

Vierzigste Jahrestagung der
Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. vom 04.10. bis
06.10.1999 in Kiel

**Ökonomische Schadschwellen gegen pilzliche Erreger im Weizen: Eine
empirische Analyse**

Carsten Becker,

Institut für Agrarökonomie,
Christian-Albrechts-Universität Kiel,
Olshausenstr. 40, 24114 Kiel
e mail: cbecker@agric-econ.uni-kiel.de

Dr. Claus M. Brodersen,

Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre,
Justus-Liebig-Universität Gießen,
Senckenbergstr. 3, 35390 Gießen
e mail: Claus.M.Brodersen@agrar.uni-giessen.de

Dr. Katrin Hedke

Fachbereich Agrarökologie,
Universität Rostock,
Satower Str. 48, 18051 Rostock
e mail: katrin.hedke@agrarfak.uni-rostock.de

1 Einleitung

Der Pflanzenschutz gehört heute zu den elementaren und anspruchsvollen Aufgaben eines landwirtschaftlichen Unternehmers, um eben diese Verluste zu kontrollieren. Neben dem chemischen, spielen der mechanische und biologische Pflanzenschutz, sowie Maßnahmen der Fruchtfolge, Sortenwahl und der Produktionstechnik eine zunehmend bedeutende Rolle.

Ein in der Theorie häufig diskutiertes Konzept zur Entscheidungsfindung im chemischen und mechanischen Pflanzenschutz ist die ökonomische Schadschwelle (CARLSON et al. 1993, MOFFIT 1984, BRODERSEN 1997). Diese berücksichtigt das Verhältnis von Kosten und Leistungen einer Pflanzenschutzmaßnahme und leitet daraus die optimale Handlungsentscheidung ab. Zielt man auf die Frage der notwendigen Befallsintensität oder Witterungskonstellation ab, die eine Applikation von Pflanzenschutzmitteln induziert, sind vor allem die Prognose der Erregerentwicklung und die von ihnen verursachten Schäden von Bedeutung.

Ziel der im Zusammenhang mit der Posterpräsentation stehenden Arbeit ist die Entwicklung multipler ökonomischer Schadschwellen gegen die Weizenkrankheiten *Septoria tritici* (Blattdürre), *Septoria nodorum* (Blatt- und Spelzenbräune), *Erysiphe graminis* (Mehltau) und *Puccinia recondita* (Braunrost). Auf der Basis dreijähriger (1993-1995) Feldbonituren durch den Sonderforschungsbereich (SFB) 192 werden in dieser Präsentation die Ergebnisse von Befalls- und Schadensprognosen vorgestellt. Mit Hilfe der dynamischen Programmierung werden ökonomische Schadschwellen berechnet und zu einem Entscheidungsmodell zusammengefaßt.

2.1 Befalls- und Schadensprognosen

Eine wesentliche Voraussetzung zur Berechnung von Schadschwellen ist die Schadensprognose. Mit diesem Instrument ist es möglich, einen zukünftigen Schaden vorherzusagen und ihn mit den Schadensvermeidungskosten, im weiteren Verlauf Behandlungskosten genannt, in Beziehung zu setzen. Grundlage für eine Schadensprognose sind Kenntnisse über Bearbeitungsvarianten (Gülle, Bodenbonität etc.) und aktuelle Befallsinformationen der einzelnen Erreger. Bearbeitungsvarianten unterliegen in einer Vegetationsperiode keiner Wandlung. Im Gegensatz dazu ist der Erregerbefall einer dynamischen Entwicklung unterworfen. Aus diesem Grund ist es notwendig, neben einer Schadensprognose auch eine Befallsschätzung durchzuführen. Dabei ist zu vermuten, daß die letztgenannte Information für die Schätzung des Ertragsausfalls von besonderer Bedeutung ist.

Zur Berechnung der Befalls- und Schadensprognosen wurden Verfahren der Regressionsanalyse angewandt. In den Untersuchungen sind insgesamt fünf verschiedene Funktionstypen getestet worden. Es handelte sich dabei um multiple lineare, Cobb Douglas, gemischt quadratische, Translog und Generalisierte Leontief Funktionen. Die letzten drei zeichnen sich durch ihre Flexibilität, begründet durch die multiplikative Verknüpfung der unabhängigen Parameter aus.

Für die Befallsprognosen standen 867 Beobachtungen des SFB 192 aus den Jahren 1994 und 1995 zur Verfügung. Die Daten sind auf dem Versuchsgut Hohenschulen (Schleswig Holstein) erhoben worden. Für jede Beobachtung sind die Befallswerte auf den jeweils obersten drei Blättern der oben genannten vier Erreger festgehalten. Weiterhin ist jeder Beobachtung ein spezifisches Wetterereignis zugeordnet.

Wesentliche Ergebnisse der Befallsschätzungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die besten Ergebnisse werden mit Hilfe der gemischt quadratischen Funktion berechnet. Aus diesem Grund sind auch nur diese in der Ergebnistabelle (Tabelle 1) dargestellt. Es ist festzustellen, daß sich die Befallsprognose bei allen untersuchten Erregern mit nur wenigen Parametern beschreiben läßt. Dieses Ergebnis kann erhebliche Auswirkungen auf eine mögliche Umsetzung des Schadschwellenmodells in die Landwirtschaft haben.

Tabelle 1: Ergebnisse der Befallsschätzungen bei gemischt quadratischem Funktionstyp

	Adjusted R Square	Standard Error	Terme	B (Koeffizienten)	BETA	T	SigT
Septoria nodorum	0,96	32,46	Konstante	3,4402			0
			W1 ¹ / B2 ²	0,0583	0,98	0,98	0
Septoria tritici	0,97	46,47	Konstante	2,9660			0
			B1 ³ *B1	0,0001	0,14	0,15	0
			W2 ⁴ / B1	0,0160	0,84	0,85	0
Puccinia recondita	0,86	0,049	Konstante	0,0100			0
			W3 ⁵ / B3 ⁶	0,0230	0,53	0,54	0
			B3*B3	0,4940	0,61	0,62	0
Erysiphe graminis	0,64	0,70	Konstante	0,1052			0
			W4 ⁷ / B4 ⁸	-0,0873	-1,35	-1,35	0
			W5 ⁹ / B4	0,0339	1,92	1,93	0
			A ¹⁰ / W1	0,0023	1,01	1,01	0
			A/ W2	-0,0004	-0,76	-0,77	0

¹: einwöchiger Mittelwert der Lufttemperatur in 2m Höhe; ²: Befall Septoria nodorum in der Vorwoche; ³: Befall Septoria tritici in der Vorwoche; ⁴: einwöchiger Mittelwert der rel. Luftfeuchtigkeit in 2m Höhe; ⁵: zweiwöchiger Mittelwert der Lufttemperatur am Boden; ⁶: Befall Puccinia recondita in der Vorwoche; ⁷: einwöchiger Mittelwert der Lufttemperatur am Boden; ⁸: Befall Erysiphe graminis in der Vorwoche; ⁹: zweiwöchiger Mittelwert der rel. Luftfeuchtigkeit in 2m Höhe; ¹⁰: Stickstoffstartgabe

Quelle: eigene Berechnungen

Anstatt einer Vielzahl verschiedener Witterungsdaten genügen demnach wenige Informationsquellen zur Prognose der diskutierten Erreger.

Für die Schadensprognose standen aus den Jahren 1993 bis 1995 123 Beobachtungen zur Verfügung. Die Prognosefunktion berücksichtigt Wechselwirkungen der untersuchten Erreger. Mathematisch stellt sich der Zusammenhang wie folgt dar:

$$EA = \beta B_1^{\beta_1} B_2^{\beta_2} \dots B_n^{\beta_n}$$

Gleichung 1

EA: relativer Ertragsausfall
 β : Koeffizienten
 B : Befall durch den Erreger n

Zusätzlich wurden Informationen über Bodenbonität, Stickstoffmenge, Güllevarianten und Bodenbearbeitung als unabhängige Variable in die Gleichung mit aufgenommen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 2 dargestellt. Auch bei den Schadensprognosen führt die Verwendung der gemischt quadratischen Funktionen zu den besten Ergebnissen.

Der Gesamtschaden, hervorgerufen durch mehrfachen Erregerbefall, ist nach den hier durchgeführten Untersuchungen nicht durch eine einfache Addition der Schäden einzelner Erreger zu erklären. Die Wechselwirkungen hinsichtlich des Befalls zwischen den Erregern (vgl. Tabelle 2) führen zu den folgenden Ergebnissen:

Für die Erregerkombinationen Erysiphe graminis/ Septoria tritici und Septoria tritici/ Septoria nodorum ist eine Abnahme des Schadens festzustellen (negative Vorzeichen der Koeffizienten E*T und T*S). Die letztgenannte Kombination weist eine deutliche Reduktion des Schadens auf. Es ist zu vermuten, daß zwischen den genannten Erregerkombinationen Konkurrenzbeziehungen existieren. Gegensätzlich ist das Ergebnis bei der Erregerkombination Erysiphe graminis/ Septoria nodorum. Hier ist offensichtlich eine schadensfördernde Wirkung zwischen den Erregern festzustellen.

2.2 Das Schadschwellenmodell

Die Besonderheit des Pflanzenschutzes zeichnet sich dadurch aus, daß im Zeitablauf einer Vegetationsperiode immer wieder Entscheidungssituationen auftreten, in denen Behandlungsentscheidungen getroffen werden müssen. Diese erfolgen durch eine

Befallsinformationen genutzt. Dem prognostizierten Befall wird dann mit Hilfe der Schadensfunktion ein monetärer Schaden zugeordnet. Für den dazugehörigen Pfad (der Nichtbehandlung) werden die Schadenskosten ausgewiesen. Dem Pfad der verbleibenden Behandlungsalternative werden entsprechend die Behandlungskosten zugeordnet. Die Berechnungen werden zu jedem Beobachtungszeitpunkt für alle im Netzwerk erreichbaren Entscheidungssituationen durchgeführt.

Nachdem die Berechnungen einschließlich letzten Stufe erfolgt sind, werden die Gesamtkosten der verschiedenen Strategien (Pfade durch das Netzwerk) berechnet, miteinander verglichen und die beste Variante ex-post als Optimalstrategie des betreffenden Jahres ermittelt. Eine solche Strategie ist gekennzeichnet durch eine Abfolge von Handlungsentscheidungen. Beispielsweise kann sie in einer acht Beobachtungszeitpunkte umfassenden Vegetationsperiode die Form NNBNNNBN annehmen. (N=Nichtbehandlung; B=Behandlung). In diesem Fall kommt es zur Behandlung in den Perioden 3 und 7; d.h., zu diesen Zeitpunkten ist die ökonomische Schadschwelle überschritten. Die Befallskombinationen zwischen den vier untersuchten Erregern, die zur Auslösung der Schadschwelle geführt haben, können in bezug auf die einzelnen Krankheiten sehr unterschiedliche Niveaus haben. Sie werden beeinflusst durch die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Erregern, den jeweiligen Befallsniveaus und den Beobachtungszeitpunkten. Eine übersichtliche Darstellung aller möglichen Kombinationen von Schadschwellen erscheint hier kaum möglich zu sein. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle darauf verzichtet.

2.3 Das Entscheidungsmodell

Die bisherigen Untersuchungen basieren auf der Annahme, daß es vollständige Informationen über das Wetter gibt. Nur so ist es möglich, Befallsprognosen zu erstellen. Ein Landwirt, der sich in der Situation befindet, eine Behandlungsentscheidung treffen zu müssen, kann nicht auf zuverlässige Wetterinformationen über die gesamte Vegetationsperiode zurückgreifen.

Aus diesem Grund wird das Schadschwellenmodell wie folgt erweitert: Zunächst werden für den betrachteten Standort über möglichst viele Jahre ex-post- Strategien berechnet. Danach wird für jede Strategie der Erwartungswert der Kosten berechnet. Zur Berücksichtigung der Risikoeinstellung eines Landwirtes wird entsprechend Gleichung 3 zu dem Erwartungswert eine mit Ω gewichtete Varianz der Kosten hinzugerechnet.

Die Strategie mit dem geringsten P-Wert wird als Behandlungstrategie empfohlen. Für den Fall das $\Omega = 0$ ist, ist das Entscheidungsmaß gleich der Erwartungswert. Je größer Ω wird, desto stärker steigen die P-Werte der Strategien mit hoher Streuung. Die Variante mit kleinstem Wert berücksichtigt in diesem Fall risikoaveres Verhalten des Entscheidenden. Entsprechend umgekehrt verhält es sich bei einem $\Omega < 0$. In diesem Fall wird die empfohlene Strategie Risikofreude abbilden.

$$P(K_a) = E(K_a) + \Omega * \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (K_{a,t} - \overline{K_a})^2 \quad \text{Gleichung 3}$$

P: Entscheidungsmaß a: Strategie
t: Jahr Ω : Risikogewichtungparameter
E(K_a): Erwartungswert der Kosten der Strategie a

Die empfohlene Strategie ist solange optimal, solange sich die Informationen bezüglich des Wetters nicht verbessern. Dieses ist aber mit dem Übergang zum nächsten Beobachtungszeitpunkt der Fall. Deshalb wird nun erneut eine Optimalstrategie berechnet und zur Entscheidungsfindung herangezogen. Dieses Verfahren wiederholt sich bis zum letzten Beobachtungszeitpunkt. Folglich handelt es sich um einen, sich ständig aktualisierenden

Entscheidungsprozess. In der Tabelle 3 ist für eine Vegetationsperiode beispielhaft eine Abfolge von Entscheidungsempfehlungen dargestellt.

Tabelle 3: Ex-ante Entscheidungsempfehlung für das Jahr 1998

Beobachtungszeitpunkt	Behandlungsempfehlung	
1	NNNBNNNN	Annahmen: Getreidepreis 26 DM Angestrebter Maximalertrag: 80 dt Kosten einer Pflanzen-Schutzmaßnahme: 88 DM Ω : 0 Stickstoffstartgabe: 40 kg Güllevariante 3 ² Bodenbonität 60 Pkt.
2	NNNNNNNN	
3	B NNNNN	
4	NNNNN	
5	NNNN	
6	B NN	
7	NN	
8	N	
Sich nachträglich Ergebene Entscheidungssituation	NNBNNBN	

Quelle: eigene Berechnungen

Die Behandlungsempfehlung zu Beginn des Untersuchungszeitpunktes führte zu dem Ergebnis, daß unter den gegebenen Umständen lediglich eine Behandlung zum Zeitpunkt 4 zu erwarten ist. Unter dem Aspekt der sich ständig verbessernden Informationen über die Witterung und den daraus resultierenden tatsächlichen Befallswerten der betrachteten Erreger erhöht sich in diesem Beispiel die Anzahl der Behandlungen auf 2. Die Behandlungsempfehlung verschiebt sich gleichzeitig auf die Beobachtungszeitpunkte 3 und 6.

3 Zusammenfassung

In der vorgestellten Arbeit werden Befalls- und Schadensfunktionen für Pilzkrankheiten im Weizen geschätzt. Darauf aufbauend werden ex-post situationsabhängige, individuelle ökonomische Schadschwellen berechnet. Unter Einbeziehung der Erwartungswerte der Kosten der resultierenden Behandlungsstrategien und der individuellen Risikoneigung der Anwender ergeben sich daraus flächenspezifische ex-ante Behandlungsempfehlungen.

Literaturverzeichnis

- BRODERSEN, C.(1997): Ökonomische Schadschwellen und die Bedeutung verbesserter Information, Agrarwirtschaft, Nr. 2, S. 90-99,
 CARLSON, G. A.; ZILBERMAN, D.; MIRANOWSKI, A.(1993): Agricultural and Environmental Resource Economics. Oxford University Press, New York, Oxford,
 KENNEDY, J. O. S. (1986): „Dynamic programming - Applications to Agriculture and natural resources“, Elsevier applied science and publishers London and New York
 MOFFITT, L. J.; HALL, D. C. ;OSTEEN, C. D.(1984): Economic Thresholds under Uncertainty with Application to Corn Nematode Management. Southern Journal of Agricultural Economics, S. 151-157
 ONSTAD, D. W.; RABBINGE, R. (1985): „Dynamic programming and the computation of economic injury levels for crop disease control“, Agricultural Systems (18) S. 207-226
 VERREET, J.A. (1995): „Das IPS-Modell Weizen“, Pflanzenschutz- Nachrichten Bayer, Band 48, Bayer AG Leverkusen,
 WÜSTEN, H.; STEFFEN, G.; BERG, E. (1981): „Stand und Entwicklung des Schadschwellenkonzeptes als entscheidungsorientiertes Systems, Journal of Plant Diseases and Protection, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Nr.88

² Güllevariante 3: keine Ausbringung von Gülle im Herbst und Frühjahr.