



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

---

Sattler, C., Schuler, J., Zander, P.: Ökologisch-ökonomische Wirkungsanalyse landwirtschaftlicher Anbauverfahren auf regionaler Ebene und unter Verarbeitung unsicheren Wissens. In: Hagedorn, K., Nagel, U.J., Odening, M.: Umwelt- und Produktqualität im Agrarbereich. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 40, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (2005), S. 361-371.

---



# ÖKOLOGISCH-ÖKONOMISCHE WIRKUNGSANALYSE LANDWIRTSCHAFTLICHER ANBAUVERFAHREN AUF REGIONALER EBENE UNTER VERARBEITUNG UNSICHEREN WISSENS

*Claudia Sattler, Johannes Schuler und Peter Zander\**

## 1 Einleitung

Gegenwärtig erfahren die agrarpolitischen Rahmenbedingungen wesentliche Änderungen. Die weitere Liberalisierung des Agrarhandels wurde bereits vertraglich gesichert und so wird sich ein weiterer Abbau der Subventionen für die Landwirtschaft in den nächsten Jahren durchsetzen. Daher werden die bisherigen, historisch bedingten Transferzahlungen an die Landwirtschaft in Zukunft in immer stärkerem Umfang an die Umwelt-Leistungen der landwirtschaftlichen Praxis gebunden werden (BUCKWELL et al., 1997; EU-KOMMISSION, 2000). Dies erfordert eine Konkretisierung der Ziele, Techniken und Instrumente auf regionaler Ebene, um die Transferzahlungen den regionalen naturräumlichen Gegebenheiten anzupassen und übermäßige Renten bzw. Einkommenseinbußen für die Landwirtschaft zu vermeiden.

Das Konzept der Multifunktionalität der Landwirtschaft entwickelt sich dabei zu einem wirksamen Instrument der Organisation finanzieller Transfers in die Landwirtschaft, welches zwei Ziele vereinigt: 1. Förderung der Nachhaltigkeit und 2. Konformität mit den Abkommen der WTO. Die gezielte Förderung der Multifunktionalität erfordert jedoch umfangreiches Wissen über die komplexen Wechselwirkungen zwischen der landwirtschaftlichen Produktion und ihren Auswirkungen auf die Landschaftsfunktionen. Das vorhandene Wissen erfasst jedoch die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen landwirtschaftlichen Funktionen nur unzureichend. Obwohl viele Prozessmodelle spezielle Fragen sehr detailliert beantworten können (z.B. Nitrataustrag, Wassererosion etc.), liegen in anderen Bereichen, insbesondere der Biotik, große Wissenslücken bzgl. der Wechselwirkung mit der landwirtschaftlichen Landnutzung vor. Nach wie vor fehlen umfassende und integrierte Ansätze zur Bewertung der positiven und negativen Effekte landwirtschaftlicher Nutzungssysteme (CHRISTEN, 1999). Insbesondere die Integration unsicheren Wissens in die Entwicklung neuer Bewertungsansätze stellt eine neue wissenschaftliche Herausforderung dar.

Diese Arbeit wird ein auf der Fuzzy-Logik basierendes Werkzeug zur Abbildung von Umweltwirkungen vorstellen, das die Bewertung einer Vielzahl unterschiedlicher Produktionsverfahren im Hinblick auf ihre Wirkungen auf verschiedene biotische und abiotische Umweltqualitätsziele auf regionaler Ebene erlaubt. Das Verfahren ist in das Modellsystem MODAM (Multi Objective Decision Support Tool for Agroecosystem Management; ZANDER, 2003), (ZANDER und KÄCHELE, 1999) integriert, so dass ökonomische und ökologische Zielstellungen auf einzelbetrieblicher Ebene simultan betrachtet werden können. Der Ansatz basiert u.a. auf der Annahme, dass immer mehrere Alternativen zur Produktion eines bestimmten Gutes zur Verfügung stehen, die sich im Einsatz der unterschiedlichen Produktionsmittel unterscheiden und damit auch unterschiedliche Umweltwirkungen aufweisen.

---

\* Claudia Sattler, Johannes Schuler, Dr. Peter Zander, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF e.V.), Institut für Sozioökonomie, Eberswalder Str. 84, D-15374 Müncheberg, csattler@zalf.de

## 2 Methodik

### 2.1 Das Projekt und die Modellregion

Die hier vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des interdisziplinären Projektes GRANO<sup>1</sup> erstellt. Das Projekt hatte die Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung der Landwirtschaft zum Ziel (MÜLLER et al., 2000). Die für diese Arbeit ausgewählte Modellregion „Prenzlau-West“ liegt im Nordosten Brandenburgs und umfasst ca. 200 km<sup>2</sup>. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 550 mm. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 7,8°C. Die Landschaft der Region wird von der Landwirtschaft dominiert (70 %), 16 % sind Waldland und Forst und 11 % sind Infrastruktur und Siedlungen, während 3 % des Gebietes mit Wasser bedeckt sind. Die Landschaft weist aber auch wesentliche Anteile (7,3 %) schützenswürdiger Biotope auf (nach §32, BbgNatSchG).

### 2.2 Umweltqualitätsziele und Indikatoren

Im Rahmen des GRANO-Projektes wurde für die Modellregion „Prenzlau-West“ ein Katalog von Umweltqualitätszielen ausgearbeitet. Die Auswahl der Umweltqualitätsziele fand in einem iterativen und partizipativen Prozess statt und war das Ergebnis intensiver Diskussionen mit lokalen Akteuren aller Interessengruppen (ARZT et al., 2000; ARZT et al., 2002).

**Tabelle 1: Übersicht ausgewählter Umweltqualitätsziele und Indikatoren**

	Umweltmedien	Umweltqualitäts-Hauptziel*	Indikatoren	abgeleitete Umweltqualitäts-Unterziele
abiotisch	Wasser	Erhalt und Verbesserung der Gewässerqualität	Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )-Eintrag ins Grundwasser Nährstoffeinträge (N, P) in Oberflächengewässer Pestizideinträge ins Grund- und Oberflächengewässer Grundwasserneubildung	Schutz des Grundwassers vor Nitrat-einträgen Schutz von Oberflächengewässern vor Nährstoffeinträgen (N, P) Schutz von Grund- und Oberflächengewässern vor Pestizideinträgen Erhalt der Grundwasserneubildung
	Boden	Sicherung einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodennutzung	Wassererosion	Schutz des Bodens vor dem Abtrag durch Wassererosion
biotisch	Habitat & Biodiversität	Erhalt und Erhöhung der natürlichen Vielfalt und Verbesserung der Lebensraumfunktion in der Agrarlandschaft	Habitatqualität für die Feldlerche (bodenbrütende Feldvögel) Habitatqualität für den Feldhasen (typisches Säugetier der Agrarlandschaft) Habitatqualität für die Rotbauchunke (Amphibien) Habitatqualität von Schwebfliegen (blütenbesuchende Nutzinsekten) Habitatqualität von herbstkeimenden Ackerwildkrautfloren	Schutz der Feldlerche vor Verringerung der Lebensraumqualität Schutz des Feldhasen vor Verringerung der Lebensraumqualität Schutz der Rotbauchunke vor Verringerung der Lebensraumqualität Schutz von Schwebfliegen vor Verringerung der Lebensraumqualität Schutz von herbstkeimenden Ackerwildkrautfloren vor Verringerung der Lebensraumqualität

\* nach ARZT et al., 2000: 20

<sup>1</sup> GRANO (1998-2002): Ansätze für eine dauerhaft-umweltgerechte landwirtschaftliche Produktion: Modellgebiet Nordostdeutschland, gefördert vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung).

Für die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Anbauverfahren wurden die in diesem Prozess ausgewählten Umweltqualitäts-Hauptziele mit Einzel-Indikatoren und entsprechenden Unterzielen weiter untersetzt (Tabelle 1). Als biotische Indikatoren wurden z.T. einzelne Arten (z.B. die Feldlerche), aber auch Artengruppen (z.B. Schwebfliegen) ausgewählt, die jedoch als Repräsentanten für verschiedene Artengruppen dienen können (z.B. die Feldlerche für bodenbrütende Feldvögel oder die Schwebfliegen für blütenbesuchende Nutzinsekten) und so einen gewissen Leitartencharakter aufweisen.

### **2.3 Das Modellsystem MODAM**

Das Modellsystem lässt sich in drei hierarchisch verknüpfte Ebenen gliedern (ZANDER, 2003). Auf der ersten, deskriptiven Ebene werden die Produktionsaktivitäten, Standorte und die Ziele der Optimierung beschrieben. Standortspezifische Anbauverfahren werden in einer bestimmten Detailliertheit und Struktur zusammengestellt, was die ökonomischen und ökologischen Partialanalysen der zweiten Ebene ermöglicht. Die zweite Ebene liefert mittels einer Reihe statisch deterministischer Analysemodule die ökonomischen Kosten und Nutzen und die ökologischen Potenziale und Risiken der Anbauverfahren. Letztere bilden die Basis der ökologischen Nebenziele im Betriebsmodell der dritten Ebene. Auf der dritten Ebene, der integrierten Analyse, werden die technischen, ökonomischen und ökologischen Koeffizienten zusammen mit den betrieblichen Kapazitäten an den LP-Generator übergeben, der ein gemischt ganzzahliges, lineares Programmierungsmodell erstellt, das ökologische Ziele als Nebenbedingungen beinhaltet. Das statische oder dynamische Betriebsmodell optimiert das ökonomische Ziel „Gesamtdeckungsbeitrag“ und berücksichtigt dabei ökologische Ziele als Restriktionen.

Das ökologische Bewertungsmodell wird als integraler Bestandteil des Modellsystems MODAM ausgeführt, um eine multikriterielle ökonomische und ökologische Analyse zu ermöglichen. Das gesamte Werkzeug zur Abschätzung der Umweltwirkungen von Anbauverfahren besteht aus einzelnen Fuzzy-Logik-basierten Modulen für jeden Indikator, die wiederum in Submodule strukturiert sind, um maximale Transparenz zu erzielen. Die Fuzzy-Module werden mit Hilfe der Software MATLAB (MATH WORKS) implementiert, während die Automatisierung des Datenflusses zwischen MATLAB und den übrigen in ACCESS (MICROSOFT) programmierten MODAM-Modulen sowie dem GIS (ArcView und ArcInfo; ESRI) mit Hilfe der Software Perl (O'REILLY) erfolgt.

### **2.4 Unsicheres Wissen und Datenqualität**

Wie oben erwähnt, sind die Kenntnisse um die komplexen Wechselwirkungen zwischen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren und ihren Wirkungen auf die Umwelt begrenzt und meist mit verschiedenen Unsicherheiten behaftet. (HERZOG, 2002) unterscheidet drei Typen von Unsicherheit: informelle (epistemisch), linguistische (lexikalisch) und stochastische Unsicherheit. Die informelle Unsicherheit bezieht sich auf fehlende, unvollständige oder inkonsistente Informationen. Linguistische Unsicherheit bezeichnet die Schwierigkeit sprachlicher Formulierungen wie „diese Maßnahme hat eine große Wirkung“ zu interpretieren. Im Hinblick auf stochastische Unsicherheit können Wahrscheinlichkeiten genutzt werden, um Aussagen über zukünftige Situationen zu erlauben. Die Art der Unsicherheit berührt auch die Datenqualität und die Modellentwicklung. Dabei können Daten quantitativer oder qualitativer (nominal, ordinal) Art sein.

### **2.5 Fuzzy-Logik**

Die Fuzzy-Logik ist eine Methodik, die es erlaubt, alle Arten unsicheren Wissens in die Modellierung einzubeziehen. Das Konzept wurde aus der klassischen Mengenlehre und der binären Logik entwickelt (ZADEH, 1965). Während die binäre Logik immer eine eindeutige Information voraussetzt, erlaubt die Fuzzy-Logik auch unscharfe Aussagen wie z.B. „Diese

Person ist groß“. In solchen Fällen nicht weiter spezifizierbarer Aussagen liefert die binäre Logik unbefriedigende Ergebnisse (CORNELISSEN, 2003), während die Fuzzy-Logik die Berücksichtigung der Zwischentöne zwischen den Extremen ‚wahr‘ und ‚falsch‘ oder ‚ja‘ und ‚nein‘ erlaubt. So muss die binäre Logik eine feste Grenze zwischen den Aussagen groß und klein ziehen: z.B. Personen größer als 1,80 m sind groß und Personen kleiner oder gleich 1,80 m sind klein. Die Fuzzy-Logik ermöglicht hingegen weiche Übergänge, d.h. die Aussage „Die Person ist groß“ trifft mit zunehmender Körpergröße immer stärker zu, während die Aussage „Die Person ist klein“ immer weniger zutrifft. Diese Zusammenhänge werden mit sogenannten Zugehörigkeitsfunktionen beschrieben.

Die Bewertung der Anbauverfahren im Hinblick auf ihre ökologischen Wirkungen basiert auf einer Reihe von Parametern der Anbauverfahren, die jeweils mit Hilfe einer eigenen Zugehörigkeitsfunktion bewertet werden. Die Ergebnisse der Einzelbewertung werden mit Hilfe der Operatoren ‚UND‘, ‚ODER‘ bzw. einem kompensierenden Operator (LUTZ und WENDT, 1998) paarweise miteinander kombiniert, je nach dem, ob die Parameter einander in der Gesamtbewertung ausgleichen oder verstärken. Irreversible Effekte (OLDHAM et al., 1993) sind bspw. nicht kompensierbar.

Fuzzy-Logik wurde in einer Vielzahl von Arbeiten zur Bewertung von Einzelindikatoren im Bereich der Nachhaltigen Entwicklung angewendet, z.B. zur Bewertung von Tierhaltungsverfahren (CORNELISSEN, 2003), zur Kalkulation von Nitratauswaschung (MERTENS und HUWE, 2002), zur Modellierung von Bodenerosion (MITRA et al., 1998) oder zur Bewertung der Umwelteffekte von Pestizidanwendungen (WERF und ZIMMER, 1998). Ein Überblick über insgesamt 12 verschiedene, Indikator-basierte Ansätze (einige von ihnen mit Fuzzy-Ansätzen) findet sich bei WERF und PETIT (2002).

## **2.6 Schema der Umweltbewertung**

Die Bewertung der Umweltwirkung der landwirtschaftlichen Anbauverfahren erfolgt in drei Schritten:

- der Bewertung der Anbauverfahren,
- der Bewertung der standortspezifischen Potenziale (z.B. das Eignungspotenzial des Standorts als Habitat für bestimmte Arten der Flora und Fauna etc. oder das Risikopotenzial des Standorts z.B. hinsichtlich Wassererosion, Nitrataustragsgefährdung etc.)
- und der Bewertung aller möglichen Standort-Verfahrenskombinationen.

Das Ergebnis der Bewertung ist im Allgemeinen ein dimensionsloser Index der Zielerreichung (ZEG), ein Wert zwischen 0 und 1. Dabei weist ein Wert von 0 auf eine minimale und ein Wert von 1 auf eine maximale Eignung zur Erreichung eines bestimmten Umweltzieles hin. In einigen Fällen können diese Indexwerte an quantitative Modelle gekoppelt werden und erlauben so, wie im Fall der Wassererosion, auch quantitative Aussagen.

## **2.7 Expertenwissen**

Die Entwicklung der Bewertungsmodelle mit Hilfe der Fuzzy-Logik erfolgt auf der Basis von Expertenwissen und Literatur-Recherchen in 3 Phasen: 1. Auswahl der Bewertungsparameter, 2. Entwicklung von Zugehörigkeitsfunktionen für jeden der Bewertungsparameter und 3. Kombination der Einzelbewertungen zu einem Gesamtergebnis über die Formulierung von Regelwerken. Die Einbindung von Experten in die Entwicklung des Bewertungsmodells erfolgt in einem iterativen Prozess, der mit der schnellen Entwicklung eines Prototyps des Bewertungsmodells beginnt (GOTTLOB et al., 1990). Der entwickelte Prototyp wird in der Folge schrittweise mit Hilfe des Feedbacks der Experten verbessert (REIF, 2000).

### 3 Ergebnisse

Das Modellsystem MODAM umfasst bereits eine große Anzahl von Produktionsverfahren für Ackerbau, Grünland und Tierhaltung, die mit Hilfe der relationalen Datenbank im Detail beschrieben sind. Relevant für diese Arbeit sind nur die ackerbaulichen Anbauverfahren, von denen die Datenbank gegenwärtig mehr als 1200 verschiedene Varianten für ca. 25 Fruchtarten und 4 Ackerzahlklassen für die klimatischen Verhältnisse Nordostdeutschlands vorhält. Jedes dieser Verfahren umfasst genaue Beschreibungen der einzelnen Aktivitäten, für die Aufwendungen und Ertragserwartungen standortspezifisch aufgeführt sind. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse basieren auf diesen Anbauverfahren.

#### 3.1 Bewertung der Anbauverfahren - alle Indikatoren

Das Ergebnis des ökologischen Bewertungsmodells zeigt je Anbauverfahren und für jedes Umweltqualitätsziel einen Indexwert, der die Eignung des Anbauverfahrens angibt, ein bestimmtes Umweltqualitätsziel zu erreichen (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Zielerreichungsgrad (ZEG) für die Standard-Anbauverfahren der wichtigsten Anbaukulturen in der Modellregion**

	Silomais	Stilllegung	Triticale	Wintergerste	Wintererbsen	Winterroggen	Winterweizen	Zuckerrüben
Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen	0,62	0,81	0,80	0,80	0,53	0,78	0,70	0,60
Schutz von Oberflächengewässern vor Nährstoffeinträgen (N, P)	0,38	1,00	0,66	0,65	0,58	0,67	0,65	0,55
Schutz von Grund- /Oberflächengewässern vor Pestizideinträgen	0,83	0,94	0,70	0,53	0,56	0,66	0,38	0,61
Erhalt der Grundwasserneubildung	0,71	0,03	0,65	0,60	0,65	0,60	0,65	0,73
Schutz des Bodens vor dem Abtrag durch Wassererosion	0,39	1,00	0,68	0,92	0,80	0,92	0,68	0,39
Schutz der Rotbauchunke vor Verringerung der Lebensraumqualität	0,40	0,92	0,38	0,33	0,20	0,34	0,28	0,23
Schutz der Feldlerche vor Verringerung der Lebensraumqualität	0,56	0,84	0,52	0,40	0,27	0,52	0,37	0,32
Schutz des Feldhasen vor Verringerung der Lebensraumqualität	0,48	0,95	0,55	0,53	0,44	0,56	0,50	0,47
Schutz der Schwebfliege vor Verringerung der Lebensraumqualität	0,60	0,84	0,59	0,47	0,33	0,60	0,46	0,43
Schutz von Ackerwildkräutern (Herbstkeimer) vor Verringerung der Lebensraumqualität	0,42	0,73	0,55	0,44	0,23	0,56	0,41	0,28

Anmerkung: Standard-Anbauverfahren = integrierter Anbau, Bodenbearbeitung mit dem Pflug, keine Zwischenfrüchte oder Untersaaten. Ein ZEG nahe 0 entspricht einem geringen, ein ZEG nahe 1 einem hohen Beitrag zur Erreichung des betrachteten Umweltqualitätszieles.

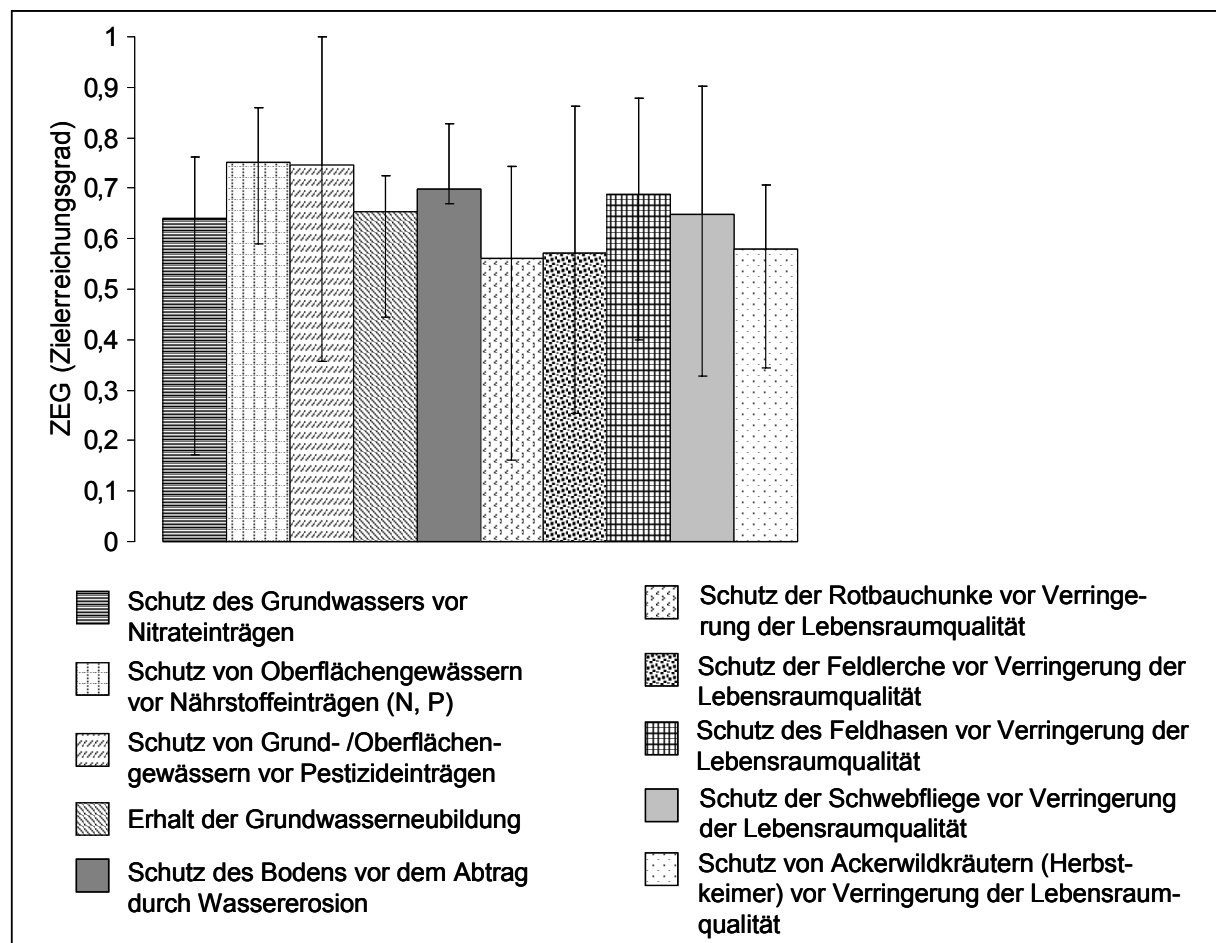
Stilllegungen werden, insbesondere im Hinblick auf die biotischen Umweltziele, sehr günstig bewertet, was auf die geringe Anzahl an Arbeitsgängen und das daher nur geringe Störungspotenzial zurückzuführen ist. Aufgrund der guten Bodenbedeckung liefern sie jedoch nur einen geringen Beitrag zur Grundwasserneubildung. Die Nitratintragsgefährdung ins Grundwasser ist ebenfalls unter Stilllegungen sowie den Getreidearten am geringsten, während Wintererbsen mit dem höchsten N-Düngungsniveau das schlechteste Ergebnis erzielt. Silomais mit hohen N- als auch P-Gaben führt zu den höchsten Nährstoffeinträgen in Gewässer und damit dem geringsten Zielerreichungsgrad (ZEG) in Bezug auf die Nährstoffeintragsgefährdung von Gewässern. Hinsichtlich der Pestizidbelastung von Gewässern zeigt Weizen mit



vier Pestizidanwendungen im Gegensatz zu Silomais mit einer und Stilllegung ohne Pestizidanwendungen die höchste Gefährdung. Eine relativ hohe Grundwasserneubildung wird v.a. durch die Reihenfrüchte (Zuckerrüben, Silomais) erzielt, da hier von einer erhöhten Infiltrationsrate von Regenwasser zwischen den Reihen ausgegangen wird. Neben Stilllegungen eignen sich auch die Kulturen Wintergerste und Winterroggen, aufgrund der hohen Bodenbedeckung im Jahresverlauf, gut zur Verminderung der Wassererosion. Das höchste Gefährdungspotenzial für Amphibien weisen Raps und Zuckerrüben auf, deren Anbau sich durch eine hohe Anzahl von Arbeitsgängen innerhalb der Wanderungszeiträume auszeichnet. Die beste Eignung für die Feldlerche zeigen Stilllegungen, gefolgt von Silomais, der ein geringes Störungspotenzial hat und der keine Insektizidbehandlung vorsieht (Insekten stellen die Hauptnahrungsquelle für die Vögel im Sommer dar). Für den Schutz des Feldhasen weisen aufgrund der geringen Anzahl an Arbeitsgängen im Frühjahr wiederum Stilllegungen sowie Roggen, Triticale und Gerste die höchste Vorzüglichkeit auf. Aus dem gleichen Grund werden die besten Ergebnisse für Schwebfliegen bei Stilllegung, Roggen, Silomais und Triticale ermittelt. Durch die Anzahl der Herbizidanwendungen erzielen Raps und Zuckerrüben den geringsten ZEG beim Schutz der Ackerwildkrautflora.

Da aber je Kultur nicht nur das Standard-Anbauverfahren, sondern auch verschiedene Anbaualternativen (z.B. Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung, Verringerung des Düngungsni-veaus) bewertet wurden, kann der ZEG je Kultur, wie für Winterweizen in Abbildung 1 dargestellt, erheblich variieren.

**Abbildung 1: Mittel-, Maximal- und Minimalwert des ZEG für alle Anbauverfahren von Winterweizen**



### 3.2 Bewertung des Standortpotenzials am Beispiel „Wassererosion“

Das standörtliche Gefährdungspotenzial für Wassererosion<sup>2</sup> wurde mit der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG):  $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$  mit für die Region angepassten Faktoren unter Anwendung eines digitalen Geländemodells bestimmt (DEUMLICH et al., 2001). Dabei ist  $A$  der durchschnittliche jährliche potenzielle Bodenabtrag (t/ha) durch Wassererosion,  $R$  der Regen- und Oberflächenabflussfaktor,  $K$  der Bodenerodierbarkeitsfaktor,  $LS$  der Hanglängen- und Hangneigungsfaktor,  $C$  der Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor und  $P$  der Erosionsschutzfaktor (SCHWERTMANN et al., 1987). Für jeden Standort kann die Varianz der potenziellen Bodenabträge unter verschiedenen Kulturen durch Einsetzen der entsprechenden kulturabhängigen  $C$ -Faktoren errechnet werden.

### 3.3 Bewertung der Standort-Verfahrenskombinationen für „Wassererosion“

Um alle Anbauverfahren auf allen Standorten im Hinblick auf Wassererosion bewerten zu können, werden zunächst alle möglichen Standort-Verfahrenskombinationen gebildet. Im Fuzzy-Modell wird der kalkulierte potenzielle Bodenabtrag je Kultur aus dem quantitativen Standortmodell dem Standard-Anbauverfahren zugeordnet, um das Modell zu kalibrieren. Mit dem kalibrierten Modell können auch die modifizierten Bodenabtragswerte für alle Alternativverfahren je Kultur abgeschätzt werden.

### 3.4 Integration der ökologischen und ökonomischen Bewertung

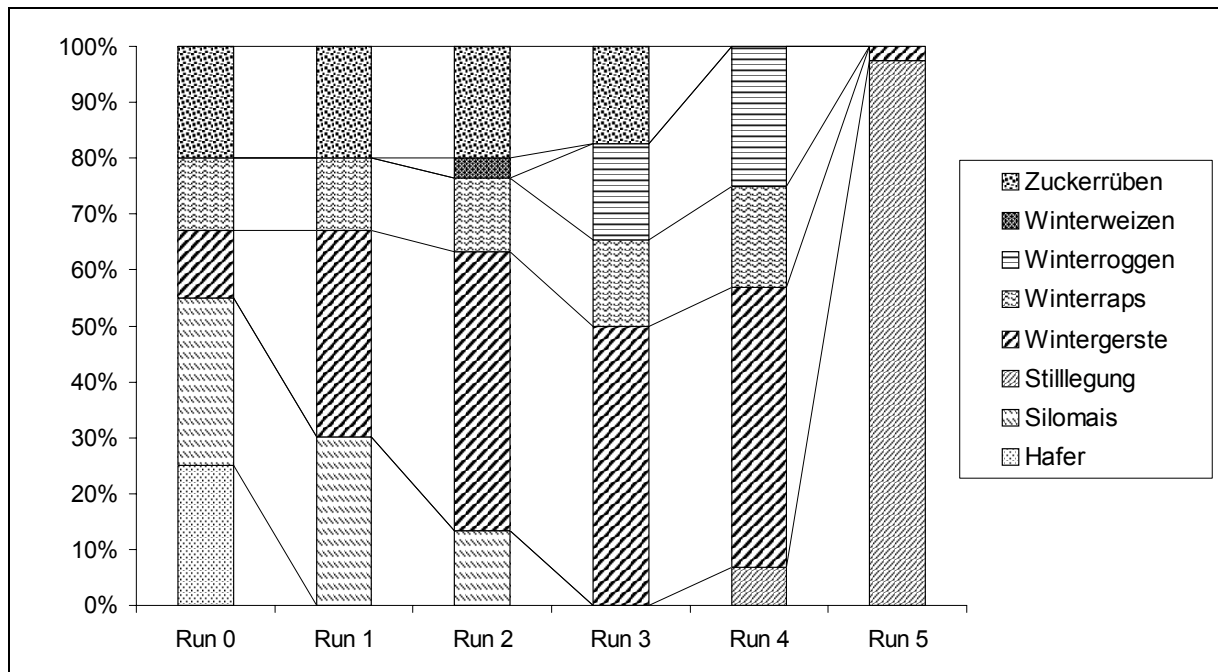
Die integrierte ökologisch-ökonomische Bewertung betrachtet die Modellregion als Regionshof, dessen betriebliche Organisation mit Hilfe der linearen Programmierung (LP) unter der Annahme ökonomisch rationalen Verhaltens simuliert werden kann. Die LP-Matrix kann für eine beliebige Anzahl von Standorten und Verfahren generiert werden (ZANDER, 2003; KÄCHELE, 1999). Zielfunktion ist die Maximierung des gesamtbetrieblichen Deckungsbeitrages. Umweltziele werden als zusätzliche Restriktionen formuliert. Mit Einführung von ökologischen Restriktionen ist das Modell gezwungen, aus den vorhandenen Anbaualternativen eine Anbaustruktur zu erstellen, welche die Restriktionen bei gleichzeitiger Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrags erfüllt. Da die Restriktionen auf gesamtbetrieblicher Ebene formuliert wurden, ergeben sich auf Betriebs- bzw. Regionshofebene Kompensationsmöglichkeiten. So z.B., wenn gesamtbetriebliche Gewinneinbußen vermieden werden, indem kritische Verfahren bzw. Kulturen mit hohem Deckungsbeitrag nur auf den weniger sensiblen Flächen angebaut werden. Im Folgenden werden einige Ergebnisse zum Indikator „Wassererosion“ präsentiert.

Abbildung 2 zeigt, wie sich das Anbauspektrum auf den stark gefährdeten Flächen mit zunehmender Verschärfung der Restriktionen verändert, wenn der potenzielle Bodenabtrag auf diesen Flächen in 5 Schritten nahezu auf Null verringert werden soll.

---

<sup>2</sup> Das standörtliche Wassererosionsgefährdungspotenzial (nach der ABAG) gibt den durchschnittlichen Bodenabtrag an, wenn die Witterungsverhältnisse dem Durchschnitt der letzten 20 Jahre entsprechen. Der aktuelle Bodenabtrag kann aber in Abhängigkeit von den tatsächlichen Witterungsbedingungen von diesem erheblich abweichen.

**Abbildung 2: Anbauverteilung auf den besonders erosionsgefährdeten Flächen (2,7 % der gesamten Ackerfläche) bei schrittweiser Verschärfung der Restriktionen hinsichtlich des “geduldeten” Bodenabtrags.**



Anmerkung: Run 0 repräsentiert den Startpunkt (keine Restriktionen). Von Run 1-5 werden die Restriktionen kontinuierlich verschärft.

Von Run 0 zu 4 werden die Kulturen mit geringerer Eignung zur Verminderung von Wassererosion, wie z.B. Zuckerrüben und Silomais (beides Reihenfrüchte mit langsamer Vegetationsentwicklung) schrittweise reduziert, während geeignetere Kulturen zunehmen (wie Wintergerste oder -roggen). Um einen potenziellen Bodenabtrag nahe Null zu erreichen, werden fast alle hoch gefährdeten Flächen stillgelegt. Von Run 0 zu Run 5 nimmt der kalkulierte potenzielle Bodenabtrag auf den Flächen mit der höchsten Wassererosionsgefährdung von 277 t auf 0,12 t ab. Gleichzeitig verringert sich der Gesamtdeckungsbeitrag für den Gesamtbetrieb nur äußerst geringfügig um 0,06 % (absolut um 48.039 €). Dies kann einerseits damit erklärt werden, dass auf gesamtbetrieblicher Ebene Verfahren mit dem Pflug durch kostengünstigere pfluglose Varianten ersetzt werden (Einsparung an Kraftstoff und Arbeitszeit). Andererseits wurden die Restriktionen nur für die hoch gefährdeten Flächen (2,7 % der Ackerfläche) formuliert, so dass das Modell genügend Spielraum hat, Verfahren mit hohem Deckungsbeitrag, aber geringer ökologischer Eignung auf weniger wassererosionsgefährdete Flächen umzuverteilen. Die geringen Kosten eines hohen Erosionsschutzes sind sicherlich auch methodisch durch den Ansatz des Regionshofes bedingt, der weitgehende Kompensationen erlaubt. Das Beispiel zeigt dennoch, dass eine ökologische Optimierung nicht immer mit hohen ökonomischen Verlusten verbunden sein muss, wenn eine entsprechend hohe Zielgenauigkeit der Maßnahmen erreicht werden kann. Für andere Indikatoren, insbesondere die biotischen, können Gewinneinbußen nicht immer vermieden werden, da hier v.a. die Verfahren mit verringertem Düngungs- und Pflanzenschutzmittelniveau als besser eingeschätzt werden, diese aber i.d.R. auch mit geringeren Erträgen verbunden sind.

## 4 Diskussion

Ein Vorteil des Fuzzy-Logik-basierten Ansatzes zur Abschätzung von Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Anbauverfahren ist die Möglichkeit, unsicheres Wissen einbeziehen und unscharfe linguistische Ausdrücke in eine computerlesbare Sprache übersetzen zu können. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn keine präzisen Informationen verfügbar sind. Insgesamt erfordert der Ansatz relativ wenige Daten und kann im Vergleich zu Prozessmodellen relativ schnell für eine Vielzahl von Indikatoren umgesetzt werden. Der zeitaufwendigste Teil der Modellentwicklung entfällt auf die Erhebung des notwendigen Wissens aus der Literatur oder über Experten. Schwierigkeiten bei Experten können nach WIELINGA und BREUKER (1984) z.B. dadurch auftreten, dass einige Informationen als offensichtlich eingeschätzt und nicht explizit erwähnt werden, v.a. bildhaftes Wissen nicht leicht sprachlich ausgedrückt werden kann, Wissen z.T. unbewusst sein kann und dass ein Experte nicht sein gesamtes Wissen preisgeben möchte, um seinen „Wissensvorsprung“ zu erhalten (zit. in PUPPE, 1988).

Der Ansatz ist gut auf andere Regionen übertragbar, wenn die ausgewählten Indikatoren und Umweltqualitätsziele möglichst unter Beteiligung regionaler Akteure überprüft wurden und die einzelnen Bewertungsmodule bei Bedarf überarbeitet werden.

Ein Nachteil des Ansatzes ist, dass die Ergebnisse sehr schwer zu validieren sind. Die Modellentwicklung sieht mehrere Feedbackzyklen vor und wird beendet, wenn die Ergebnisse plausibel erscheinen und sich mit den Erwartungen von Experten oder beobachteten realen Ergebnissen decken. Obwohl quantitative Aussagen möglich sind, wenn die Standortpotenziale quantitativ abgeschätzt werden, sind sie schwierig für jeden Indikator zu erarbeiten. Schließlich ist der Ansatz statisch, d.h. alle Standort-Verfahrenskombinationen werden als Punkte in Zeit und Raum abgebildet. Zeitabhängige oder räumliche Wechselbeziehungen können nur sehr begrenzt berücksichtigt werden.

Statische Ansätze zur Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsabläufe (basierend auf den MODAM-Verfahren) anhand von Umweltindikatoren wurden bspw. auch von MEYER-AURICH (2001) und STACHOW et al. (2003) verwendet. In der ersten Arbeit wurden Verfahren des Integrierten Anbaus für insgesamt 7 Umweltqualitätsziele bewertet. In der zweiten Studie waren nur biotische Indikatoren Gegenstand der Untersuchung, untersucht wurden sowohl Verfahren des integrierten als auch ökologischen Landbaus. Als Ergebnis wurde die Habitatqualität von Ackerflächen in 5 Klassen von „sehr ungeeignet“ bis zu „sehr geeignet“ angegeben. Beide Studien waren nicht daraufhin ausgelegt, unsicheres Wissen zu verarbeiten, lieferten jedoch wertvolle Anknüpfungspunkte für die Erarbeitung dieses Ansatzes.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Integration des Fuzzy-Logik-basierten Bewertungstools für 10 verschiedene Umweltindikatoren in das Modellsystem MODAM ermöglicht es im Rahmen der Ermittlung der optimalen Betriebsorganisation, aus einer gegebenen Anzahl alternativer Anbauverfahren diejenigen zu ermitteln, die zur Erreichung bestimmter Umweltziele besonders geeignet erscheinen. Insgesamt können die Ergebnisse wertvolle Informationen für die Nachhaltigkeitsdiskussion liefern. Ökologische Restriktionen müssen nicht immer mit ökonomischen Verlusten für den Landwirt verbunden sein, insbesondere dann nicht, wenn sie sich auf die besonders sensiblen Flächen beschränken lassen. Hierzu sind jedoch weitere Untersuchungen zu den Transaktionskosten der Umsetzung entsprechend präziser, d.h. nur die sensitiven Flächen betreffender Instrumente notwendig.

## Literatur

- ARZT, K., E. BARANEK, J. EGGERS, U. FISCHER-ZUJKOW, J. GEWALTER, K. HAGEDORN, K.P. MÜLLER, U. PETERS, R. SCHMIDT, J. SCHULER, S. TEIGELER und H.-P. WEIKARD (2000): Projektbereich 1: Dezentrale Bewertungs- und Koordinationsmechanismen. In: Müller, K. et al. (Hrsg.): Nachhaltige Landnutzung im Konsens - Ansätze für eine dauerhaft-umweltgerechte Nutzung der Agrarlandschaften in Nordostdeutschland. Focus Verlag, Gießen: 21-45.
- ARZT, K., E. BARANEK, C. BERG, K. HAGEDORN, J. LEPINAT, K. MÜLLER, U. PETERS, T. SCHATZ, C. SCHLEYER, R. SCHMIDT, J. SCHULER und I. VOLKMANN (2002): Projektbereich 1: Dezentrale Bewertungs- und Koordinationsmechanismen. In: Müller, K. et al. (Hrsg.): Nachhaltigkeit und Landschaftsnutzung. Neue Wege kooperativen Handelns. Margraf Verlag, Weikersheim: 29-45.
- BUCKWELL, A., J. BLOOM, P. COMMINS, M. HOFREITHER, H. VON MEYER, E. RABINOWICZ, F. SOTTE, and J.M. SUSPI VINAS (1997): Towards a Common Agricultural Policy for Europe. Eu-Kommission, Brüssel. In: [http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/buck\\_en/cover.htm](http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/buck_en/cover.htm).
- CHRISTEN, O. (1999): Nachhaltige Landwirtschaft. Von der Ideengeschichte zur praktischen Umsetzung. ilu-Schriftenreihe, H. 1. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- CORNELISSEN, A. M. G. (2003): Two Faces of Sustainability. Fuzzy Evaluation of Sustainable Development. 1-184. Thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- DEUMLICH, D., J. THIÈRE, H.-I. REUTER und L. VÖLKER (2001): Einzugsgebietsbezogene Standortanalyse für Boden- und Gewässerschutz (Uecker). Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 96. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Göttingen: 481-482.
- EUROPEAN COMMISSION (2000): Agriculture's contribution to environmentally and culturally related non-trade concerns. International Conference on Non-Trade Concerns in Agriculture. Session 4. In: [http://europa.eu.int/comm/agriculture/external/wto/document/nor2\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/agriculture/external/wto/document/nor2_en.pdf).
- ESRI – Webpages: <http://www.esri.com>
- GOTTLOB, G., T. FRÜHWIRT und W. HORN (1990): Expertensysteme. Springer, Wien.
- HERZOG, C. (2002): Das Methodenpaket IeMAX mit dem Fuzzy-Simulationsmodell FLUCS. Entwicklung und Anwendung eines Entscheidungsunterstützungssystems für die integrative Raumplanung. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- KÄCHELE, H. (1999): Auswirkungen großflächiger Naturschutzprojekte auf die Landwirtschaft. Ökonomische Bewertung der einzelbetrieblichen Konsequenzen am Beispiel des Nationalparks "Unteres Odertal". In: Agrarwirtschaft. Sonderheft 163.
- LUTZ, H. und W. WENDT (1998): Taschenbuch der Regelungstechnik. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main.
- MATH WORKS -Webpages: <http://mathworks.com>.
- MERTENS, M. and B. HUWE (2002): FuN-Balance: a fuzzy balance approach for the calculation of nitrate leaching with incorporation of data imprecision. In: Geoderma 109 (3-4): 269-287.
- MEYER-AURICH, A. (2001): Entwicklung von umwelt- und naturschutzgerechten Verfahren der landwirtschaftlichen Landnutzung für das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Agrarökologie, Band 41. Verlag Agrarökologie, Bern, Hannover.
- MICROSOFT – Webpages: <http://www.microsoft.com>.
- MITRA, B., H.D. SCOTT, J.C. DIXON and J.M. MCKIMMEY (1998): Applications of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed. In: Geoderma 86: 183-209.
- MÜLLER, K., V. TOUSSAINT, H.-R. BORK, K. HAGEDORN, J. KERN, U.J. NAGEL, J. PETERS, R. SCHMIDT, T. WEITH, A. WERNER, A. DOSCH und A. PIORR (2002): Nachhaltigkeit und Landschaftsnutzung. Neue Wege kooperativen Handelns. Margraf Verlag, Weikersheim.
- OLDHAM, R.S., D.M. LATHAM, D. HILTON-BROWN and J.G. BROOKS (1993): The Effect of Agricultural Fertilizers on Amphibians. The Toxicity of ammonium nitrate, the persistence of fertilizer granules, the effect of organic manure, the wider implication of fertilizer impact. De Montfort University.

- O'REILLY – Webpages: <http://www.oreilly.com>.
- PUPPE, F. (1988): Einführung in Expertensysteme. Studienreihe Informatik. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.
- REIF, G. (2000): Moderne Aspekte der Wissensverarbeitung. Ein interaktiver Lernbehelf für das Web Based Training. Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz, Institut für Informationsverarbeitung und Computergestützte neue Medien (IICM), Graz.
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL und M. KAINZ (1987): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- STACHOW, U., J. HUFNAGEL, M. GLEMNITZ, G. BERGER, J. BACHINGER, P. ZANDER and C. SATTLER (2003): Indicators of Landscape Functions Related to Modifications and Patterns of Agricultural Systems. In: Agricultural impacts on landscapes; developing indicators for policy analysis. Proceedings from the NIJOS/OECD Expert meeting on Agricultural Landscape Indicators, 7th - 9th October 2002, Olso, Norway: 209-221
- WERF, H. v. d. and C. ZIMMER (1998): An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. In: Chemosphere 36: 2225-2249.
- WERF, H. v. d. and J. PETIT (2002): Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. In: Agriculture Ecosystems and Environment 93 (1-3): 131-145.
- WIELINGA, B. and J. BREUKER (1984): Interpretation of Verbal Data for Knowledge Acquisition, ECAI 84: 41-50.
- ZADEH, L.A. (1994): The Role of fuzzy logic in Modeling, Identification and Control. In: Modeling Identification and Control 15 (3): 191-203.
- ZANDER, P. and H. KÄCHELE (1999): Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. In: Agricultural Systems 59 (3): 311-325.
- ZANDER, P. (2003): Agricultural Land Use and Conservation Options - a Modelling Approach. Dissertation University of Wageningen.