 229-244.
- BARZMAN, M., S. DACHBRODT-SAAAYDEH, 2011: Comparative analysis of pesticide action plans in five European countries. *Pest Management Science* **67**, 1481-1485.
- BMELV, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bundesministerin für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Pflanze/Pflanzenschutz/NationalerAktionsplanPflanzenschutz2013.pdf;jsessionid=7D24DD19083B9FAAA3C95DBFBBA08668.2_cid288?__blob=publicationFile, Abgerufen: 19.09.2013.
- BOCKSTALLER, C., L. GUICHARD, O. KEICHINGER, P. GIRARDIN, M.-B. GALAN, G. GAILLARD, 2009: Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **29**, 223-235.
- BORTZ, J., G. A. LIENERT, K. BOEHNEKE, 1990: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Berlin, Springer-Verlag, 939 S.
- BÜRGER, J., B. GEROWITT, 2009: Anwendungsmuster von Pflanzenschutzmitteln in Winterweizen und Winterraps. *Gesunde Pflanzen* **61**, 11-17.
- BUHRE, C., P. FECKE, F. NELLES, G. SCHLINKER, E. LADEWIG, 2011: Entwicklungen im Pflanzenschutz in Zuckerrüben aus der Umfrage Produktionstechnik im Vergleich zur Erhebung NEPTUN. *Zuckerindustrie* **136**, 742-749.
- COOPER, J., H. DOBSON, 2007: The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Protection* **26**, 1337-1348.
- COOPER, T., K. HART, D. BALDOCK, 2009: Provision of public goods through agriculture in the European Union. Report Prepared for DG Agriculture and Rural Development, London, Institute for European Environmental Policy. http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/public-goods/report_en.pdf, Abgerufen: 5.07.2013.
- DELBAERE, B., A. NIETO SERRADILLA, 2004: Environmental risks from agriculture in Europe. ECNC – European Centre for Nature Conservation, Tilburg/Niederlande, Eigenverlag.
- ECKERT, H., G. BREITSCHUH, D. SAUERBECK, 1999: Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. *Agribiological Research* **52**, 57-76.
- FISCHER, F., U. HEIMBACH, 2011: Auswirkung verschiedener Herbizidstrategien auf Laufkäfer (Carabidae) in Zuckerrüben. *Zuckerindustrie* **136**, 104-108.
- FLIESSBACH, A., B. SPEISER, 2010: Beurteilung des Risikos von Pflanzenschutzmittelanwendungen in der Schweiz an Hand von Indikatoren. Forschungsinstitut für biologischen Landbau. Frick/Schweiz, Eigenverlag, 78 S.
- FREIER, B., J. SELLMANN, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, E. MOLL, V. GUTSCHE, W. ZORNACH, 2012: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz. Jahresbericht 2011. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2011. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut **166**, 102 S.
- GARTHWAITE, D.G., I. BARKER, G. PARRISH, L. SMITH, C. CHIPPINDALE, S. PIETRAVALLE, 2011: Pesticide Usage Survey Report 235. Arable Crops In The United Kingdom. London, Department for Food, Environment and Rural Affairs, Eigenverlag.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG, B. MÄRLÄNDER, 2011: Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes im Zuckerrübenanbau. Hrsg.: Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen.
- GUTSCHE, V., J. STRASSEMAYER, 2007: SYNOPSIS – ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risikopotentials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **59**, 197-210.
- GUTSCHE, V., J. STRASSEMAYER, E. LADEWIG, 2012: Modellierung des Umwelt-Risikopotenzials von Pflanzenschutzstrategien im Zuckerrübenanbau. *Gesunde Pflanzen* **64**, 11-19.
- HEIDKAMP-HEINEKE, C., M. REINERS, 2013: Tu Gutes und rede darüber. Hintergrund zur produktionstechnischen Umfrage im Zuckerrübenanbau. *Zuckerrübe* **62** (3), 36-37.
- HILDESBRANDT, A., H. SCHÖN, M. HILLE, 1990: Entwicklung des chemischen Pflanzenschutzes im Ackerbau Behandlungshäufigkeit und Aufwandmengen 1977 bis 1979 und 1987. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **42**, 129-134.
- HILLE, M., 1982: Erhebung über Art und Menge von chemischen Produkten in Verwendungsbereichen, in denen sie zu Umweltbelastungen führen. Forschungsbericht -106 01 006. Braunschweig, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.
- KRAYL, E., F. ZELLER, 2012: Grundlage einer erfolgreichen Beratung. Produktionstechnische Umfrage im Zuckerrübenanbau. *DZZ. Die Zuckerrübenzeitung* **48** (5), 41.
- MÄRLÄNDER, B., 2005: Weed Control in Sugar Beet using Genetically Modified Herbicide-tolerant Varieties – A Review of the Economics for Cultivation in Europe. *J. Agronomy & Crop Science* **191**, 64-74.
- MÄRLÄNDER, B., C. HOFFMANN, H.-J. KOCH, E. LADEWIG, R. MERKES, J. PETERSEN, N. STOCKFISCH, 2003: Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *J. Agronomy & Crop Science* **189**, 201-226.
- MARWITZ, A., E. LADEWIG, B. MÄRLÄNDER, 2012: Impact of herbicide application intensity in relation to environment and tillage on earthworm population in sugar beet in Germany. *Europ. J. Agronomy* **39**, 25-34.
- REINEKE, H., N. STOCKFISCH, 2008: Ausgewählte Umweltindikatoren für Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau. *Zuckerindustrie* **133**, 774-783.
- REINEKE, H., N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER, 2013: Analysing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany. *Europ. J. Agronomy* **45**, 27-38.
- REUS, J., P. LEENDERTSE, C. BOCKSTALLER, I. FOMSGAARD, V. GUTSCHE, K. LEWIS, C. NILSSON, L. PUSSEMIER, M. TREVISAN, H. VAN DER WERF, F. ALFARROBA, S. BLÜMEL, J. ISART, D. MCGRATH, T. SEPPÄLÄ, 2002: Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **90**, 177-187.
- ROSSBERG, D., 2013: Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen* **65**, 141-151.
- ROSSBERG, D., 2010: NEPTUN 2009 – Gemüse. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut **153**, 72 S.
- ROSSBERG, D., 2009: NEPTUN 2007 – Obstbau. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut **147**, 71 S.
- ROSSBERG, D., E.-H. VASEL, E. LADEWIG, 2010: NEPTUN 2009 – Zuckerrübe. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut **152**, 45 S.
- ROSSBERG, D., E. LADEWIG, P. LUKASHYK, 2008: NEPTUN 2007 – Zuckerrüben. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut **145**, 44 S.
- ROSSBERG, D., 2006: NEPTUN 2005 – Zuckerrüben. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **137**, 37 S.
- ROSSBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN, M. WICK, 2002: NEPTUN 2000 – Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **98**, 27 S.
- RUSSILLO, A., L. PINTÉR, 2009: Linking Farm-Level Measurement Systems to Environmental Sustainability Outcomes: Challenges and Ways Forward. Winnipeg, Kanada, International Institute for Sustainable Development.
- SATTLER, C., H. KÄCHELE, G. VERCH, 2007: Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **119**, 299-304.
- SAUPHANOR, B., C. PICARD, S. SIMON, D. PLÉNET, 2008: Indicators to assess the environmental impact of protection practices in apple orchards. In: CROSS, J., M. BROWN, J. FITZGERALD, M. FOUNTAIN, D. YOHALEM (Hrsg.): Proceedings of the 7th International Conference on Integrated Fruit Production at Avignon (France), October 27-30, 2008. <https://w3.avignon.inra.fr/dspace/bitstream/2174/332/1/IFPAvignonIOBC2008.pdf>, Abgerufen: 5.07.2013.
- SKINNER, J.A., K.A. LEWIS, K.S. BARDON, P. TUCKER, J.A. CATT, B.J. CHAMBERS, 1997: An Overview of the Environmental Impact of Agriculture in the U.K., *Journal of Environmental Management* **50**, 111-128.
- STARCKE, J., E. BAHR, 2009: Leistungen und Kosten bei Zuckerrüben und Ackerbau vor und nach den jüngsten Agrarreformen. *Zuckerindustrie* **134**, 101-108.
- STOCKFISCH, N., P. DEUMELANDT, J. FUCHS, H. REINEKE, J.U. STARCKE, B. MÄRLÄNDER, 2008: Verbundprojekt Umweltwirkungen im Zuckerrübenanbau: Aufgaben und Ziele. *Zuckerindustrie* **133**, 573-579.
- 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. OECD Workshop on Agri-Environmental Indicators, Leysin, Switzerland. <http://www.oecd.org/agriculture/sustainableagriculture/44806454.pdf>, Abgerufen: 16.01.2013.
- STRASSEMAYER, J., V. GUTSCHE, C. BROWN, M. LIESS, C. SCHRIEVER, 2007: Harmonised environmental Indicators for pesticide Risk. Aquatic Indicators. <http://www.rivm.nl/rvs/dsresource?type=pdf&objectid=rivmp:75608&versionid=&subobjectname=>, Abgerufen: 16.01.2013.
- TZILIVAKIS, J., K. JAGGARD, K.A. LEWIS, M. MAY, D.J. WARNER, 2005: Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **107**, 341-358.
- ULBIG, E., R.F. HERTEL, G.-F. BÖL, 2009: Evaluierung der Kommunikation über die Unterschiede zwischen „risk“ und „hazard“. *BfR Wissenschaft* 02/2009, Berlin.

VASEL, E.-H., E. LADEWIG, B. MÄRLÄNDER, 2013: Auftreten von Blattkrankheiten und Schadinsekten sowie Fungizid- und Insektizidstrategien im Zuckerrübenanbau in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* **65**, 37-49.

VASEL, E.-H., E. LADEWIG, B. MÄRLÄNDER, 2012: Weed composition and herbicide use strategies in sugar beet cultivation in Germany. *Journal für Kulturpflanzen* **64**, 112-125.

VERCRUYSE, F., W. STEUERBAUT, 2002: POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator. *Crop Protection* **21**, 307-315.

WIESSNER, J., N. STOCKFISCH, B. MÄRLÄNDER, 2010: Approach for determining the ecoefficiency of sugar beet cultivation in Germany. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 409-418.

WILSON, R.G., G.M. SBATELLA, 2011: Late-Season weed control in Glyphosate-resistant sugarbeet. *Weed Technology* **25**, 350-355.