

Optimierung von N-Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen unter Beachtung ökonomischer und ökologischer Ziele

Bernd Schanzenbächer und Clemens Fuchs

Synopsis

This work provides an introduction to a model system in which ecological and economic simulation models are connected simultaneously with each other. The ecological models CREAMS and GLEAMS deliver information about nitrogen and pesticide losses on a specific plot. The numeric search algorithm ACOMPLEX determines the optimal production intensity. It is aimed to avoid ecological side effects by the determination of specific limiting values for nitrogen and pesticide leaching. For this case the system model provides information of changes in farmers' income. With this system model it is also possible to compare different strategies for their economic and ecological effects.

Simulation, Nitratauswaschung, Pflanzenschutzmittelverlagerung, ökonomische Bewertung, ökologische Effekte, CREAMS, GLEAMS

1. Einleitung

Die Intensivierung der Landwirtschaft in den letzten 30 Jahren brachte eine Vielzahl von negativen Begleiterscheinungen mit sich, die sich heute in starken Belastungen der Agrarökosysteme und den damit verbundenen Folgen für die Flora und Fauna zeigen. In den letzten Jahren wurden die Folgen einer allein nach ökonomischen Kriterien wirtschaftenden Landwirtschaft deutlich. Durch die zunehmende Überschreitung der Grenzwerte für Pflanzenschutzmittel und Nitrat im Trinkwasser wurden von Seiten der Öffentlichkeit und Wissenschaft Forderungen nach einer stärkeren Beachtung ökologischer Ziele laut. Gleichzeitig wurde durch die Intensivierung der Forschung im ökologischen Bereich ein verbessertes Verständnis der komplexen Zusammenhänge im biologisch-technischen System erreicht. Durch die Aufarbeitung dieser Systemzusammenhänge konnten Simulationsmodelle entwickelt werden, welche die komplexen Vorgänge in Ökosystemen weitgehend abbilden. Für die wichtigsten Problembereiche der intensiven Landbewirtschaftung (Nitratauswaschung, Erosion und Pflanzenschutzmittelrückstände im Oberflächenwasser, Trinkwasser und in Nahrungsmitteln) existiert eine große Zahl von Modellen, die in der Lage sind, den Einfluß verschiedener Faktoren auf diese Problembereiche abzubilden. Es bietet sich nun an, solche biologisch-physikalischen Modelle mit ökonomischen Modellen zu koppeln, um damit eine ökologisch-ökonomische Optimierung verschiedener Anbausysteme zu erreichen und die einzelbetrieblichen Kosten und ökologischen Leistungen von Vermeidungsstrategien darzustellen. Hier sollen die Funktionsweise eines solchen Planungsmodells erläutert und einige Ergebnisse für die Problembereiche N-Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz aufgezeigt werden.

2. Simulationsmodelle

Die Zielsetzung des Einsatzes von Simulationsmodellen ist es, auf der Grundlage von physikalischen und empirischen Modellen, die komplexen Zusammenhänge in einem Ökosystem abzubilden. Voraussetzung ist die Kenntnis der im Modell erforderlichen Eingabeparameter (vergleiche Abb. 1). Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 183, "Umweltgerechte Nutzung von Agrarlandschaften", wurde bereits in der Vergangenheit intensiv mit dem CREAMS Modell gearbeitet und an die Verhältnisse im Kraichgau angepaßt und validiert (JAROSCH 1990, MURSCHEL 1991). Die notwendigen Eingabeparameter sind in der Zentralen Datenbank des SFB 183 abgespeichert (ZEDDIES & SCHANZENBÄCHER 1992).

2.1 CREAMS - Modell

Das deterministisch-physikalisch-empirische Modell CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems) wird dazu verwendet den Wasserhaushalt, die Bodenerosion und den Nährstoffhaushalt eines Standortes zu schätzen (KNISEL 1980). In einem Ökosystem ist der Boden das Medium in dem die Einträge, Austräge und Umsetzungsvorgänge erfolgen. Diese Vorgänge werden durch die Faktoren Klima, Bodennutzung, Bodenbearbeitung und dem Einsatz von Agrochemikalien maßgeblich beeinflusst. Das CREAMS-Modell besteht aus drei aufeinander aufbauenden Submodellen die den Wasserhaushalt, die Bodenerosion und die Nährstoffdynamik einer landwirtschaftlichen Parzelle abbilden. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden in einem Daten-

file ausgegeben und stehen damit dem ökonomischen Modell für weitere Analysen und Berechnungen zur Verfügung.

2.2 GLEAMS - Modell

Bei dem deterministisch-physikalisch-empirischen Modell GLEAMS (Groundwater Loading Effects from Agricultural Management Systems) handelt es sich um eine Weiterentwicklung des CREAMS-Modells (LEONARD & al. 1986). Neu entwickelt wurde dabei das Pestizid - Submodell. In diesem Teilbereich wird neben dem Austrag von Pflanzenschutzmitteln mit Erosion und Oberflächenabfluß auch die Verlagerung von Pestiziden und ihren Metaboliten in tiefere Bodenschichten simuliert. Es sind Herbizide berücksichtigt, die überwiegend auf den Boden ausgebracht werden. In das Modell werden wirkstoffspezifische Kennwerte (KD-Wert, Halbwertszeit, Verteilungskoeffizient, Wasserlöslichkeit) eingegeben und zur Berechnung von Abbau, Bindung und Verlagerung der Pflanzenschutzmittel und ihrer Metaboliten verwendet. Damit kann eine Aussage über den Verbleib dieser Stoffe im Boden getroffen werden. Die Simulationsergebnisse werden wiederum vom ökonomischen Teilmodell eingelesen.

2.3 Ökonomisches Modell

Im Rahmen des Operation Research (OR) wird mit verschiedenen Arten von ökonomischen Modellen gearbeitet. Grundsätzlich kann man diese Modelle in lineare Modelle (LP), dynamische Modelle (DP) und numerische Suchalgorithmen einteilen (HESSELBACH & EISGRUBER 1967). Mit LP und DP kann zwar das exakte globale Optimum bestimmt werden, eine direkte Kopplung mit Simulationsmodellen ist jedoch meist nicht möglich. Es ist vielmehr notwendig die in den Simulationsmodellen abgebildeten ökologischen Parameter in den ökonomischen Teilmodellen annäherungsweise nochmals zu berechnen (JAROSCH 1990). Werden dagegen numerische Suchalgorithmen zur Optimierung eingesetzt, findet zwar nur eine Annäherung an das globale Optimum statt, die ökologischen Parameter können jedoch direkt ohne Neuberechnung in die Ermittlung des ökonomischen Zielfunktionswertes einfließen. Bei der hier vorgestellten Arbeit wurde der numerische Suchalgorithmus ACOMPLEX als Optimierungsmethode verwendet (BOX 1965, MANETSCH 1989). In dieses Modell wurden Produktionsfunktionen der einzelnen Kulturen integriert, die den Ertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und den Aufwendungen für Pflanzenschutzmittel abbilden (FUCHS & SCHANZENBÄCHER 1992). Die Zielfunktion des Gesamtmodells ist eine Maximierung des Gewinns unter Beachtung von Nebenbedingungen. Als Nebenbedingungen können ökologische Grenzwerte, wie z.B. N_{\min} -Gehalte im Herbst oder Grenzwerte bei der Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln, definiert werden. Daneben ist auch eine Beschränkung der verfügbaren Produktionskapazitäten (beispielsweise Arbeitskapazität oder Ackerfläche) möglich.

2.4 Verknüpfung der Modelle

Das Flußdiagramm in Abbildung 1 zeigt den Datenfluß und das Zusammenwirken der hier vorgestellten Modelle. Nach Eingabe der notwendigen Ausgangsdaten (Standort, Klima, etc.) werden von den Modellen und CREAMS und GLEAMS die ökologischen Belastungen simuliert. Diese Output-Daten werden von dem ökonomischen Modell übernommen. Hier erfolgt dann eine Berechnung des Zielfunktionswertes. Geänderte, verbesserte Bewirtschaftungsdaten fließen zurück in die ökologischen Modelle wobei der neue Output aus den CREAMS und GLEAMS Modellen wiederum in das ökonomische Modell eingeht. Sind alle ökologischen Nebenbedingungen erfüllt, erfolgt die Ausgabe der optimalen speziellen Intensität der einzelnen Produktionsverfahren, der ökologischen Belastungen und der Wirtschaftlichkeit.

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die ökologischen und ökonomischen Ergebnisse verschiedener Modellrechnungen aufgezeigt. Das dargestellte Beispiel zeigt die Fruchtfolge Winterweizen-Wintergerste-Zuckerrüben, mit Senf als Zwischenfrucht nach der Wintergerste. Als Referenzsystem diente dabei ein Schlag aus dem Kraichgau, auf dem im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 183 der Universität Hohenheim, die für das CREAMS-Modell notwendigen Eingabeparameter erfaßt wurden. Simuliert wurde dabei mit den Wetterdaten (tägliche Temperatur, Niederschlag) über einen Zeitraum von 20 Jahren. Gezeigt werden die ökonomisch wichtigen Faktoren Ertrag und Deckungsbeitrag, sowie der ökologisch wichtige Parameter N_{\min} -Gehalt im Herbst. Man kann deutlich erkennen, daß die höchsten Erträge und Deckungsbeiträge (Erlöse - variable Kosten) bei vollem Pflanzenschutzprogramm und sehr hoher N-Düngung erreicht werden. Bei einem vollständigen Verzicht auf ertragssteigernde Produktionsmittel muß mit Deckungsbeitragsverlusten von über 50% gerechnet werden. Bei der Einführung von ökologischen Grenzwerten wählt das Programm innerhalb der hier vorgestellten Varianten, diejenige bei der ein maximaler Deckungsbeitrag erwirtschaftet wird und trotzdem die vorgegebenen Grenzwerte für Nitratgehalte und Pflanzenschutzmittel nicht überschritten werden.

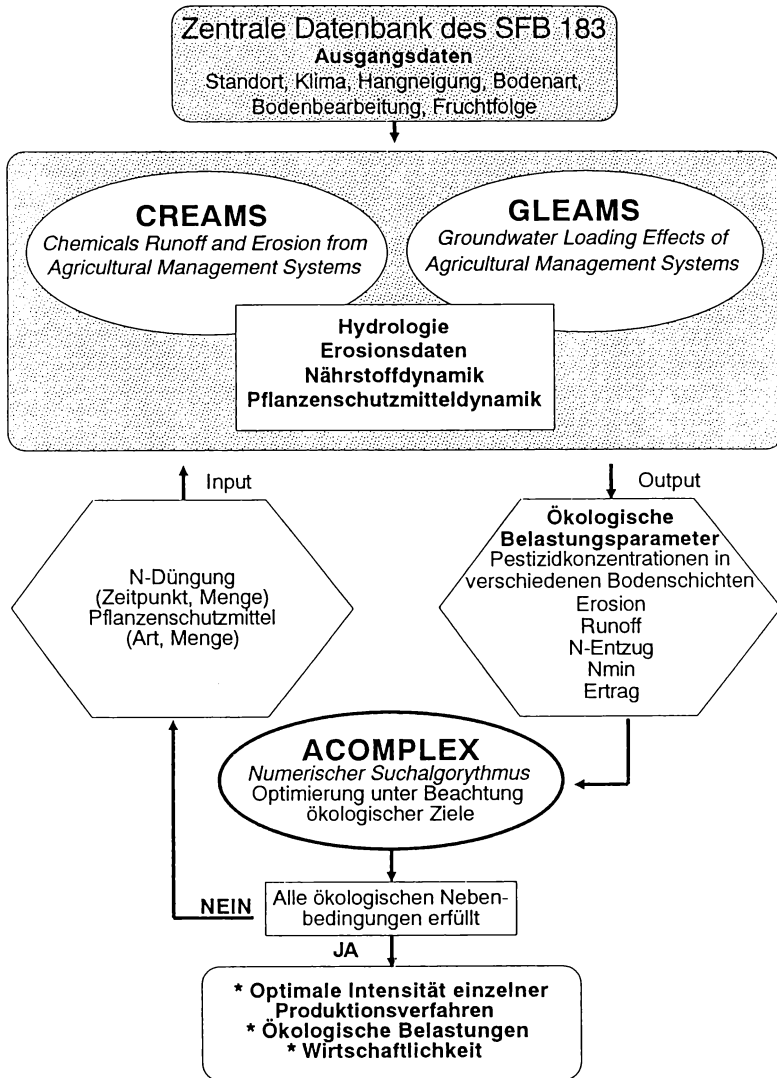


Abb. 1: Datenfluß zwischen den einzelnen Modellkomponenten.

Tab. 1: Ökologische und ökonomische Simulationsergebnisse verschiedener Pflanzenschutz- und N-Düngungsintensitäten.

Kultur	Variante	I	II	III	IV	V	VI
Zuckerrüben (ZR) (Preis 9,5 DM/dt)	Ertrag (dt/ha)	293	407	487	576	583	583
	Deckungsbeitrag (DM/ha)	2549	3610	3647	4407	4584	4715
	Nmin mg/l ¹⁾	23	25	22	51	37	35
Winterweizen (WW) (Preis 36 DM/dt)	Ertrag (dt/ha)	31	47	47	57	66	75
	Deckungsbeitrag (DM/ha)	829	1385	1092	1411	1568	1730
	Nmin mg/l ¹⁾	76	83	80	183	173	155
Wintergerste (WG) (Preis 33 DM/dt)	Ertrag (dt/ha)	34	47	46	59	60	61
	Deckungsbeitrag (DM/ha)	610	931	832	1043	1062	1104
	Nmin mg/l ¹⁾	19	22	22	68	84	77

¹⁾ Mittlere Konzentration der Bodenlösung bis 90 cm Tiefe im November

Varianten:

- I ohne Pflanzenschutz; N-Düngung (ZR/WW/WG): 0/0/0 kg N/ha
- II ohne Pflanzenschutz; N-Düngung (ZR/WW/WG): 110/55/40 kg N/ha
- III Pflanzenschutz (chemisch 50%/; mechanisch 50%); N-Düngung (ZR/WW/WG): 110/55/40 kg N/ha
- IV Pflanzenschutz (nur mechanisch); N-Düngung (ZR/WW/WG): 160/234/191 kg N/ha
- V Pflanzenschutz (chemisch 50%; mechanisch 50%); N-Düngung (ZR/WW/WG): 160/234/191 kg N/ha
- VI Pflanzenschutz (nur chemisch); N-Düngung (ZR/WW/WG): 160/234/191 kg N/ha

wobei bei maximalem chemischem Pflanzenschutz bei ZR/WW/WG Kosten in Höhe von 650/458/292 DM/ha und bei mechanischer Unkrautbekämpfung 900/105/105 DM/ha entstehen.

Tabelle 2 zeigt die Verluste der eingesetzten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe. Die größten Verluste ergeben sich dabei durch die Abschwemmung der im Oberflächenwasser gelösten Pflanzenschutzmittel (Runoff) und durch die Verlagerung der an Bodenteilchen gebundenen Wirkstoffe (Sediment). Die Verlagerung (Auswaschung unterhalb der Wurzelzone) spielt auf dem Lößstandort Kraichgau nur eine untergeordnete Rolle. Durch die Koppelung der Modelle soll unter gegebenen Rahmenbedingungen ein Kompromiß zwischen Ökologie und Ökonomie erreicht werden, der es den Landwirten ermöglicht ein maximales Einkommen zu erreichen und geringere externe Kosten zu verursachen. Daneben können mit diesem Modell die Einkommenseinbußen bestimmt werden, die den Landwirten entstehen, wenn bestimmte Grenzwerte eingeführt werden. Damit steht auch ein Modell zur Verfügung, das zur Analyse verschiedener politischer Rahmenbedingungen eingesetzt werden kann.

Tab. 2: Simulationsergebnisse über Verluste von Pflanzenschutzmitteln in der Fruchtfolge ZR-WW-WG. (Aktivsubstanz in g/ha, Gesamtmenge in 20 Jahren).

Kultur	Pflanzenschutzmittel Wirkstoff (Handelsname)	Runoff g/ha	Sediment g/ha	Verlagerung g/ha	Gesamtverluste ¹⁾ g/ha
Zuckerrüben	Metamitron (Goltix)	2,25	0,051	0,055	2,26
	Phenmedipham (Betanal)	108,46	2,25	0	110,71
Winterweizen	Isoproturon (Arelon + Tolkan fox)	0,0026	0,002	0	0,0029
	Bifenox (Tolkan fox)	0	0	0	0
Wintergerste	Pendimethalin (Stomp)	0,52	1,43	0	1,95

¹⁾ ohne Verflüchtigung

Aufwandmengen: Goltix (8 l/ha, 70% Aktivsubstanz); Betanal (7 l/ha, 15,7% AS) Arelon fl (3 l/ha, 50% AS); Tolkan fox (3,5 l/ha, 16% AS) Stomp SC (5 l/ha, 34% AS).

Literatur

BOX, M.J., 1965: A new method of constrained optimisation and comparison with other methods. - Computer J. 8.

FUCHS, C. & B. MURSCHEL, 1992: Optimierung der N-Düngung unter Beachtung ökologisch-ökonomischer Ziele. - Agrarwirtschaft 41: 118-128.

FUCHS, C. & B. SCHANZENBÄCHER, 1992: Produktion, Ökologie und Wirtschaftlichkeit ausgewählter Körnerfrüchte-Konsequenzen von Produktpreissenkungen und Faktorbesteuerungen. - Agrarwirtschaft 41: 152-165.

HESSELBACH, J. & L.M. EISGRUBER, 1967: Betriebliche Entscheidungen mittels Simulation. - Parey, Hamburg.

JAROSCH, J., 1990: Methodik, Einsatzmöglichkeiten und Anwendung ökologisch-ökonomischer Planungsmodelle. - Landwirtschaft und Umwelt 6, Kiel.

KNISEL, W., 1980: CREAMS a fieldscale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. - USDA Conservation Res. Rep. 26.

LEONARD, R.A., KNISEL, W.G. & D.A. STILL, 1986: GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems. - Am. Soc. of Agric. Eng., Winter Meeting, Chicago: 44 pp.

MANETSCH, T.J., 1989: Towards Efficient Global Optimization in Large Dynamic Systems - The Adaptive Complex Method. - Michigan State University, Mimeo.

MURSCHEL-RAASCH, B., 1991: Die Entwicklung eines Informationssystems zur Reduzierung der Erosion und des Stoffaustrages am Beispiel von Ackerböden im Kraichgau. - Diss., Univ. Hohenheim.

ZEDDIES, J. & B. SCHANZENBÄCHER, 1992: Betriebswirtschaftliche Analyse und Optimierung landwirtschaftlicher Betriebssysteme. - 2. Arbeit- und Ergebnisbericht des SFB 183. - Universität Hohenheim: 393-414.

Adresse

Bernd Schanzenbächer, Clemens Fuchs, Institut für Landw. Betriebslehre (410B), Universität Hohenheim, Postfach 70 05 62 , D-W-7000 Stuttgart 75

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1993

Band/Volume: [22_1993](#)

Autor(en)/Author(s): Schanzenbächer Bernd, Fuchs Clemens

Artikel/Article: [Optimierung von N-Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen unter Beachtung ökonomischer und ökologischer Ziele 465-468](#)