

## ÖKOLOGISCH-ÖKONOMISCHE MODELLE ZUR BESCHREIBUNG UND LÖSUNG VON KONFLIKTFÄLLEN IM AGRARRAUM

Thomas Witte und Matthias Kramer

### ABSTRACT

In the following a model concept will be presented which makes it possible to judge the effects of intensive agriculture and the ecological consequences of this development in a special region. The investigated area, the "Landkreis Vechta", is located in northern Germany in the state of lower Saxony. In this region a development took place over the last years that is unique in Germany. An agricultural and structurally weak region was changed by planned specialization and intensive growth of certain production types into an ultra modern agricultural area. A problematic side-effect of this intensive animal farming is the high amount of liquid manure. The problem of overfertilization and seepage of nitrates into the groundwater occurred. For two thirds of the private wells more than 90 ppm NO<sub>3</sub> was measured. Allowed are only 50 ppm. These ecological problems were mentioned in social and political discussions. The nitrogen concentration in the groundwater lead to a sorrowful awareness of the population with regard to their health. The public health authority demanded measures to limit groundwater contamination. At the same time the farmers felt that their economic situation was endangered by possible limitations using fertilizers. In order to deal with these problems, one faced a number of difficult, interconnected questions which the individual disciplines cannot solve. A cooperation of various scientific disciplines seemed to be necessary. To solve the complex problems the Systems Research Group was founded at the University of Osnabrück. In this group biologists, ecologists, geologists, economists, lawyers and social scientists are working together.

The aim of the total project is the development of a valid integrated model with components from the social sciences, economics, and ecology. The consequences of alternative applications for the "Landkreis Vechta" should be tested keeping aspects of the above mentioned components in mind. The complete system is composed of three subsystems: the economical system, the ecological system and the social and political system.

In the following the integrated model of the Systems Research Group, the Agro-Ecosystem-Model, will be described.

keywords: *intensive agriculture, overfertilization, nitrogen concentration, groundwater, cooperation of various scientific disciplines, interdisciplinary model, social sciences, economics, ecology, Agro-Ecosystem-Model*

### 1. DIE PROBLEMSTELLUNG

Die Arbeitsgruppe Systemforschung der Universität Osnabrück entwickelt gegenwärtig ein interdisziplinäres Modellsystem zur Lösung von ökologischen Problemen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten. Das Projekt wurde auf Grund der momentanen Diskussion über erhöhte Nitratwerte im Grundwasser begonnen. Diese Problematik trifft insbesondere für den im Norden der Bundesrepublik Deutschland gelegenen Landkreis Vechta zu. In dieser Region hat sich in den letzten Jahren ein landwirtschaftlicher Strukturwandel vollzogen, der in dieser

Größenordnung einmalig für die Bundesrepublik ist (vgl. MAB-MITTEILUNGEN 1983). In dem ehemals strukturschwachen Landkreis hat sich durch intensivierte und spezialisierte Produktionsweisen ein hochmoderner Agrarwirtschaftsraum entwickelt. Die Viehhaltung stellt für viele landwirtschaftliche Betriebe im Landkreis Vechta die Haupterwerbsquelle dar. Insgesamt sind etwa 40 % der Erwerbstätigen direkt oder indirekt, in vor- und nachgelagerten Industrie- sowie Dienstleistungsunternehmen mit der Landwirtschaft verbunden. Die Gesamtfläche des Landkreises wird zu ca. 74 % (61.105 ha) landwirtschaftlich genutzt (LANDKREIS VECHTA 1987). Nach dem Ergebnis der Viehzählung des Nieders. Landesverwaltungsamtes vom 03.12.1986 fielen 871.000 cbm Rindergülle, 1.412.000 cbm Schweinegülle, 484.000 cbm Hühnergülle und 12.000 t Geflügelfestmist an. (LANDKREIS VECHTA 1987). Diese Menge entspricht einer rechnerischen durchschnittlichen Belastung von 3,9 Dungeinheiten (DE) pro Hektar und Jahr, bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche im Kreisgebiet (LANDKREIS VECHTA 1987).

Der Güllerunderlaß von 1983 sieht eine maximal zulässige Ausbringungsmenge von 3 DE je Hektar und Jahr vor. Dadurch ergibt sich ein Flächenfehlbedarf von 19.000 ha oder ein Gülleüberschuß von 872.000 cbm (LANDKREIS VECHTA 1987). Das Überschußproblem ist durch die Berücksichtigung von bewirtschafteten Eigen- oder Pachtflächen statistisch auf 3,3 DE je Hektar und Jahr zu reduzieren, trotzdem bewirkte der hohe Gülleanfall eine Veränderung der Bodennutzung. "Die Ackerflächen werden zu einen Großteil mit Mais bestellt, da er als besonders güleverträglich gilt und nach der Ernte als Futter wieder eingebracht werden kann" (LANDKREIS VECHTA 1987).

Ein problematischer Nebeneffekt der Intensivtierhaltung und der damit verbundenen Monokultur in der Pflanzenproduktion ist die Nährstoffanreicherung im Boden. Die aufgebrauchte Gülle und damit der in ihr enthaltene Stickstoff wird nicht mehr durch die Anbaufrüchte aufgenommen oder im Boden gebunden, sondern bewirkt eine Auswaschung mit dem Sickerwasser als Nitrat in das Grundwasser (vgl. PIEHLER 1990). Hierbei handelt es sich um einen langwierigen Prozeß, der vom Ausbringen der Gülle, dem Eintritt des ausgewaschenen Nitrats in den Grundwasserkörper und seiner Förderung im Rohwasser durch ein Wasserwerk, 10, 15 oder auch 20 Jahre betragen kann (PIEHLER 1990). Welche dramatische Entwicklung die Nitratkonzentration (mg/l) im geförderten Rohwasser genommen hat, wird im folgenden am Beispiel der Förderbrunnen des Wasserwerks Holdorf (Landkreis Vechta) dargestellt.

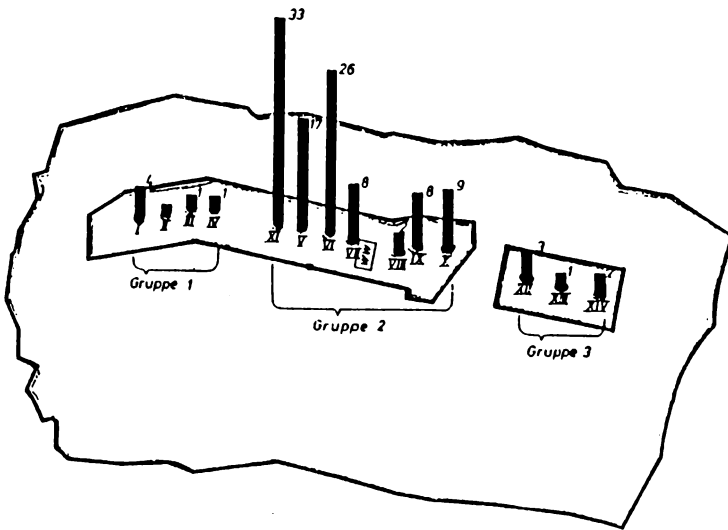


Abb. 1: Nitratkonzentration (mg/l) in den Förderbrunnen des Wasserwerks Holdorf im Jahr 1968, Quelle: OOWV (PIEHLER 1990).

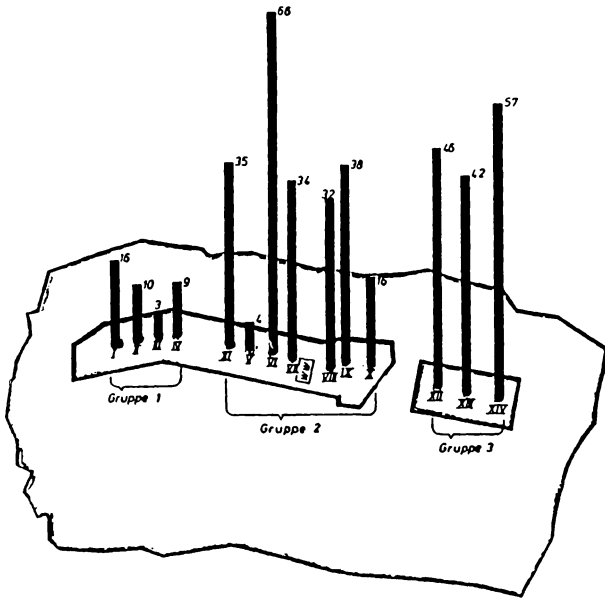


Abb. 2: Nitratkonzentration (mg/l) in den Förderbrunnen des Wasserwerks Holdorf im Jahr 1982, Quelle: OOWV (PIEHLER 1990).

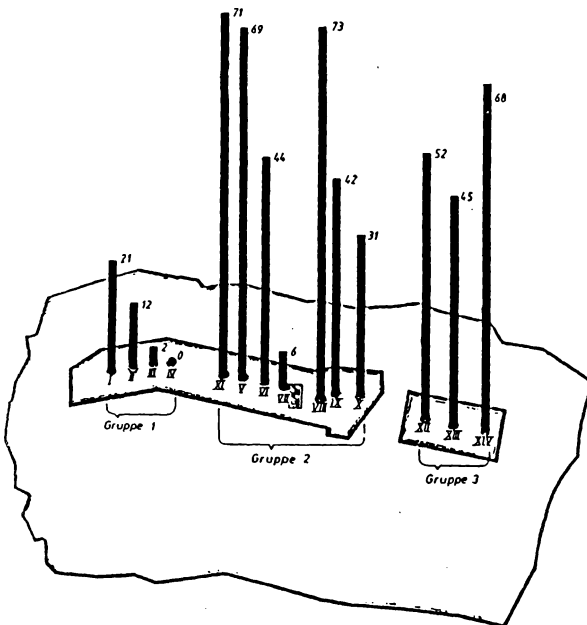


Abb. 3: Nitratkonzentration (mg/l) in den Förderbrunnen des Wasserwerks Holdorf im Jahr 1985, Quelle: OOWV (PIEHLER 1990).

Die Abbildungen 1-3 machen deutlich, daß künftig mit einer erheblichen Trinkwassergefährdung durch Nitrat zu rechnen ist. Da flächendeckende Boden- und Wasseruntersuchungen, wie sie an einzelnen Standorten für Wasserwerke durchgeführt werden, nicht möglich sind, müssen die komplexen Zusammenhänge in computergestützten Modellen abgebildet werden. Dabei ist es erforderlich, neben der Analyse der Konsequenzen einer bestimmten Entwicklung das Ursache-Wirkungsgefüge des realen Systems abzubilden. Diesen Ansatz hat die Arbeitsgruppe Systemforschung in einem interdisziplinären Modellsystem realisiert, dessen wesentliche Bestandteile im folgenden beschrieben werden.

## 2. DER ÜBERBLICK ÜBER DAS GESAMTMODELL

Das computergestützte Modellsystem der Arbeitsgruppe Systemforschung simuliert die Wechselwirkungen zwischen Intensivlandwirtschaft und ökologischer Belastung des Grundwassers. Das Simulationsmodell enthält Bestandteile aus der Ökonomie, der Ökologie und den Sozialwissenschaften. Die Verknüpfungen zwischen den drei Subsystemen werden in folgender Abbildung 4 dargestellt.

1. Der ökonomische Teil beinhaltet ein einzelbetriebliches Modell zur Festlegung von aggregierten Produktionsvorgaben, die für eine Klasse von Betrieben (Betriebstypen) repräsentativ sind. Das Betriebsrepräsentantenmodell (BRM) beinhaltet die Submodelle Planung, Realisation und Rechnungswesen.

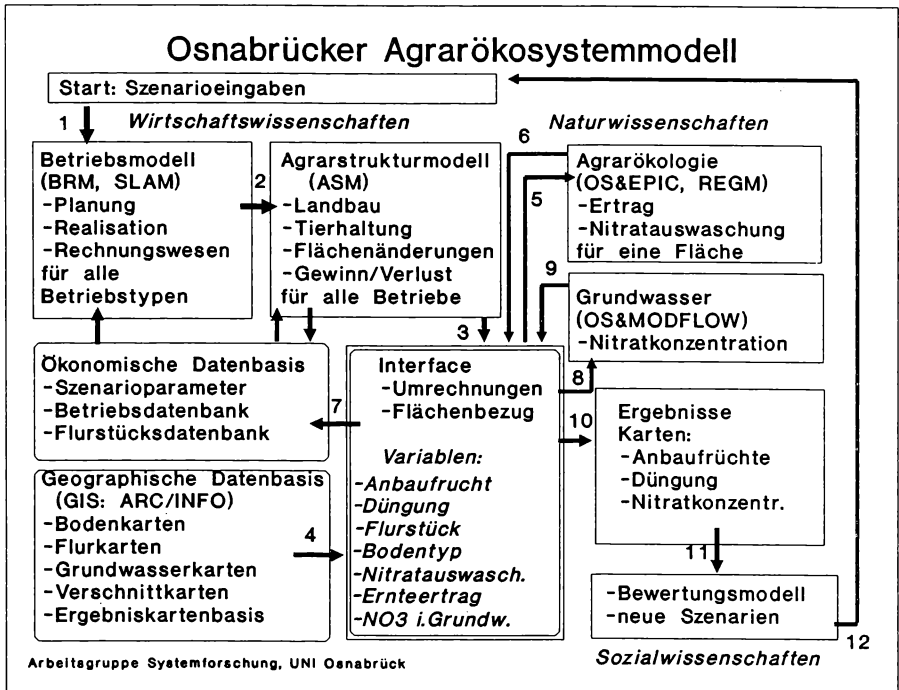


Abb. 4: Das Agrarökosystemmodell

2. Die strukturellen Entscheidungen über Flächennutzung, Tierhaltung und Investitionsentscheidungen werden in einem Simulationsmodell der Agrarstrukturentwicklung (ASM) einzelbetrieblich und flächenbezogen festgelegt. Das Agrarstrukturmodell arbeitet auf konkreten Raumeinheiten. Bezugsgrößen sind die Flurstücke der betrachteten Region. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche eines Betriebes besteht somit aus einem oder mehreren Flurstücken. Für jedes dieser Flurstücke werden Entscheidungen über die Anbaufrüchte, das Düngungsniveau und die -zeitpunkte getroffen. Die Flächenaktivitäten werden in der ökonomischen Datenbasis gespeichert.
3. Die Verknüpfung der flächenbezogenen ökonomischen und ökologischen Modelle erfolgt durch ein Interface unter Einbezug des geographischen Informations- und Kartierungsprogramms ARC-INFO. In der geographischen Datenbasis liegen als Ausgangsinformationen Karten vor, die beispielsweise den Bodentyp, die Flurgrenzen und den Grundwasserfluß beschreiben. Diese Karten können für bestimmte Fragestellungen verschnitten werden und damit neue Informationen liefern.
4. Die naturwissenschaftlichen Modelle benötigen die berechneten und vorgegebenen flächenbezogenen Angaben zur Simulation des Stickstoffflusses. Das agrarökologische Modell (OS&EPIC, REGM) simuliert die Nitratauswaschung in der ungesättigten Zone für jedes bewirtschaftete Flurstück. Desweiteren wird der Ernteertrag für die angebauten Früchte berechnet. Beide Ergebnisse werden wiederum als Eingabegrößen für die ökonomischen Modelle benötigt. Die Nitratauswaschung in der ungesättigten Zone wird desweiteren als Inputfaktor für die Simulation der Grundwasserbelastung gespeichert.
5. Der Transport von Nitrat in der gesättigten Zone wird in einem 3-dimensionalen Transport- und Grundwassermodell (OS&MODFLOW) simuliert. Während der Flächenbezug des ökonomischen und des ökologischen Modellsystems auf der Basis von Flurstücken als gemeinsame Bezugseinheit vereinheitlicht ist, sind für das Grundwassermodell Umrechnungen erforderlich (vgl. ARBEITSGRUPPE SYSTEMFORSCHUNG 1989). Aus dem Verschnitt einer Rasterkarte mit Flurstücks- und Bodenkarte ergab sich eine Datenbasis, die zu jedem Flurstück den Bodentyp, die Nutzung und die Flächenanteile an den Rastern der Grundwasserkarte enthält. Für die Gemeinde Holdorf des Landkreises Vechta ergaben sich 930 Raster, für die das Modell Nitratkonzentrationen in 5 Schichten des Grundwasserleiters simuliert.
6. Die Ergebnisse können sowohl für einzelne Modelle als auch für das gesamte Osnabrücker Agrarökosystemmodell in Kartenform dargestellt werden. Diese Ergebniskartenbasis wird wiederum als Eingabeinformation für die folgende Simulationsperiode benötigt.
7. Eine simultane Auswertung der Modellergebnisse erfolgt in dem Teil Recht-Verwaltungssozialwissenschaften (RVS). Das dafür erforderliche und in Teilen bereits konzipierte Bewertungsmodell ist allerdings noch nicht in das Osnabrücker Agrarökosystemmodell integriert worden.

Im folgenden werden die Modellteile beschrieben, die bereits programmiert wurden und zur Zeit validiert werden.

## 2.1 Das gesamtwirtschaftliche Teilmodell

Im wirtschaftswissenschaftlichen Teilprojekt wurde ein Modellsystem zur Analyse des agrarstrukturellen Wandels entwickelt (vgl. ARBEITSGRUPPE SYSTEMFORSCHUNG 1989). Bislang erfolgte zur Darstellung des Agrarstrukturwandels häufig eine Gruppierung der landwirtschaftlichen Betriebe nach Ähnlichkeitskriterien.

Dabei sollten folgende Forderungen eingehalten werden:

1. für eine Gruppe sollte die Berechnung repräsentativer Ergebnisse möglich sein,
2. die Gruppen müssen einen hohen Homogenitätsgrad aufweisen,
3. die Klassifizierung soll nach einfachen Kriterien erfolgen und einen Vergleich mit den amtlichen Statistiken ermöglichen.

Das wirtschaftswissenschaftliche Modellsystem enthält ein Klassifizierungsschema für Wirtschaftsmodelle auf verschiedenen Aggregationsebenen (Abb. 5).

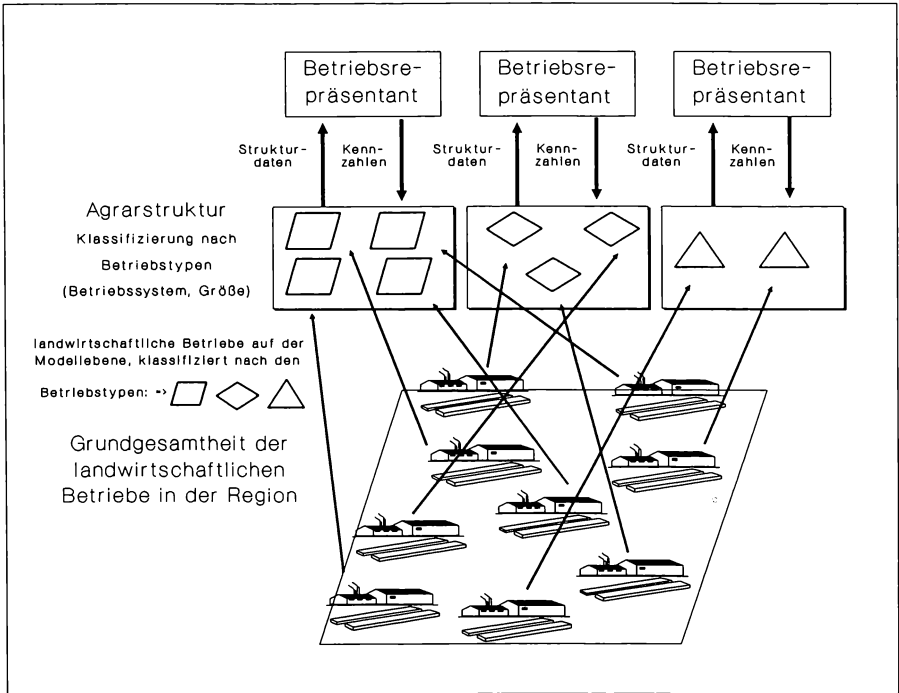


Abb. 5: Die Grundstruktur der ökonomischen Teilmodelle

Durch die Klassifizierungsmerkmale Betriebssystem und Größe der landwirtschaftlich genutzten Fläche wird ein Betriebstyp festgelegt. Jeder Betriebstyp wird durch einen in Wirtschaftsweise und Ausstattung repräsentativen Betrieb dargestellt. In dem Betriebsrepräsentantenmodell werden die landwirtschaftlichen Produktionsvorgänge simuliert, die im Durchschnitt in allen Betrieben eines Typs durchgeführt werden. Dadurch werden die pflanzliche und tierische Produktion sowie die ökonomischen Konsequenzen aus diesen Tätigkeiten für alle Betriebe festgelegt, die einem entsprechenden Betriebstyp zugeordnet sind. (Das Simulationsmodell wurde von K.-M. Meiß konzipiert. Das Modell läuft unter Kontrolle der Simulationssprache SLAM ab. Die vollständige Modellbeschreibung wird in den Schriften zur Angewandten Systemforschung im LIT-Verlag Münster erscheinen. Ein Eindruck über die Leistungsfähigkeit des Modells ist dem Artikel von K.-M. MEISS 1991 in diesem Tagungsband zu entnehmen.)

Die einzelbetrieblichen Entscheidungen bewirken den landwirtschaftlichen Strukturwandel. Notwendig ist eine letztlich mikroökonomisch begründete Modellstruktur, da die Beeinflussung der natürlichen Umwelt eine Folge einzelwirtschaftlicher Entscheidungen ist.

Das Modell zur Beschreibung der agrarstrukturellen Entwicklung wurde daher einzelbetrieblich orientiert konzipiert. Auf Grundlage der Informationen aus dem Betriebsrepräsentantenmodell und in Verbindung mit gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden die Produktionsentscheidungen im Agrarstrukturmodell in den Einzelbetrieben getroffen (das Agrarstrukturmodell wurde von M. Kramer entwickelt; vgl. auch M. KRAMER 1990 und 1991). Dies erfordert einen hohen Datenbestand, in dem die wesentlichen Einflußgrößen auf das einzelbetriebliche Entscheidungsverhalten enthalten sind. Für die landwirtschaftlichen Betriebe wurde im Agrarstrukturmodell ein konkreter Flächenbezug realisiert. Die Konsequenzen betrieblicher Nutzungsentscheidungen werden im Zeitablauf aufgezeigt. Eine Modellierung des Strukturwandels beinhaltet damit u.a. eine Darstellung des Wandels der Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen. Die Flächennutzung ändert sich mit dem Strukturwandel und muß laufend konsistent fortgeschrieben werden. Dazu kommt der Wandel der Betriebssysteme und Betriebsgrößen, der sich in der einzelbetrieblichen Zugehörigkeit zu bestimmten Betriebstypen niederschlägt. Die Verknüpfung der ökonomischen Teilmodelle im Zeitablauf wird in Abbildung 6 dargestellt.

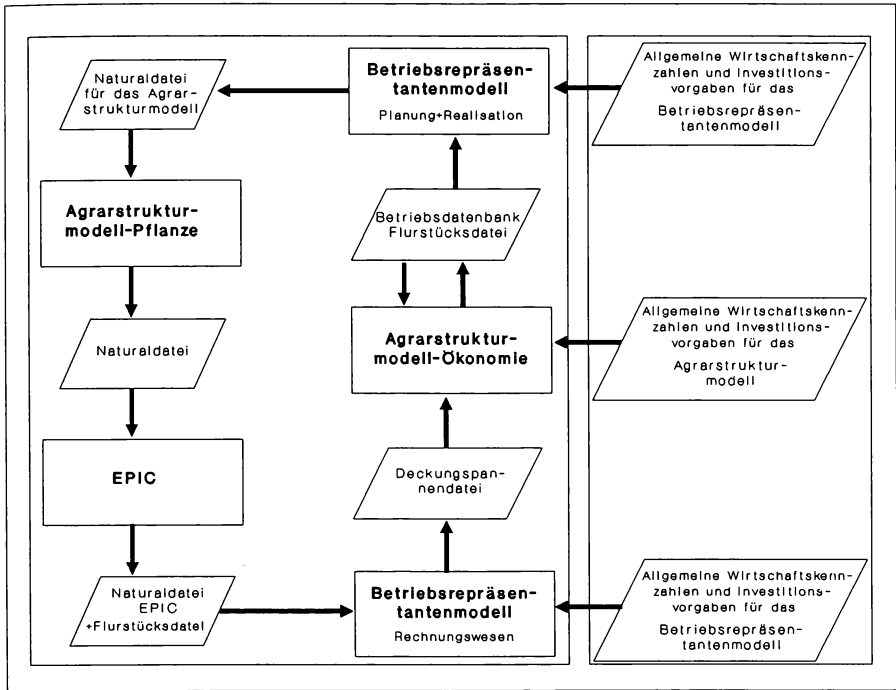


Abb. 6: Verknüpfung der ökonomischen Teilmodelle im Gesamtsystem

Die einzelnen Modellteile werden in einem zeitlich geschlossenen Kreislauf sukzessiv aktiviert. Zum Startzeitpunkt  $t$  des Modells wird in den Betriebsrepräsentantenmodellen die Planung für das kommende Wirtschaftsjahr festgelegt. Als Informationen werden dazu die charakteristischen Merkmale der Betriebstypen benötigt, die einzelbetrieblich in einer Betriebsdatenbank, einer Flurstücksdatei und in betriebstypspezifischen Datensätzen enthalten sind. Als Ergebnis werden die pflanzlichen Entscheidungen für das Planungsjahr  $t+1$  festgelegt. Diese Vorgaben werden in dem Pflanzenteil des Agrarstrukturmodells einzelbetrieblich bearbeitet. Es erfolgt eine Nutzungsentscheidung für jedes einzelne Flurstück im Landkreis Vechta. Diese Informa-

tionen werden in dem naturwissenschaftlichen Modell EPIC zur flurstücksbezogenen Simulation von Ernteerträgen und Sickerwassermengen eingesetzt. Die einzelbetrieblichen, flurstücksbezogenen Ernteergebnisse aus EPIC werden in dem Submodell Rechnungswesen des Betriebsrepräsentantenmodells zu repräsentativen, pflanzlichen Kennwerten aggregiert. Der Flächenbezug wird über die Flurstücksdatei hergestellt. Die Ergebnisaufbereitung erfolgt in Form von Spannungsspannen und anderen ökonomischen und ökologischen Kennzahlen der landwirtschaftlichen Produktion. Im ökonomischen Teil des Agrarstrukturmodells werden diese betriebstypenspezifischen Kennzahlen zur betriebsindividuellen Gewinnermittlung herangezogen. Die Gewinnsituation stellt einen Kennwert für das einzelbetriebliche Entscheidungsverhalten dar. Veränderte Produktionsstrukturen bewirken den Agrarstrukturwandel. Nach Aktualisierung der Betriebsdatenbank und der Flurstücksdatei ist ein Zeitschritt im Gesamtmodell abgeschlossen. Die Planung für die Folgeperiode kann erfolgen. Die gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die in den ökonomischen Submodellen zu berücksichtigen sind, werden vor dem Simulationsbeginn für den gesamten Modellierungszeitraum festgelegt. Sie stehen den Modellen als makroökonomische Eingabedaten während der Laufzeit zur Verfügung.

## 2.2 Das agrarökologische Teilmodell

Das Teilprojekt Naturwissenschaften übernimmt aus Produktionsteilen des Agrarstrukturmodells disaggregierte Daten bezüglich angebaute Feldfrüchte und den ausgebrachten Mengen an organischen bzw. mineralischen Düngern (vgl. ENGELKE et al. 1989). Es berechnet mittels des agrarökologischen Modells OS&EPIC (s. Abb. 7) bzw. eines daraus abgeleiteten Regressionsmodells (REGM) Ernteerträge, die Sickerwassermenge und die Stickstoffausträge in Abhängigkeit von Anbaufrucht, Bodenart, Wetter, Bodenbearbeitung und Düngung (Details sind der Arbeit von PIEHLER 1990 zu entnehmen). Die Ernteerträge und N-Gehalte im Boden werden an das Betriebsrepräsentantenmodell übergeben.

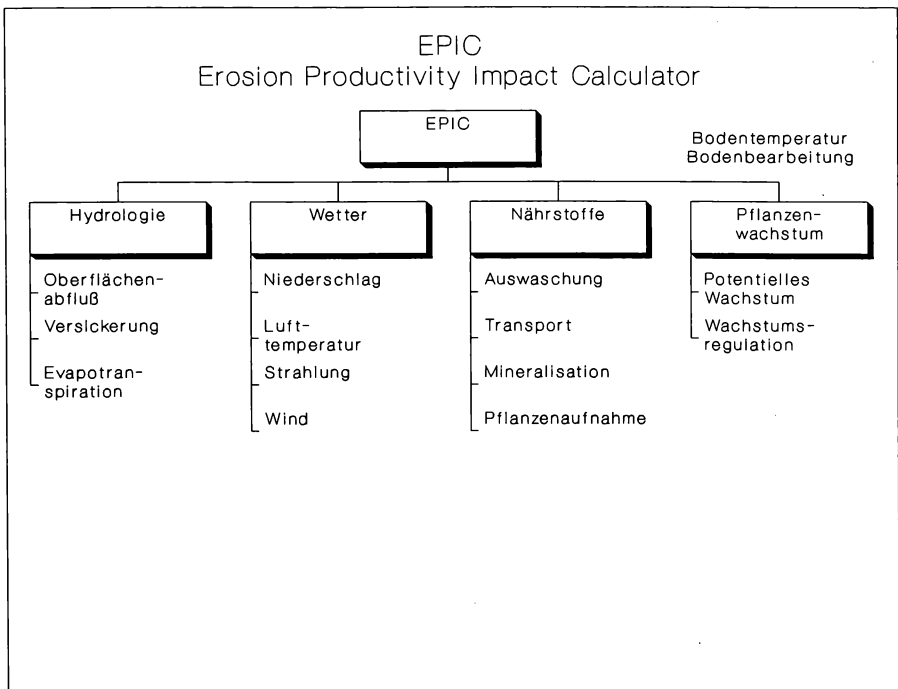


Abb. 7: Modell OS&EPIC



Das Modell OS&EPIC (Abb. 7) ist ein Mehrkomponenten-Modell der ungesättigten Bodenzone. Von den stickstoffumsetzenden Bodenprozessen berücksichtigt es Mineralisation, Immobilisation, Denitrifikation, Pflanzenaufnahme und Stickstoffauswaschung. Die verschiedenen Prozesse werden im Zeittakt von einem Tag sequentiell mit Hilfe von Differenzgleichungen berechnet. Den Gleichungen liegen Annahmen von Reaktionskinetiken 1. Ordnung zugrunde. Der Funktionstyp ist empirisch. Die Modellstruktur von OS&EPIC wurde den Erfordernissen des Modellierungsgebietes mit hauptsächlichlicher Ausbringung von wirtschaftseigenem Dünger angepaßt. "Das Modell unterstellt eine homogene Fläche in der Größenordnung von ca. 1 ha. Der Boden ist vertikal in maximal 10 Schichten gegliedert. Das Modell behandelt die agrarökologisch wichtigen Bereiche: 1. Wasser-, Stickstoff- und Phosphorhaushalt von Boden und Anbaufrucht; 2. Pflanzenwachstum; 3. Wetter; 4. Bodentemperatur; 5. Erosion. Das Wetter ist der von allen anderen Prozessen unabhängige Treiber des Modells" (PIEHLER 1990). Mit Hilfe eines interaktiven Programms können aus einer Pflanzen-, Boden- und Wetterdatenbank die geforderten Variablenkonstellationen eingelesen werden.

Die große Anzahl zu berechnender agrarökologischer Bezugsseinheiten erforderte die Verringerung der Rechenzeiten für das Modell der ungesättigten Zone. Daher wird ein aus Ergebnissen des Modells OS&EPIC abgeleitetes Regressionsmodell als lineares Modell für zeitlich aggregierte Werte anstelle des Modells OS&EPIC auf Jahresebene in dem Gesamtmodell der Arbeitsgruppe Systemforschung eingesetzt, in welchem die Ergebnisgrößen Ernteertrag, Sickerwassermenge und Stickstoffauftrag auf Jahresebene auf die Kontrollgrößen Düngermenge, Niederschlagsmenge und Temperatursumme zurückgeführt werden. Da die Möglichkeit einer Korrelation zwischen den Residuen der Regression nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann, besteht der lineare Modellansatz aus einem Regressionsteil mit korrelierten Fehlern. Die so ermittelten Grundwasserneubildungsraten und N-Konzentrationen im Sickerwasser dienen als Eingangsgrößen für das Grundwassermodell MODFLOW.

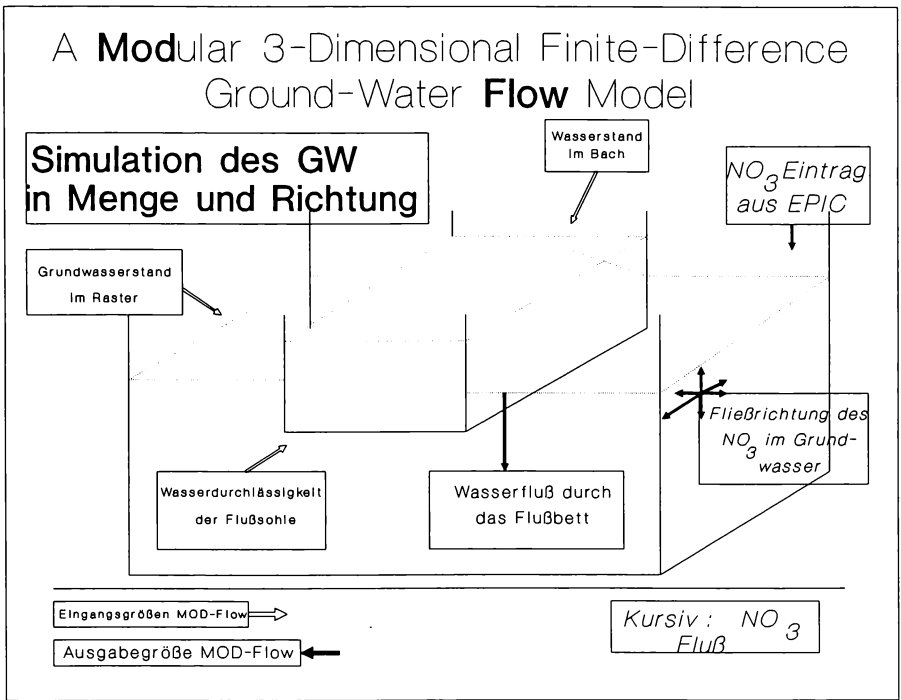
### 2.3 Das hydrologische Teilmodell

Das Osnabrücker Agrarökosystemmodell ist so angelegt, daß der Fluß von oberflächlich eingetragenen Stoffen auf ihrem Weg durch den Acker und das Grundwasser bis zu den Entnahmebrunnen verfolgt werden kann. In der gesättigten Zone, d.h. im Aquifer wird der Stickstofffluß mit dem 3-dimensionalen Grundwassermodell MODFLOW (s. Abb. 8) modelliert. Dieses ursprünglich als Strömungsmodell konzipierte Modell wurde um ein Transportmodul erweitert (LIETH und WUTTKE 1989).

MODFLOW simuliert den Grundwasserfluß durch eine blockzentrierte Finite-Differenzen-Methode. Es berücksichtigt den Einfluß von Oberflächengewässern (Seen, Dränagen, Flüsse) und von äußeren Quellen und Senken, wie Brunnen, Niederschlag und Evaporation. Das Modell ermöglicht es, den Aquifer in mehrere Schichten aufzuteilen. Dabei kann es sich sowohl um freie oder gespannte Schichten handeln, als auch um eine Kombination der beiden. Leckagen zwischen den einzelnen Schichten können ebenfalls simuliert werden. Im Rahmen des Gesamtmodellsystems übernimmt MODFLOW rasterbezogene aggregierte Grundwasserneubildungsraten und Stickstoffeinträge aus der ungesättigten Zone vom Modell OS&EPIC bzw. dem Regressionsmodell REGM.

## 3. ERGEBNISSE IN KARTENFORM

Auf der Basis der bisher entwickelten und adaptierten Modelle wurde ein Gesamtmodellsystem konfiguriert, mit dem die Entwicklung der Nitratbelastung des Grundwassers in 5 Schichten des Grundwasserleiters in der Gemeinde Holdorf simuliert werden kann. Hierbei standen die Erprobung der Funktionsfähigkeit der Modelle und die Gewinnung von Ergebnissen für zurückliegende Jahre im Vordergrund, um eine Grundlage für die noch anstehende Modellvalidierung zu erhalten. Die Karten wurden mit dem geographischen Informations- und Kartierungsprogramm ARC-INFO erstellt. Die Ergebnisse stellen nur einen Teil der Möglichkeiten dar, die das System zur Auswertung von Modellergebnissen bietet. Prinzipiell sind alle Informationen, die in den Dateien des Modellsystems gespeichert werden, in der Fläche im Zeitablauf darzustellen (vgl. auch KRAMER 1991).



**Abb. 8: Modell MODFLOW**

## Szenarien

Die Abbildungen 9 und 10 enthalten Ergebnisse zweier Szenarien für das Simulationsjahr 1990 auf jeweils 5 Karten. (Die Ergebnisse wurden anlässlich des Statusseminars "Bodenbelastung und Wasserhaushalt" des BMFT vom 28.02.1990-02.03.1990 in Bonn erstellt; vgl. KRAMER und THOBER 1989).

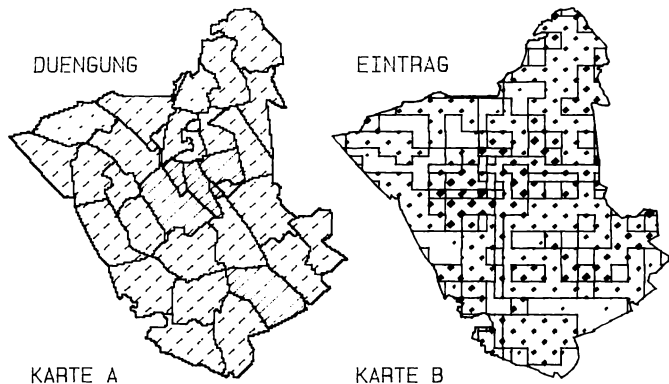
Das Normaldüngungsszenario X geht von einer Düngung aus, die sich weitgehend am Stickstoffbedarf der Pflanzen orientiert. Dagegen werden beim Überdüngungsszenario C Gülleüberschüsse der Betriebe dazu verwendet, Körner- und Silomaisflächen um bis zu 100 % der zur Verfügung stehenden Güllemengen höher zu düngen.

## Düngung

Eine aggregierte Darstellung der Düngemengen in kg Stickstoff pro ha landwirtschaftlicher Nutzfläche ist jeweils in der Karte A der beiden Abbildungen wiedergegeben. Aggregiert wurde flurweise über die landwirtschaftlich genutzten Flurstücke. Unterschiede der mittleren Düngebelastung in den einzelnen Fluren resultieren aus der Variation von Grünlandanteilen (beide Szenarien) und der Verteilung von tierbestandsstarken Betrieben (Überdüngungsszenario). Die Vorgaben über Anbaufrüchte, Düngemengen und -termine wurden im ökonomischen Modellsystem berechnet.

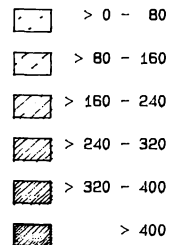
# SIMULATIONSERGEBNISSE DES GESAMTMODELLS

SZENARIO : X  
 JAHR : 1990



## LEGENDE A

DUENGUNG  
 (IN KG N/HA)



## LEGENDE B - F

NITRATKONZENTRATION  
 (IN PPM)

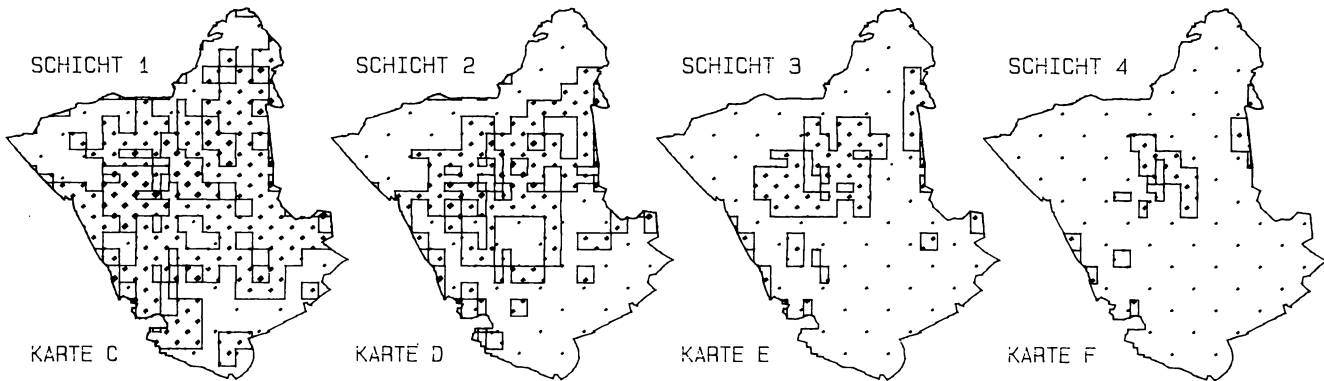
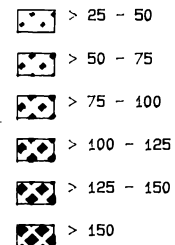
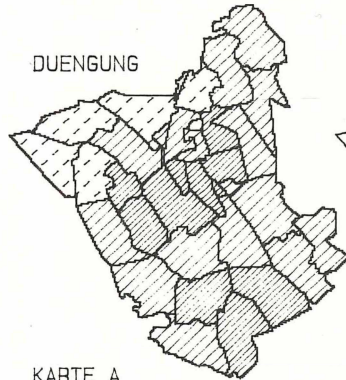


Abb. 9: Normaldüngungsszenario X

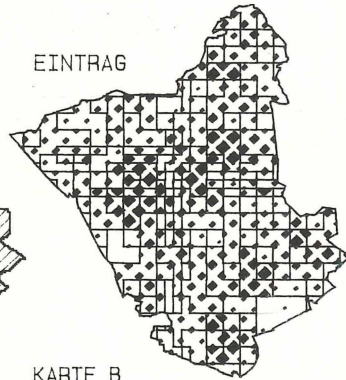
# SIMULATIONSERGEBNISSE DES GESAMTMODELLS

SZENARIO : C

JAHR : 1990



KARTE A

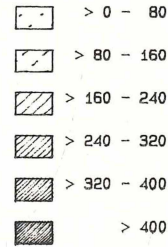


KARTE B

## LEGENDE A

### DUENGUNG

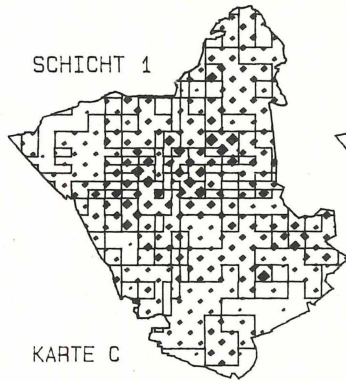
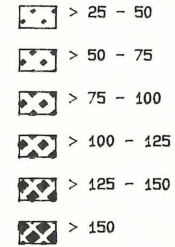
(IN KG N/HA)



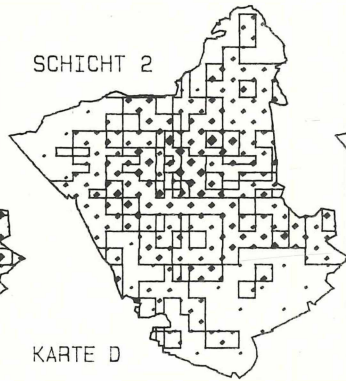
## LEGENDE B - F

### NITRATKONZENTRATION

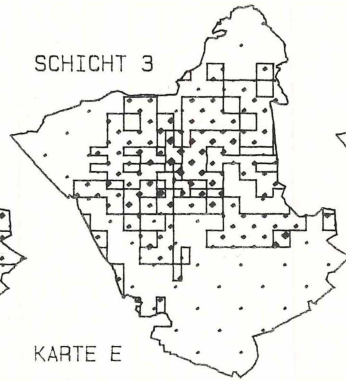
(IN PPM)



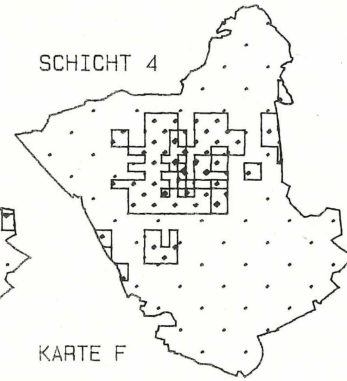
KARTE C



KARTE D



KARTE E



KARTE F

Abb. 10: Überdüngungsszenario C

## Nitratauswaschung

Der mittlere Nitratreintrag in das Grundwasser wurde für 930 Raster des Grundwassertransportmodells auf der Basis von Flächenanteilen ermittelt. Hierbei gingen für alle im agrarökonomischen Modell erfaßten Flurstücke die simulierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser ein. Für die übrigen Flächen wurden in Abhängigkeit von der Nutzung Annahmen getroffen. Für das Gebiet der Gemeinde Holdorf sind die Nitratreinträge je Raster in den Karten B der beiden Abbildungen dargestellt. Diese Informationen entstammen dem aus dem OS&EPIC abgeleiteten Regressionsmodell REGM.

## Nitratkonzentration im Grundwasser

In den Karten C bis F der beiden Abbildungen sind die simulierten Nitratkonzentrationen in den ersten 4 Schichten des Grundwasserleiters dargestellt. Das dreidimensionale Grundwassertransportmodell MODFLOW operiert mit 5 Schichten, von denen die ersten vier (bei ausreichendem Abstand zur Basis des Aquifers) 10 m mächtig sind. Die fünfte Schicht hat stets eine variierende Mächtigkeit. Zur Einschätzung der Nitratgefährdung von Flachbrunnen können die Ergebnisse in Schicht 1 als Indikator dienen (Karte C). Für die Beurteilung der Wassergüte von Brunnen des Wasserwerks Holdorf sind die Schichten 2 und 3 heranzuziehen (Karten D und E).

## 4. ARBEITSPROGRAMM UND ARBEITSSTAND

Nach Analyse der realen Situation in dem Untersuchungskreis Vechta wurden die Konzepte zur Simulation folgender ökonomischer und ökologischer Vorgänge entwickelt:

- Simulation des Entscheidungsverhaltens landwirtschaftlicher Betriebsleiter. Insbesondere bei Anbauentscheidungen, Tierhaltung, Gülleausbringung, Investitionen, Abstockungen.
- Simulation des Stickstofftransports vom Ausbringungsort über ungesättigte Zone und Aquifer in die Entnahmekunnen der Wasserwerke.

In der Projektphase bis Ende 1989 wurden die konzeptionellen Überlegungen in folgenden Modellen abgebildet:

- agrarökonomische Modelle (Errechnung der Stickstoffeinträge auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen),
- agrarökologisches Modell (Bestimmung der Nitratauswaschung),
- Grundwassermodell (Ermittlung der großräumigen Verteilung des Nitrats im Grundwasser).

Die Modelle wurden auf ihre Plausibilität hin überprüft und liefern sowohl in den einzelnen Komponenten als auch im Modellverbund zufriedenstellende Ergebnisse. In der laufenden Projektphase bis Ende 1991 werden die Modelle an exemplarischen Standorten validiert, die für die ökologischen und ökonomischen Verhältnisse in der Untersuchungsregion charakteristisch sind. Nach einer erfolgreichen Validierung werden die Modelle um Benutzerschnittstellen ergänzt, um den späteren Einsatz des Modellsystems in der Praxis zu gewährleisten. Diese Projektphase wird Ende 1992 abgeschlossen sein. Als potentielle Nutzer des Agrarökosystemmodells der Arbeitsgruppe Systemforschung der Universität Osnabrück kommen insbesondere Wasserwerke, landwirtschaftliche und politische Institutionen in Betracht.

## LITERATUR

- ARBEITSGRUPPE SYSTEMFORSCHUNG, 1989: Nitratversickerung im Kreis Vechta: Simulationen und ihr Praxisbezug. - In: Beiträge der Arbeitsgruppe Systemforschung, Beitrag Nr. 4, Osnabrück.
- BMFT, 1990: Tagungsband anlässlich des Statusseminars "Bodenbelastung und Wasserhaushalt", Projekt Nr. 26, Bonn.

- ENGELKE R., FABREWITZ S., LIETH H., PIEHLER H., 1989: Das agrarökologische Modell AÖM. - In: Beiträge der Arbeitsgruppe Systemforschung, Band 4, Osnabrück: 50-65.
- KRAMER M., 1991: Ein einzelbetrieblich basiertes Simulationsmodell der regionalen Agrarstrukturentwicklung, wird publiziert. - In: Schriftenreihe zur Angewandten Systemforschung, LIT-Verlag Münster, Band 1, Hrsg. LIETH, H., MEYER, B., WITTE, TH.
- KRAMER M., 1990: Die ökologischen Auswirkungen der Landnutzung in Abhängigkeit von der agrarstrukturellen Entwicklung.- Verhdlg. Ges. f. Ökologie (Osnabrück 1989), Band XIX/III.
- KRAMER M., THOBER B., 1989: Statusbericht der Arbeitsgruppe Systemforschung zum Projekt, Intensivlandwirtschaft und Nitratbelastung des Grundwassers im Landkreis Vechta. - Projekt Nr. 26.
- LANDKREIS VECHTA, 1987: Umweltschutz im Landkreis Vechta. - Vechta.
- LIETH H., WUTTKE G., 1989: Die Anwendung eines 3D-Modells zur Beschreibung des Nitrattransports im Grundwasser. - In: Beiträge der Arbeitsgruppe Systemforschung, Band 4, Osnabrück: 66-76.
- MAB-MITTEILUNGEN, 1983: Nr. 14, Hrsg. Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm, Bonn.
- MEISS K.-M., 1991: Landwirtschaft unter Preisdruck und die Auswirkung auf Anbau und Düngung.- Verhdlg. Ges. f. Ökologie (Osnabrück 1989), Band XIX/III: 493-498.
- PIEHLER H., 1990: Modellkonzept zur Gefährdungsabschätzung der Trinkwassergewinnung in Wasserschutzgebieten durch Nitrat. - In: Angewandte Systemforschung, Band 2, LIT-Verlag, Münster.

#### ADRESSE

Prof. Dr. Th. Witte  
 Universität Osnabrück  
 BWL/Produktion  
 Rolandstraße 8  
 D-W-4500 Osnabrück

Dr. Matthias Kramer  
 Universität Osnabrück  
 Arbeitsgruppe Systemforschung  
 Artilleriestraße 34  
 D-W-4500 Osnabrück

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [19 3 1991](#)

Autor(en)/Author(s): Witte Thomas, Kramer Matthias

Artikel/Article: [Ökologisch-ökonomische Modelle zur Beschreibung und Lösung von Konfliktfällen im Agrarraum 467-480](#)