

**IST EINE REDUZIERUNG DES PFLANZENSCHUTZMITTEL-
EINSATZES IM FREILANDGEMÜSEBAU MÖGLICH? ERGEBNISSE
EINES BIOÖKONOMISCHEN SIMULATIONSMODELLS**

Walter Dirksmeyer

**Institute of Farm Economics, Federal Agricultural Research Centre,
Braunschweig, Germany**



*Paper prepared for presentation at the 47th annual conference of the GEWISOLA
(German Association of Agricultural Economists) and the 17th annual conference of the
ÖGA (Austrian Association of Agricultural Economists),
'Changing Agricultural and Food Sector',
Freising/Weihenstephan, Germany, September 26-28, 2007*

Copyright 2007 by author. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.

IST EINE REDUZIERUNG DES PFLANZENSCHUTZMITTELEINSATZES IM FREILANDGEMÜSEBAU MÖGLICH? ERGEBNISSE EINES BIOÖKONOMISCHEN SIMULATIONSMODELLS

Walter Dirksmeyer*

Zusammenfassung

Der Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln ist im Freilandgemüsebau sehr hoch. Obwohl Pflanzenschutzverfahren bekannt sind, die deutlich weniger PSM benötigen, als dies bei den Standardverfahren der Fall ist, werden sie häufig nur von einem kleinen Kreis der Produzenten angewandt. Mit Hilfe eines stochastischen bioökonomischen Simulationsmodells wird die Verteilung des Nettoertrages ermittelt, die von der Anwendung verschiedener in der Produktion von Möhren, Porree und Zwiebeln eingesetzter Pflanzenschutzverfahren zu erwarten sind. Unter Verwendung des Konzeptes der stochastischen Dominanz können effiziente Verfahren identifiziert werden. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass es durch den Einsatz alternativer Pflanzenschutzverfahren im Freilandgemüsebau möglich ist, die PSM-Einsatzmengen zu reduzieren, ohne betriebswirtschaftliche Einbußen oder ein erhöhtes Risiko in Kauf nehmen zu müssen.

Keywords:

Pflanzenschutz, Gemüsebau, stochastische Simulation, stochastische Dominanz.

1 Einleitung

Im Freilandgemüsebau werden große Mengen an chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln (PSM) eingesetzt. Dies führt zu externen Kosten, die beispielsweise in den Bereichen menschliche Gesundheit, Umwelt und Trinkwasser entstehen (z. B. PIMENTEL und LEHMANN, 1993; WAIBEL und FLEISCHER, 1998; PRETTY et al., 2000). Ein wichtiger Faktor, der zu der hohen PSM-Intensität im Freilandgemüsebau beiträgt, sind die Qualitätsstandards für Gemüse (z. B. ABl. EG, 1983, 1999, 2001a, b).

Obwohl für viele Indikationen¹ ausgereifte Verfahren verfügbar sind, die es erlauben würden, die aktuellen Einsatzmengen von PSM zu reduzieren oder ganz auf sie zu verzichten (z. B. ESBJERG, 1985; FOX, 1989; LENTEREN, 1992; HOMMES, 1993; RAVN und ESBJERG, 1994; THEUNISSEN, 1994; EVERAARTS und LOOSJES, 1996; RICHTER, 1998), ist zu beobachten, dass solche Pflanzenschutzverfahren (PS-Verfahren) nur von einem kleinen Teil der Gemüseproduzenten eingesetzt werden. Eine stärkere Verbreitung solcher Verfahren würde jedoch das Ausmaß an externen Effekten reduzieren, die aus dem Einsatz von PSM resultieren.

Produzenten von Gemüse entscheiden im gegebenen rechtlichen Rahmen (BGBI, 1998) über den Zeitpunkt und das Ausmaß des PSM-Einsatzes im Freilandgemüsebau. Der neoklassischen Theorie folgend, werden sie nur dann alternative PS-Verfahren einsetzen, die eine Reduktion des PSM-Einsatzes zur Folge haben, wenn sie davon einen wirtschaftlichen Vorteil erwarten können.

* Dr. Walter Dirksmeyer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Betriebswirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Deutschland. E-Mail: Walter.Dirksmeyer@fal.de.

¹ Als Indikation wird der Komplex aus einem bestimmten Unkraut, einem tierischen Schaderreger oder einem Schadpilz und einer Kulturpflanze bezeichnet.

Um zu untersuchen, ob alternative PS-Verfahren eine Chance auf eine Übernahme durch Produzenten haben, muss die Effizienz dieser Verfahren ermittelt werden. Ein wichtiger Faktor dabei ist die Berücksichtigung des Risikos, da nicht-chemische Alternativen und solche mit reduziertem PSM-Einsatz häufig mit einem höheren Produktionsrisiko verbunden werden (VIDAL, 1995b; SENGONCA et al., 1997).

In dieser Untersuchung wird die Hypothese getestet, dass eine Verringerung des Einsatzes von chemisch-synthetischen PSM im Freilandgemüsebau nach ökonomischen Kriterien möglich ist, ohne das Risiko der Gemüseproduktion zu erhöhen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Das Schadschwellenkonzept

Den ersten Ansatz, ökonomische Entscheidungskriterien in die Anwendung von chemischen PSM zu integrieren, entwickelten STERN et al. (1959) mit dem Konzept des Integrierten Pflanzenschutzes². Kern dieses Konzeptes ist, dass eine Maßnahme zur Schaderregerkontrolle nur dann durchgeführt wird, wenn der zu erwartende Schaden, der durch ihre Anwendung verhindert wird, mindestens ebenso hoch ist wie ihre Kosten, d. h. erst nach Erreichen des Break-even-Punktes. Um aus diesem Postulat Entscheidungsregeln ableiten zu können, wurde das Schadschwellenkonzept³ entwickelt.

HEADLEY (1972) führte eine ökonomische Definition der Schadensschwelle ein, indem er das Schadschwellenkonzept mit dem Marginalprinzip kombinierte, um das optimale Einsatzniveau von PSM zu bestimmen. Dies ist der Punkt, in dem der vermiedene Grenzscha-den den Grenzkosten der Schaderregerkontrolle entspricht. Die zu diesem Punkt gehörige Schaderregerdichte entspricht der ökonomischen Schadensschwelle. Ein wichtiges Argument gegen die Verwendung der ökonomischen Schadensschwelle als Entscheidungskriterium ist, dass sie unter Praxisbedingungen nicht ermittelt werden kann (WEERSINK et al., 1991).

2.2 Marginalanalysen zum Pflanzenschutzmitteleinsatz

Um die Produktivität des PSM-Einsatzes auf aggregierter Ebene zu untersuchen, führte HEADLEY (1968) erstmals eine Marginalanalyse auf Basis einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion durch. Das Ergebnis einer PSM-Produktivität von US\$ 3,9 bis US\$ 5,7 je Dollar, der für den PS ausgegeben wurde, wurde dahingehend interpretiert, dass zu wenig PSM eingesetzt werden.

LICHTENBERG und ZILBERMAN (1986) hingegen zeigten, dass der Nutzen von PSM bei ihrer direkten Berücksichtigung in einer Produktionsfunktion systematisch überschätzt wird. Der Grund dafür ist ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den direkten, d. h. Output erhöhenden, Produktionsfaktoren, wie beispielsweise Dünger oder Wasser, und den indirekten, die einen Schaden vermeiden, wie z. B. chemische oder biologische PSM.

Daher integrieren LICHTENBERG und ZILBERMAN (1986) eine Schadensvermeidungsfunktion mit dem Minimal- und dem Maximalertrag als Grenzen in die Produktionsfunktion. Die Schadensvermeidungsfunktion bildet den Ertrag in Abhängigkeit vom PSM-Einsatzniveau ab. Der Minimalertrag ist definiert als das Outputniveau, das ohne Einsatz schadensvermeidender Produktionsfaktoren erreicht wird. Er ist abhängig vom Schaderregerdruck und schwankt daher zwischen den Produktionszyklen. Der Maximalertrag wird erreicht, wenn entweder kein

² Integrated Control.

³ Nach dem Schadschwellenkonzept werden Verfahren zur Schaderregerkontrolle nur dann eingesetzt, wenn zuvor ermittelte Schaderregerdichten, die das o. g. Postulat erfüllen, überschritten sind. Die Anwendung des Schadschwellenkonzeptes führt i. d. R. dazu, dass weniger PSM eingesetzt werden als bei routinemäßigen Anwendungen („Kalenderspritzungen“) und dass gleichzeitig der verbliebene Schaden nicht höher ausfällt als die Kosten des Einsatzes einer weiteren PS-Maßnahme.

Schaderregerbefall vorliegt oder ein solcher komplett behandelt wird, ohne Schaden an der Kultur zu verursachen. Er ist abhängig vom Einsatzniveau der direkten Produktionsfaktoren. Der Nutzen des PS kann nur zwischen den Grenzen des Minimal- und Maximalertrages liegen.

Die Schadensvermeidungsfunktion wird durch den Einsatz direkter Produktionsfaktoren und ihren Interaktionen (SAHA et al., 1997), durch Ökosystemvariablen (BLACKWELL und PAGOULATOS, 1992) und durch die Art und Nutzungsintensität prophylaktischer Maßnahmen zur Schaderregerkontrolle (BLACKWELL und PAGOULATOS, 1992; CARPENTIER und WEAVER, 1997) beeinflusst.

Viele Autoren haben das Modell von LICHTENBERG und ZILBERMAN (1986) aufgegriffen und weiterentwickelt (vgl. z. B. BLACKWELL und PAGOULATOS, 1992; CHAMBERS und LICHTENBERG, 1994; CARPENTIER und WEAVER, 1997; LANSINK und CARPENTIER, 2001).

Die Variablen, die den Verlauf der Schadensvermeidungsfunktion bestimmen, haben eine stochastische Natur, so dass bei der Analyse von PS-Verfahren Risiko zu berücksichtigen ist. Zudem können die funktionalen Beziehungen zwischen diesen Variablen nur sehr schwer identifiziert werden (BOR, 1995; FERNANDEZ-CORNEJO, 1996; SWINTON und DAY, 2000).

2.3 Risiko beim Einsatz von Pflanzenschutzverfahren

In der ökonomischen Bewertung von PS-Verfahren ist Risiko als ein wesentlicher Faktor bereits intensiv untersucht worden (z. B. CARLSON, 1984; ANTLE, 1988; ROLA und PINGALI, 1993). In einer ersten theoretischen Arbeit zeigt FEDER (1979), dass das optimale PSM-Einsatzniveau von risikoaversen Landwirten über dem Niveau nach neoklassischen Effizienzkriterien liegt. Im Gegensatz dazu weist PANNELL (1991) in einer umfassenden Literaturanalyse nach, dass der PSM-Einsatz risikoaverser Entscheider nicht zwingend höher ist.

In der Vergangenheit wurden bioökonomische Simulationsmodelle erfolgreich für den Vergleich verschiedener PS-Maßnahmen eingesetzt (z. B. REICHELDERFER und BENDER, 1979; ADNER, 1984; ARCHIBALD, 1988; BERG et al., 1988; SWINTON und KING, 1994; NORDBLOM et al. 2003). Um eine Datenbasis für solche Simulationsmodelle zu schaffen, können einerseits in Felderhebungen oder Versuchen beobachtete Verteilungen in diese Modelle einfließen, wie z. B. bei REICHELDERFER und BENDER (1979) oder ADNER (1984), was aufgrund der benötigten umfangreichen Daten sehr aufwendig und dadurch kostspielig ist (SWINTON und WILLIAMS, 1998). Andererseits wurden stochastische bioökonomische Simulationsmodelle entwickelt, in denen die Datenbasis für die Simulationsrechnungen, ausgehend von Annahmen für Verteilungen wichtiger Variablen, selbst geschaffen wird (z. B. SWINTON und KING, 1994; BUCK et al., 1999; SAPHORES, 2000; SUNDING und ZIVIN, 2000).

Für die Analyse von PS-Verfahren im Gemüsebau können die Vorteile beider Arten der Datengenerierung verschmolzen werden. Ausgehend von den Daten aus Fallstudien bei Gemüseproduzenten können Verteilungen für wichtige Variablen definiert werden, die anschließend in ein stochastisches Simulationsmodell übernommen werden.

3 Methodik

3.1 Beschreibung des Modells

Für die Analyse wird ein stochastisches bioökonomisches Simulationsmodell entwickelt, um einen Vergleich der Effizienz verschiedener PS-Verfahren im Freilandgemüsebau unter Berücksichtigung von Risiko durchzuführen. In der Analyse sind alle wichtigen Variablen zu berücksichtigen, so auch der Einfluss von Ökosystemvariablen. Der Nutzen aus der Anwendung einer PS-Technologie kann höchstens den monetären Wert der Differenz zwischen dem nach LICHTENBERG und ZILBERMAN (1986) definierten Maximal- und Minimalertrag errei-

chen. Diese Differenz ist der höchste Ertragsverlust, der aus einem bestimmten Schaderregerbefall resultieren kann.

Die Analyse von PS-Verfahren im Freilandgemüsebau folgt einem Ansatz, den PEMSL et al. (2004) für die Ermittlung der Produktivität von verschiedenen Verfahren zur Kontrolle des Baumwollkapselwurms in der Baumwollproduktion in China und Indien entwickelt haben. Dieser Ansatz wird auf den Gemüsebau übertragen. Die Zielvariable des Modells ist der Nettoertrag aus der Anwendung einer Kontrollmaßnahme⁴.

Um den Nettoertrag ($NRCM_{gi}^h$), aus der Anwendung einer Kontrollmaßnahme g gegen den Schaderreger i in Kultur h bestimmen zu können, müssen die Kosten der Maßnahme (C_{gi}^h) von dem monetären Wert des durch die Anwendung der Maßnahme g vermiedenen Schadens (MLP_{gi}^h) abgezogen werden (Gleichung 1):

$$(1) NRCM_{gi}^h = MLP_{gi}^h - C_{gi}^h$$

In dem Modell sind die Kosten der Anwendung einer Maßnahme stochastisch, da Arbeitsbedarf und -kosten als Zufallsvariable in das Modell einfließen. Die Kosten der Kontrollinputs, z. B. diejenigen verschiedener PSM, gehen als feste Parameter in das Modell ein.

Der monetäre Wert des durch die Anwendung der Maßnahme g vermiedenen Schadens (MLP_{gi}^h) ist abhängig vom potenziellen Maximalertrag (Y_{0gi}^h), dem maximalen Ertragsverlust (L_{0gi}^h), der Wirksamkeit der Kontrollmaßnahme (E_{gi}^h) und dem qualitätsbereinigten Produktpreis (P^h) (Gleichung 2):

$$(2) MLP_{gi}^h = Y_{0gi}^h * L_{0gi}^h * E_{gi}^h * P^h$$

Der maximale Ertragsverlust fließt in das Modell als eine lineare Funktion vom größtmöglichen Schaden, der aus einem unbehandelten Maximalbefall resultiert, und der Befallsintensität eines Schaderregers ein. Der potenzielle Maximalertrag und der Produktpreis gehen als absolute Parameter in das Modell ein. Demgegenüber werden der maximale Ertragsverlust und die Wirksamkeit der Kontrollmaßnahme als relative Variablen in das Modell integriert. Beide sind zwischen null und eins definiert.

Der potenzielle Maximalertrag, der größtmögliche Schaden und die Wirksamkeit einer Kontrollmaßnahme werden durch Ökosystemvariablen beeinflusst. Dieser Einfluss wird in dem Simulationsmodell indirekt berücksichtigt, indem für die genannten Parameter Wahrscheinlichkeitsverteilungen angenommen werden. Aus demselben Grund werden für die Kontrollmaßnahmen, die auf dem Schadschwellenkonzept beruhen, Wahrscheinlichkeiten dafür definiert, dass die Schadensschwellen mit einer bestimmten Häufigkeit überschritten werden. Der Argumentation in Abschnitt 2.1 folgend, wird in dieser Analyse die Schadschwelle nach STERN et al. (1959) verwendet. Der maximale Ertragsverlust ist als vom größtmöglichen Schaden abhängige Variable indirekt stochastisch.

Gleichung (3) fasst die Gleichungen (1) und (2) zusammen, und bildet damit alle Modellparameter ab, die den Nettoertrag der Anwendung einer Kontrollmaßnahme direkt beeinflussen:

$$(3) NRCM_{gi}^h = Y_{0gi}^h * L_{0gi}^h * E_{gi}^h * P^h - C_{gi}^h$$

In dem stochastischen bioökonomischen Simulationsmodell wird eine Monte-Carlo-Simulation angewandt. Dadurch werden alle Zufallsvariablen entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeitsverteilungen berücksichtigt. Auf diese Weise wird eine Verteilungsfunktion der Zielvariablen ermittelt (HARDAKER et al., 1997).

⁴ Eine Kontrollmaßnahme besteht aus der ein- oder mehrmaligen Anwendung einer PS-Technologie. Dies ist zum Beispiel die Ausbringung eines PSM oder die Durchführung eines Hackgangs zur Unkrautbekämpfung. Eine Kontrollmaßnahme kann auch aus einer Kombination verschiedener Technologien bestehen, wie beispielsweise in der kombiniert chemisch-mechanischen Unkrautbekämpfung.

Um effiziente PS-Verfahren zu identifizieren, die alternativ für eine Indikation eingesetzt werden können, kann das Konzept der stochastischen Dominanz genutzt werden (BRANDES und ODENING, 1992). Im Rahmen dieses Konzeptes müssen zunehmend schärfere Annahmen zur Risikoeinstellung der Entscheider getroffen werden. Für die absolute Dominanz und die stochastische Dominanz ersten Grades ist die Annahme ausreichend, dass die Entscheider eine monoton steigende Nutzenfunktion besitzen. Für die stochastische Dominanz zweiten Grades muss zusätzlich noch angenommen werden, dass die Nutzenfunktion der Entscheider einen abnehmenden Grenznutzen hat, so dass von Risikoaversion ausgegangen wird. Durch einen paarweisen Vergleich der untersuchten PS-Verfahren können die effizienten von ihnen identifiziert werden (HARDAKER et al., 1997).

3.2 Datengrundlage

Es kann davon ausgegangen werden, dass Gemüseproduzenten nur praxiserprobte PS-Verfahren anwenden werden. Aus diesem Grund wurden Befragungen von Produzenten mit dem Ziel durchgeführt, technische Koeffizienten möglichst vieler Verfahren für die Kontrolle der wichtigsten tierischen Schaderreger und Unkräuter beim Anbau von Möhren, Porree und Zwiebeln zu erfassen. Die Befragungen wurden 2001 in Dänemark, Deutschland und den Niederlanden, d. h. in Ländern mit vergleichbaren agrarökologischen Bedingungen (ZWERGER, 2000), durchgeführt. Im Rahmen von Fallstudien wurden insgesamt 134 Produzenten befragt, um die primäre Datengrundlage für die Analyse zu schaffen. Aus diesen Daten wurden typische PS-Verfahren abgeleitet, die in einem zweiten Schritt durch Experteneinschätzungen validiert wurden (ORIADE und DILLON, 1997). Einem Ansatz von HEMME et al. (1998) folgend, wurde dazu in einem Workshop mit Experten aus Beratung und Wissenschaft ein schrittweiser Diskussions- und Konsensbildungsprozess angewandt, der auf dem Delphi-Verfahren (z. B. MOHN, 1974; WECHSLER, 1978; JANBEN, 1987) beruht⁵.

4 Ergebnisse

4.1 Annahmen für die Simulation

In den Fallstudien wurden einige grundsätzlich voneinander abweichende PS-Verfahren identifiziert, die mit Hilfe des stochastischen bioökonomischen Simulationsmodells analysiert werden sollen.

Da die agrarökologischen Bedingungen in Dänemark, Deutschland und den Niederlanden grundsätzlich vergleichbar sind (ZWERGER, 2000), wird davon ausgegangen, dass die in Dänemark und den Niederlanden verwendeten PS-Verfahren auch in Deutschland einsetzbar sind. Für deren Analyse werden die technischen Koeffizienten der Verfahren übernommen und die Kostenparameter auf die deutschen Werte angepasst.

In dem Simulationsmodell nimmt die Verteilung der Häufigkeit der Schadschwellenüberschreitung eine zentrale Stellung ein, da von dieser das Befallsniveau, der maximale Ertragsverlust und der Anteil der Standardqualität an der gesamten Erntemenge abgeleitet werden. Die Annahmen zu den Verteilungen der Zufallsvariablen und Ausprägungen der fixen Parameter des Modells sowie Details zu den verschiedenen Kontrollverfahren, potenziellem Maximalertrag, Erzeugerpreis, Arbeitsbedarf und -kosten sowie Kosten der Kontrollinputs sind ausführlich in DIRKSMEYER (2006) beschrieben.

⁵ Für weitergehende Informationen zur Befragung und ihren Ergebnissen und zur Durchführung des Expertenworkshops siehe DIRKSMEYER (2006).

4.2 Ergebnisse der Simulationsrechnungen

Möhren

In der Möhrenproduktion werden die Kontrolle der Möhrenfliege, der Erdeule und die Unkrautkontrolle analysiert. In Dänemark werden Supervised-Control-Systeme zur Kontrolle der Erdeule (Maßnahme C2) und der Möhrenfliege (CF2) angewandt, mit denen der Einsatzzeitpunkt von Insektiziden optimiert wird. Dieser Zeitpunkt wird auf Basis von Ergebnissen der Befallsüberwachung und von Populationsprognosemodellen sowie unter Berücksichtigung von Schadschwellen ermittelt. Außerdem wird in Dänemark zur Kontrolle der Erdeule gezielt bewässert (CF1). Um den Bewässerungszeitpunkt zu bestimmen, werden ebenfalls Ergebnisse des Supervised Control Systems genutzt. Durch den hohen für die Beregnung benötigten Arbeitseinsatz sind die Kosten des auf Bewässerung basierenden Systems am höchsten (Tabelle 1). In Deutschland wird die Erdeule nur selten gezielt bekämpft.

Gegen die Möhrenfliege werden in Deutschland oft routinemäßige Kalenderspritzungen (CF1) durchgeführt. Eine weitere Möglichkeit, die in Deutschland zur Möhrenfliegenkontrolle eingesetzt wird, ist der Einsatz von Insektiziden auf Basis von Warnmeldungen des Pflanzenschutzdienstes (CF3). Die Kosten für die Möhrenfliegenkontrolle nach dem Supervised-Control-System erreichen die höchsten Werte, während sie für die Maßnahme nach Warnmeldungen am geringsten sind. Da sich die Zeiträume des Befalls von Möhrenfliegen und Erdeulen teilweise überlappen, ist ein Nebeneffekt der Erdeulenkontrolle auf den Möhrenfliegenbefall zu erwarten. Dies ist in dem Simulationsmodell dadurch berücksichtigt, dass die Kosten einer Insektizidspritzung gegen die Möhrenfliege immer dann nicht berücksichtigt sind, wenn mindestens eine Spritzung gegen die Erdeule durchgeführt wird (Tabelle 1).

Unkräuter in Möhren werden in Dänemark und Deutschland kombiniert chemisch-mechanisch kontrolliert (W2), wobei in Dänemark auch um zwei Drittel reduzierte Herbiziddosierungen (W3) zum Einsatz kommen. In der biologischen Produktion werden Unkräuter hingegen ausschließlich physikalisch bekämpft. Dafür kommen mechanische und thermische Verfahren zum Einsatz. Diese Technologie wird für die Analyse in die konventionelle Produktion (W1) übertragen. Die Kosten für die nicht-chemische Kontrolle von Unkraut sind am höchsten, die für die chemisch-mechanische mit reduzierten Herbiziddosierungen am geringsten (Tabelle 1).

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass eine gezielte chemische Kontrolle der Erdeule nach Supervised Control (C2) in Deutschland lohnend ist. Diese Maßnahme dominiert die Kontrolle durch Beregnung mit stochastischer Dominanz ersten Grades. Die Ergebnisse der verschiedenen Maßnahmen zur Möhrenfliegenkontrolle liegen über weite Strecken relativ dicht beieinander. Aufgrund der hohen Wahrscheinlichkeit, dass Möhrenfliegenpopulationen die Schadschwelle nicht erreichen, ist der Nettoertrag der Möhrenfliegenkontrolle für alle drei Maßnahmen mit recht hohen Wahrscheinlichkeiten, gut 30 bis gut 40 %, negativ. Keine der Maßnahmen zur Möhrenfliegenkontrolle dominiert eine der anderen stochastisch ersten oder zweiten Grades. Die Spannweite der Ergebnisse ist für Supervised Control mit Insektiziden (CF2) an größten (Tabelle 1).

In der Unkrautkontrolle erreicht die chemisch-mechanische Maßnahme mit reduzierten Herbizidaufwandmengen (W3) den höchsten Erwartungswert für den Nettoertrag. Die nicht-chemische Maßnahme (W1) wird von beiden chemisch-mechanischen mit stochastischer Dominanz ersten Grades dominiert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich des Nettoertrags verschiedener Kontrollmaßnahmen in der Möhrenproduktion

Maßnahme	Kosten [€/ha] von – bis	Nettoertrag (NE) [€/ha]					Mittelwert	Spannweite	Varianz	p für NE<0 [%]*
		Min	1. Quartil	Modal	3. Quartil	Max				
C1	29 – 399	-184	-48	-42	588	3.912	376	4.096	558.417	66
C2	29 – 118	-63	-48	-42	831	6.703	515	6.766	979.925	6
CF1	142 – 318	-297	-202	578	1.304	3.430	645	3.727	779.056	42
CF2	182 – 590	-266	-222	768	1.845	5.048	965	5.314	1.578.032	43
CF3	0 – 318	-259	-77	0	1.523	4.601	759	4.860	1.094.217	32
W1	335 – 2.525	-58	1.675	2.246	3.003	7.311	2.438	7.369	1.249.179	0,1
W2	54 – 422	319	2.494	3.120	3.857	9.263	3.286	8.944	1.394.789	0
W3	27 – 300	2.100	3.415	4.040	4.888	9.256	4.261	7.156	1.421.181	0

* Wahrscheinlichkeit, dass ein negativer Nettoertrag realisiert wird.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Porree

Der wichtigste tierische Schaderreger in der Porreeproduktion ist der Thrips, für den eine Maßnahme auf Basis der Schadschwellenüberschreitung (T1) und eine weitere mit Kalenderspritzungen (T2) analysiert werden. Aufgrund des hohen Befallsdrucks von Thrips sind die Kosten beider Maßnahmen zur Thripskontrolle etwa gleich hoch. Für die Kontrolle von Unkraut in Porree werden, wie auch in der Möhrenproduktion, eine nicht-chemische (W1) und zwei chemisch-mechanische Maßnahmen (W2 und W3) untersucht, von denen eine durch reduzierte Herbizidaufwandmengen (W3) gekennzeichnet ist. Ebenso wie in der Produktion von Möhren sind in der Porreeproduktion die Kosten der nicht-chemischen Unkrautkontrolle am höchsten (Tabelle 2).

In der Thripskontrolle im Porree ist die Wirksamkeit der routinemäßigen Insektizidspritzungen (T2) etwas höher als die der Maßnahme, in der die Insektizidanwendungen nach dem Schadschwellenkonzept (T1) terminiert werden. Der Grund für die höhere Wirksamkeit der Kalenderspritzungen ist, dass der Thripsbefall keine ausgeprägten Spitzen zeigt, da Thrips im Sommer fast permanent präsent sind. Außerdem halten sich Thrips tief im Inneren der Porreepflanze auf, wo sie beim Befallsmonitoring schwer zu erkennen sind. Kalenderspritzungen (T2) dominieren die Maßnahme nach Schadschwellen (T1) stochastisch ersten Grades. Der Unterschied im Erwartungswert des Nettoertrages beider Maßnahmen beträgt etwa 1 000 €/ha. Die Spannweite des Nettoertrags der Maßnahme mit Routineanwendungen ist bei einem leicht höheren Mindestwert deutlich größer als die der Maßnahme nach Schadschwellen (Tabelle 2).

Aufgrund der geringeren Kosten und der leicht höheren Wirksamkeit der chemisch-mechanischen Maßnahme mit reduzierten Herbiziddosierungen (W3) dominiert diese beide anderen Maßnahmen zur Unkrautkontrolle im Porree stochastisch ersten Grades. Zwischen den beiden anderen Maßnahmen ist keine Diskriminierung nach den Kriterien der stochastischen Dominanz ersten und zweiten Grades möglich. Der Erwartungswert des Nettoertrages der Maßnahme mit reduzierten Dosierungen (W3) ist gut 500 €/ha höher als der der chemisch-mechanischen mit Standarddosierungen für die Herbizide (W2). Der Unterschied zur nicht-chemischen Unkrautkontrolle (W1) beträgt sogar gut 850 €/ha (Tabelle 2).

Tabelle 2: Vergleich des Nettoertrags verschiedener Kontrollmaßnahmen in der Porreeproduktion

Maßnahme	Kosten [€/ha] von – bis	Nettoertrag (NE) [€/ha]						Mittelwert	Spannweite	Varianz	p für NE<0 [%]*
		Min	1. Quartil	Modal	3. Quartil	Max					
T1	93 – 492	1.979	5.197	7.034	9.457	17.124	7.390	15.145	8.495.752	0	
T2	205 – 469	2.361	5.978	8.018	10.342	22.234	8.381	19.873	11.228.175	0	
W1	237 – 1.085	1.439	3.755	5.478	8.354	19.804	6.387	18.365	11.683.009	0	
W2	74 – 952	1.745	4.045	5.923	8.527	21.278	6.720	19.533	11.607.171	0	
W3	40 – 820	2.210	4.393	6.255	9.314	20.909	7.256	18.599	13.519.722	0	

* Wahrscheinlichkeit, dass ein negativer Nettoertrag realisiert wird.

Quelle: Eigene Berechnungen.

Zwiebeln

In der Zwiebelproduktion werden von den tierischen Schaderregern Thrips und die Zwiebelfliege untersucht. Aus den Niederlanden ist die prophylaktische Freilassung von sterilen Zwiebelfliegenmännchen (OF1) mit in die Analyse aufgenommen. Diese Maßnahme verhindert, dass sich eine natürliche Zwiebelfliegenpopulation aufbauen kann. Außerdem wird gegen die Zwiebelfliege in Deutschland und den Niederlanden vorbeugend mit Insektiziden behandeltes Saatgut (OF2) eingesetzt. Die Kosten beider prophylaktischen Maßnahmen liegen auf gleichem Niveau (Tabelle 3).

Thrips werden in beiden Ländern in der Zwiebelproduktion ebenso wie im Porree nach Schadschwellenüberschreitung (T1) oder auch routinemäßig mit Insektiziden (T2) kontrolliert. Die Kosten der Kontrolle nach Schadschwellen sind leicht höher (Tabelle 3).

Analog zu den beiden anderen Kulturen werden auch in der Zwiebelproduktion zwei chemisch-mechanische Kontrollmaßnahmen mit unterschiedlichen Herbiziddosierungen (W1 und W2) und eine nicht-chemische (W3) Variante analysiert (Tabelle 4).

Tabelle 3 zeigt, dass die prophylaktische Kontrolle von Zwiebelfliegen in Deutschland weder durch die Saatgutbehandlung (OF2) noch über die Freilassung von sterilen Zwiebelfliegenmännchen (OF1) sinnvoll ist⁶. Der Erwartungswert des Nettoertrages ist für beide Maßnahmen negativ. Außerdem dominiert die Alternative, keine Kontrollmaßnahmen durchzuführen, beide untersuchten Verfahren stochastisch zweiten Grades.

Bei der Kontrolle von Thrips wird mit Kalenderspritzungen (T2) ein geringfügig höherer Erwartungswert für den Nettoertrag erzielt. Ebenso wie in der Porreeproduktion ist der Grund dafür eine leicht höhere Wirksamkeit der routinemäßigen Insektizidanwendungen. Nach den Kriterien für stochastische Dominanz ersten oder zweiten Grades kann von beiden Maßnahmen keine effiziente ermittelt werden (Tabelle 3).

Das Simulationsergebnis der Unkrautkontrolle in Zwiebeln zeigt große Parallelen zu denen der Möhren- und der Porreeproduktion. Beide chemisch-mechanischen Maßnahmen (W2 und W3) dominieren die nicht-chemische (W1) stochastisch ersten Grades. Außerdem ist nach demselben Kriterium die chemisch-mechanische Maßnahme mit reduzierten Herbizidaufwandmengen (W3) im Vergleich zu beiden anderen Maßnahmen effizient. Der Erwartungswert des Nettoertrages dieser Maßnahme ist 300 €/ha höher als der der Maßnahme mit Standarddosierungen (W2). Er ist sogar 1 000 €/ha höher als der der nicht-chemischen Maßnahme (W1). Die Spannweite der Ergebnisse liegt mit etwa 10 700 €/ha bei beiden chemisch-

⁶ Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen aus den Niederlanden, wo beide Maßnahmen sinnvoll sind. Der Grund dafür ist der im Vergleich zu Deutschland höhere Befallsdruck von Zwiebelfliegen in den Niederlanden.

mechanischen Maßnahmen auf gleichem Niveau und gleichzeitig rund 2 600 €/ha höher als die der nicht-chemischen Maßnahme (Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich des Nettoertrags verschiedener Kontrollmaßnahmen in der Zwiebelproduktion

Maßnahme	Kosten [€/ha] von – bis	Nettoertrag (NE) [€/ha]					Mittelwert	Spannweite	Varianz	p für NE<0 [%]*
		Min	1. Quartil	Modal	3. Quartil	Max				
OF1	125 – 165	-159	-125	-125	-125	1.761	-66	1.920	51.544	92
OF2	128	-128	-128	-128	-128	2.199	-46	2.327	83.832	90
T1	60 – 339	-164	-120	-103	179	9.744	713	9.908	3.321.814	74
T2	106 – 238	-222	-164	-143	823	10.898	796	11.120	3.506.788	70
W1	225 – 1.260	119	1.889	2.694	3.750	8.218	2.944	8.099	2.029.888	0
W2	126 – 1.475	674	2.335	3.385	4.627	11.393	3.659	19.719	3.005.155	0
W3	62 – 1.331	811	2.673	3.618	5.033	11.510	3.957	10.699	3.007.933	0

* Wahrscheinlichkeit, dass ein negativer Nettoertrag realisiert wird.

Quelle: Eigene Berechnungen.

5 Schlussfolgerungen

Für den Vergleich verschiedener PS-Verfahren im Freilandgemüsebau wurde in Anlehnung an PEMSL et al. (2004) ein stochastisches bioökonomisches Simulationsmodell entwickelt. Als Datengrundlage für die Simulationsrechnungen dienen Ergebnisse aus Fallstudien und daraus abgeleitete Verteilungen für relevante Modellparameter sowie Experteneinschätzungen, die zur Anpassung und Validierung dieser Verteilungen genutzt wurden. Dieser Ansatz der Datengenerierung hat sich aus forschungsökonomischen Gründen als äußerst sinnvoll erwiesen.

Die Ergebnisse der Arbeit untermauern, dass es durch den Einsatz des stochastischen bioökonomischen Simulationsmodells möglich ist, die wirtschaftlichen Folgen des Einsatzes verschiedener PS-Verfahren zu analysieren. Unter Anwendung der Kriterien der stochastischen Dominanz ersten und zweiten Grades können effiziente Verfahren identifiziert werden.

Die Untersuchung zeigt, dass ausgehend von den in Deutschland im Freilandgemüsebau überwiegend eingesetzten routinemäßigen Kalenderspritzungen Verringerungen im Einsatzniveau chemischer PSM möglich sind. Insbesondere die Supervised-Control-Systeme zur Kontrolle der Möhrenfliege und der Erdeule in der Möhrenproduktion haben sich als effizient erwiesen. Im Gegensatz dazu zeigte die Berücksichtigung von Schadschwellen bei der Thripskontrolle weder in der Porree- noch in der Zwiebelproduktion Vorteile. Es scheint daher sinnvoll zu sein, Forschungsarbeiten zur Bestimmung und Optimierung von Schadschwellen primär auf Schaderreger zu konzentrieren, die ausgeprägte Befallsspitzen haben und im Feld einfach zu identifizieren sind.

Eine prophylaktische Kontrolle der Zwiebelfliege ist unter den in Deutschland herrschenden Befallswahrscheinlichkeiten nicht sinnvoll. Dies gilt sowohl für die in Deutschland weit verbreitete insektizide Saatgutbehandlung, als auch für die in den Niederlanden angewendete Freilassung steriler Zwiebelfliegenmännchen.

Im Bereich der Unkrautkontrolle sind durch eine Reduzierung der Dosierung in allen drei Kulturen deutliche Verringerungen des Herbizideinsatzes möglich. Voraussetzung dafür ist, dass der Herbizideinsatz zeitlich optimal auf das Wachstum der Unkräuter abgestimmt wird. In diesem Bereich sind weiterführende Forschungsarbeiten vielversprechend. Ein totaler Verzicht auf den Herbizideinsatz hingegen würde, insbesondere durch die hohen Arbeitskosten, zu einer starken Reduzierung der Nettoerträge führen.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein intensiver internationaler Technologietransfer im Bereich des PS sinnvoll ist, um die Einsatzmengen chemisch-synthetischer PSM zu verringern. Dies gilt nicht nur aus betriebswirtschaftlicher Perspektive, sondern auch volkswirtschaftlich, da dadurch auch die externen Kosten durch den PSM-Einsatz im Freilandgemüsebau sinken und die Gesellschaft insgesamt profitieren würde. Vor diesem Hintergrund werden eine Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit in diesem Bereich und der Ausbau der Forschung in PS-Verfahren, die durch einen reduzierten oder kompletten Verzicht auf den PSM-Einsatz gekennzeichnet sind, empfohlen.

Literatur

- ABL. EG (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN) (1983), Verordnung (EWG) Nr. 2213/83 der Kommission vom 28. Juli 1983 zur Festlegung der Qualitätsnormen für Zwiebeln und Chicorée. Pdf-Datei , Zugriff am 16.01.2004.
- ABL. EG (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN) (1999), Verordnung (EG) Nr. 730/1999 der Kommission vom 7. April 1999 zur Festlegung der Vermarktungsnorm für Möhren/Karotten. Pdf-Datei , Zugriff am 16.01.2004.
- ABL. EG (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN) (2001a), Verordnung (EG) Nr. 1508/2001 der Kommission vom 24. Juli 2001 zur Festlegung der Vermarktungsnorm für Zwiebeln und zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 2213/83. Pdf-Datei , Zugriff am 16.01.2004.
- ABL. EG (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN) (2001b), Verordnung (EG) Nr. 2396/2001 der Kommission vom 7. Dezember 2001 zur Festlegung der Vermarktungsnorm für Porree/Lauch. Pdf-Datei , Zugriff am 16.01.2004.
- ADNER, A. (1984): Ein Simulationsmodell zur Unterstützung von Pflanzenschutzentscheidungen im Agro-Ökosystem Winterweizen. Dissertation, Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre, Justus-Liebig-Universität Giessen. Giessen, 182 S.
- ANTLE, J. M. (1988): Pesticide Policy, Production Risk, and Producer Welfare: An Econometric Approach to Applied Welfare Economics. The John Hopkins University Press, Washington, D.C., 134 S.
- ARCHIBALD, S. O. (1988): Incorporating Externalities into Agricultural Productivity Analysis. In: Capalbo, S. M. und J. M. Antle: Agricultural Productivity - Measurement and Explanation. Washington, D. C., S. 366-393.
- BERG, E., K. THOER und G. STEFFEN (1988): Konzeption und Entwicklung bioökonomischer Modelle. In: Agrarwirtschaft, 37 (1), S. 1-11.
- BGBL. (BUNDESGESETZBLATT) (1998): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG). In: Bundesgesetzblatt, Teil I, Jahrgang 1998 (28), S. 972-995.
- BLACKWELL, M. und A. PAGOULATOS (1992): The Econometrics of Damage Control. In: American Journal of Agricultural Economics, 74 (November 1992), S. 1040-1044.
- BOR, Y. J. (1995): Optimal Pest Management and Economic Threshold. In: Agricultural Systems, 49 S. 113-133.
- BRANDES, W. und M. ODENING (1992): Investition, Finanzierung und Wachstum in der Landwirtschaft. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 303 S.
- BUCK, A. J. D., H. B. SCHOORLEMMER, G. A. A. WOSSINK und S. R. M. JANSSENS (1999): Risks of Post-Emergence Weed Control Strategies in Sugar Beet: Development and Application of a Bio-Economic Model. In: Agricultural Systems, 59, S. 283-299.
- CARLSON, G. A. (1984): Risk Reducing Inputs Related to Agricultural Pests. In: Proceedings of Economic Analysis of Risk Management Strategies for Agricultural Production Firms. S. 164-175.
- CARPENTIER, A. und R. D. WEAVER (1997): Damage Control Productivity: Why Econometrics Matters. In: American Journal of Agricultural Economics, 79 (February 1997), S. 47-61.
- CHAMBERS, R. C. und E. LICHTENBERG (1994): Simple Econometrics of Pesticide Productivity. In: American Journal of Agricultural Economics, 76 (August 1994), S. 407-417.

- DIRKSMEYER (2006): Economics of Pesticide Reduction and Biological Control in Open Field Vegetables – A Cross Country Comparison. Landwirtschaft und Umwelt: Schriften zur Umweltökonomik, Band 21, Hrsg.: Peter Weingarten, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG. 246 S.
- ESBJERG, P. (1985): Integrated Pest Management in Danish Carrot Fields: Monitoring of the Turnip Moth (*Agrotis segetum* Schiff., Lepidoptera: Noctuidae). In: Commission of the European Communities, International Organization of Biological Control: Proceedings of the CEC / IOBC Experts' Group Meeting / Rennes: Progress on Pest Management in Field Vegetables. IOBC wprs, Rennes, France, S. 177-186.
- EVERAARTS, T. C. und M. LOOSJES (1996): Biological and Integrated Control of the Onion Fly and Supervised Control of the Carrot Fly Carried Out Commercially by "de Grone Vlieg". In: IOBC wprs Bulletin, 19 (11/1996), S. 78-80.
- FEDER, G. (1979): Pesticides, Information, and Pest Management under Uncertainty. In: American Journal of Agricultural Economics, 61 (January 1979), S. 97-103.
- FERNANDEZ-CORNEJO, J. (1996): The Microeconomic Impact of IPM Adoption: Theory and Application. In: Agricultural and Resource Economics Review, S. 149-159.
- FOX, P. (1989): Biological Crop Protection. PJB Publications, Richmond, 109 S.
- HARDAKER, J. B., R. B. M. HUIRNE und J. R. ANDERSON (1997): Coping with Risk in Agriculture. CAB International, Oxon, New York, 274 S.
- HEADLEY, J. C. (1968): Estimating the Productivity of Agricultural Pesticides. In: American Journal of Agricultural Economics, 50 (January 1968), S. 13-23.
- HEADLEY, J. C. (1972): Defining the Economic Threshold. In: Pest Control Strategies for the Future. National Academy of Sciences, Washington, D. C., S. 100-108.
- HEMME, T., C. DEBLITZ, D. GOERTZ, F. ISERMEYER, R. KNUTSON und D. ANDERSON (1999): Politik- und Technologiefolgenanalysen für typische Betriebe im Rahmen des International Farm Comparison Network (IFCN). 39. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus vom 30. September bis 02. Oktober 1998 in Bonn, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus, Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup.
- HOMMES, M. (1993): Einsatz von Kulturschutznetzen im Gartenbau. In: Smolka, S. E., P. Mattusch und M. Hommes: Bausteine für den integrierten Pflanzenschutz im Gartenbau - Aktuelle Arbeiten aus dem Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, B.-D., Paul Parey, Berlin und Hamburg, S. 104-110.
- JANBEN, H. (1987): Mittelfristige Preisprognose auf dem Apfelmarkt mittels wiederholter Expertenbefragung. In: Agrarwirtschaft, 36 S. 243-248.
- LANSINK, A. O. und A. CARPENTIER (2001): Damage Control Productivity: An Input Damage Abatement Approach. In: Journal of Agricultural Economics, 52 (3), S. 11-22.
- LENTEREN, J. C. v. (1992): Biological Control in Protected Crops: Where Do We Go? In: Pesticide Science, (36), S. 321-327.
- LICHTENBERG, E. und D. ZILBERMAN (1986): The Econometrics of Damage Control: Why Specification Matters. In: American Journal of Agricultural Economics, 68 (May 1986), S. 261-273.
- MOHN, R. (1974): Zukünftige mechanisch-technische Fortschritte in der Landwirtschaft - Eine Prognose mit Hilfe der Delphi-Methode-. Alfred Strothe Verlag, Hannover, 300 S.
- NORDBLOM, T. L., R. E. JONES und R. W. MEDD (2003): Economics of Factor Adjusted Herbicide Dosages: A Simulation Analysis of Best Efficacy Targeting Strategies (BETS). In: Agricultural Systems, 76, S. 863-882.
- ORIADE, C. A. und C. R. DILLON (1997): Development in Biophysical and Bioeconomic Simulation of Agricultural Systems: A Review. In: Agricultural Economics, 17, S. 45-58.
- PANNELL, D. J. (1991): Pest and Pesticides, Risk and Risk Aversion. In: Agricultural Economics, 5 (4), S. 361-383.

- PEMSL, D., H. WAIBEL und J. ORPHAL (2004): A Methodology to Assess the Productivity Effects of Bt-Cotton: Case Study Results from India and China. In: Crop Protection, 13 (12), S. 1249-1257.
- PIMENTEL, D. und H. LEHMAN (1993): The Pesticide Question: Environment, Economics, and Ethics. Chapman & Hall, New York, 441 S.
- PRETTY, J. N., C. BRETT, D. GEE, R. E. HINE, C. F. MASON, J. I. L. MORISON, H. RAVEN, M. D. RAYMENT und G. V. D. BIJL (2000): An Assessment of the Total External Costs of UK Agriculture. In: Agricultural Systems, 65 S.
- RAVN, H. P. und P. ESBJERG (1994): Current Status of Monitoring Populations of *Delia radicum*, *Psila rosae* and *Agrotis segetum* in Field Vegetable Crops in Denmark. In: IOBC wprs Bulletin, 17 (8/1994), S. 51-54.
- REICHELDERFER, K. H. und F. E. BENDER (1979): Application of a Simulative Approach to Evaluating Alternative Methods for the Control of Agricultural Pests. In: American Journal of Agricultural Economics, 61 (2), S. 258-267.
- RICHTER, E. (1998): Populationsdynamik und integrierte Bekämpfung von *Thrips tabaci* Lind. (Thysanoptera: Thripidae) an Porree und Zwiebeln. Cuvillier Verlag, Göttingen, 178 S.
- ROLA, A. C. und P. L. PINGALI (1993): Pesticides, Rice Productivity, and Farmer's Health - An Economic Assessment. International Rice Research Institute (IRRI), Manila, Philippines, 100 S.
- SAHA, A., C. R. SHUMWAY und A. HAVENNER (1997): The Economics and Econometrics of Damage Control. In: American Journal of Agricultural Economics, 79 (August 1997), S. 773-785.
- SAPHORES, J.-D. M. (2000): The Economic Threshold with a Stochastic Pest Population: A Real Options Approach. In: American Journal of Agricultural Economics, 82 (August 2000), S. 541-555.
- SENGONCA, C., M. SCHADE und K. DRESCHER (1997): Entwicklung von Prognosemethoden für Thripse im Porreeanbau für den termingerechten Einsatz von Nützlingen als Strategie zur Extensivierung des Pflanzenschutzes. Forschungsberichte, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, 65 S.
- STERN, V. M., R. F. SMITH, R. VAN DEN BOSCH und K. S. HAGEN (1959): The Integrated Control Concept. In: Hilgardia, 29 (2), S. 81-101.
- SUNDING, D. und J. ZIVIN (2000): Insect population Dynamics, Pesticide Use, and Farmworker Health. In: American Journal of Agricultural Economics, 82 (August 2000), S. 527-540.
- SWINTON, S. M. und E. DAY (2000): Economics in the Design, Assessment, Adoption, and Policy Analysis of I.P.M. February 2000, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, Michigan, 29 S.
- SWINTON, S. M. und R. P. KING (1994): The Value of Pest Information in a Dynamic Setting: The Case of Weed Control. In: American Journal of Agricultural Economics, 76 (February 1994), S. 36-46.
- SWINTON, S. M. und M. B. WILLIAMS (1998): Assessing the Economic Impacts of Integrated Pest Management: Lessons from the Past, Direction for the Future. June 1998, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, Michigan, 24 S.
- THEUNISSEN, J. (1994): Intercropping in Field Vegetable Crops: Pest Management by Agrosystem Diversification - An Overview. In: Pesticide Science, 42, S. 65-68.
- VIDAL, S. (1995): Wechselwirkungen zwischen Tomatenpflanzen, endophytischen Pilzen, Herbivoren und natürlichen Gegenspielern als Modellsystem multitrophischer Interaktion. Habilitationsschrift, Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Universität Hannover. Hannover, 164 S.
- WAIBEL, H. und G. FLEISCHER (1998): Kosten und Nutzen des chemischen Pflanzenschutzes in der deutschen Landwirtschaft aus gesamtwirtschaftlicher Sicht. Agrarökonomische Monographien und Sammelwerke, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, Kiel, 254 S.
- WECHSLER, W. (1978): Delphi-Methode: Gestaltung und Potential für betriebliche Prognoseprozesse. Wirtschaftswissenschaftliche Forschung und Entwicklung, Verlag V. Florentz GmbH, München, 255 S.

WEERSINK, A., W. DEEN und S. WEAVER (1991): Defining and Measuring Agricultural Threshold Levels. In: Canadian Journal of Agricultural Economics, 39 S. 619-625.

ZWERGER, P. (2000): Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig. Brief, 29.05.2000.

Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt. Mein besonderer Dank für die Unterstützung bei der Forschungsarbeit gilt Frau Dr. Eefje den Belder, Herrn Prof. Dr. Peter Esbjerg und Herrn Prof. Dr. Hermann Wai-
bel sowie zwei anonymen Gutachtern dieses Beitrags.