

# Beurteilung der Auswirkungen von ÖPUL-Maßnahmen auf Ertrag und N-Austrag im Marchfeld

P. LIEBHARD und F. SINABELL

## 1. Einleitung und Problemstellung

Die Intensivierung in der Landwirtschaft in den vergangenen fünf Jahrzehnten führte zu einer wesentlichen Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Vor allem die Zufuhr großer Mengen Wirtschafts- und mineralischer Stickstoffdünger erhöhte die Menge an organisch gebundenem Stickstoff im Boden und damit auch die Menge an mineralisierbarem Nitratstickstoff.

In Bodennutzungssystemen mit hoher Gülle- und Mineraldüngung werden überwiegend hohe Erträge erzielt, gleichzeitig steigt aber die Gefahr des Stickstoffaustrages ins Grundwasser. Vor allem in der Jungpflanzenphase und in den Zwischenbrachezeiten nach der Ernte der Feldfrüchte ist die Gefahr einer Auswaschung von Nitrat im Boden (dem mineralisierten Nitrat aus Bodenvorrat) mit dem Sickerwasser hoch.

Durch die hohe Produktivität derzeitiger Agrarökosysteme verändern sich auch die Bilanzgrößen des Wasserhaushaltes. Mit den höheren Erträgen (wesentlich höhere Gesamtbioassebildung) steigt über die Transpiration der Wasserverbrauch der Nutzpflanzen wesentlich an, sodaß im Mittel der Jahre weniger Sickerwasser anfällt. Geringere Sickerwassermengen führen bei hohen mineralisierten Nitratmengen im Boden zu den bekannt hohen Nitratkonzentrationen im Grundwasser.

Der jüngste Gewässerschutzbericht (BMLF und BMJUF, 1999) zeigt, daß in Österreich von 150 zusammenhängenden Grundwassergebieten (mit einer Fläche von 1,290,000 ha) in 36 Grundwassergebieten (550,000 ha) für mindestens 1 Parameter potentiell gefährdet und in 11 Gebieten (auf 170,000 ha) als voraussichtlich gefährdet eingestuft werden. Diese Daten verdeutlichen, daß nicht nur

aufgrund der Gesetzeslage sondern auch im Eigeninteresse der Landwirtschaft dem vorbeugenden und nachhaltigen Schutz unseres Grundwassers ein besonders hoher Stellenwert einzuräumen ist.

Freiwillige Agrar-Umweltprogramme, wie sie seit dem Beitritt Österreichs zur EU im Jahr 1995 verstärkt als Instrument der Agrarpolitik eingesetzt werden, können dazu einen wertvollen Beitrag leisten. Wie groß dieser Beitrag tatsächlich ist, kann nur durch eine Schätzung erfolgen. Es ändern sich zu viele Variable gleichzeitig, was die Feststellung einer einfachen Kausalbeziehung zwischen Programmeinführung und Änderungen von Nitratmesswerten im Grundwasser unmöglich macht.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, der die Wirkung gewässerschonender Agrar-Umweltmaßnahmen auf die Qualität des Grundwassers in der Projektregion Marchfeld exemplifiziert. Im Detail werden die im ÖPUL 95 implementierten grundwasserrelevanten Maßnahmen untersucht. Zur Bewältigung der Fragestellung waren folgende Zusammenhänge einzubinden: Klimabedingungen, Bodenbedingungen, Bewirtschaftungsmaßnahmen, N-Dynamik sowie Reaktion der Landwirte auf ökonomische Anreize zum Gewässerschutz. Die Bearbeitung dieser Problemfelder benötigt aufgrund der Vernetzung im System und der hohen Standortspezifität die Notwendigkeit von Simulationsrechnungen. Dazu wurden erstmals in Österreich physikalische und ökonomische Modelle integriert. Damit war es möglich, einerseits das Verhalten von Landwirten auf Änderungen von ökonomischen Anreizen zu erfassen und die entsprechenden Auswirkungen in der Umwelt - gemessen am Parameter Nitrat auswaschung - zu beurteilen. Die Ergebnisse in der Abbildung beschränken sich dabei nicht bloß auf die quali-

tative Beschreibung der Kausalzusammenhänge, sondern umfassen auch die Quantifizierung dieser Effekte.

## 2. Modelle, Daten und Methoden

Im vorgestellten interdisziplinär angelegten Projekt wurden zwei bestehende physikalische Modelle mit einem neu entwickelten ökonomischen Verhaltensmodell verknüpft. Bei den beiden physikalischen Modellen handelt es sich um SIMWASSER-STOTRASIM sowie EPIC.

Das Simulationsmodell SIMWASSER-STOTRASIM wird von der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft (Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen) für zahlreiche Analysen in Österreich eingesetzt (STEINITZER und FEICHTINGER 1992, FEICHTINGER 1995) das aufbauend auf dem Bodenwasserhaushaltsmodell - SIMWASSER (STEINITZER 1988, 1995), mehrfach durch Ergebnisse von Wassergütesystemen überprüft (KLAGHOFER 1991a, MURRER 1995) wurde. Bei diesem Modell wurde eine 12-jährige Fruchtfolge beurteilt.

Das Simulationsmodell EPIC (Erosion - Productivity - Import - Calculator) wurde von WILLIAMS et al. 1987 in den USA entwickelt und wird laufend in einer Arbeitsgruppe weiterentwickelt. In diesem Modell wurden nur ein Fruchtfolgepaar Vorfrucht - Nachfrucht simuliert, wobei die Verfahrensalternativen mit oder ohne Zwischenfrucht - Begrünung berücksichtigt wurden.

Das Anpassungsverhalten der Landwirte in der Modellregion auf Änderungen von Politikmaßnahmen wurde mit einem partiellen regionalen Gleichgewichtsmodell abgebildet, das am Institut für Wirtschaft, Politik und Recht für diese Aufgabenstellung entwickelt wurde. Dieses

---

**Autoren:** Dr. Peter LIEBHARD, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung und Dipl. Ing. Franz SINABELL, Institut für Wirtschaft, Politik und Recht, Universität für Bodenkultur, Gregor Mendelstr. 33, A-1180 WIEN. (Literatur auf Anfrage bei den Autoren)

---

Modell verfügt neben den von Linearen Programmierungsmodellen bekannten Eigenschaften über die Möglichkeit, das Risikoverhalten der Landwirte explizit zu modellieren, was eine bessere Abbildung aktueller Entscheidungssituationen erwarten läßt.

Die Daten und Quellen zur Kalibrierung und Parameterisierung der Modelle sind:

- Bodendaten von der Österreichischen Bodenkartierung (ÖBK)
- beobachtete Witterungsdaten der Meßstelle Obersiebenbrunn
- ermittelte und bestätigte betriebsbezogene Managementmaßnahmen bei den einzelnen Marktfruchtarten (in Form eines Expertengutachtens)
- ermittelte Bodennutzung - Fruchtartenverhältnis aus dem INVEKOS-Datenbestand
- Feldgemüseerhebung
- Standarddeckungsbeitragskatalog Ost bzw. für Biobetriebe modifiziert auf der Basis von Erhebungen bei Landwirten
- Teilnahme der Betriebe an ÖPUL-Maßnahmen aus dem INVEKOS Datenbestand

Um die Simulation der einzelnen Pflanzenbaumaßnahmen durchführen zu können, mußten die modellspezifischen Randbedingungen exakt definiert wer-

den. Dabei galt es das Problem zu lösen, verschiedene Skalen auf ein einfaches und handhabbares Niveau zu reduzieren. So differenziert z.B. die ÖBK im Marchfeld weit über 100 verschiedene Bodenformen. Der technische Aufwand jede einzelne dieser Bodenform explizit zu berücksichtigen, wurde als nicht vertretbar erachtet. Weiters lagen aus dem INVEKOS-Datensatz Einzelbetriebsdaten vor. Auch in diesem Fall schien eine Verwendung der Daten auf der Basis der Erhebung als nicht sinnvoll.

Um die Daten aus heterogenen Quellen zusammenzufassen und auf eine handhabbare Ebene zu aggregieren, wurde die Methode der Clusteranalyse eingesetzt. Die interessierenden Variable in der Projektregion wurden in folgenden Clustern zusammengefaßt: Bodencluster (fünf), Fruchtfolgecluster (fünf) und schließlich Gemeincluster (fünf).

Die *Tabellen 1 und 2* zeigen beispielsweise am Fruchtfolgecluster 3 und Regionscluster 3 wie aus der Zusammenstellung repräsentativer Fruchtfolgen schließlich eine an Beobachtungsdaten orientierte Abbildung im Modell erfolgte.

### 3. Untersuchungsszenarien

Die oben beschriebenen Fruchtfolgevarianten allein reichen als Eingangsdaten für die physikalischen Modelle nicht aus.

Zusätzlich mußten pflanzenbauliche Varianten differenziert werden, die eine Unterscheidung zwischen 'konventioneller' und 'integrierter' Bewirtschaftung zulassen. Weiters mußten u.a. Entscheidungen getroffen werden, welcher Anteil bewässert bzw. nicht bewässert wird, welches Düngungsniveau relevant ist und auf welchem Flächenanteil das Stroh von den Feldern entfernt wird und auf welchen nicht. Die Entscheidung auf welchem der fünf unterschiedenen Böden welche Fruchtart in welcher Intensität mit welcher Vorfrucht die in der Realität herrschenden Verhältnisse am besten berücksichtigt, wurde bei den beiden Modellen STOTRASIM-SIMWASER und EPIC in unterschiedlicher Weise getroffen. Bei STOTRASIM-SIMWASER wurde von einer Gleichverteilung ausgegangen, bei EPIC wurde die entsprechende Zuordnung über die Verknüpfung mit dem ökonomischen Verhaltensmodell getroffen.

Diese somit nach der Einführung des ÖPUL-95 im Marchfeld beobachtete Situation und ihre modellhafte Repräsentation bildet das Basisszenario. Im Basisszenario wurden daher die als konstant angenommenen naturräumlichen Gegebenheiten mit den beobachteten Variablen aus der ökonomischen Sphäre verknüpft:

Fruchtartenverteilung und Intensitätsvarianten (Verteilung der tatsächlichen Teilnahme an ÖPUL-95-Extensivierungsmaßnahmen).

Diese Situation ist ein Szenario und keine Abbildung der Realität. Szenario deshalb, weil in der physikalischen Simulation ein Gleichgewichtszustand ermittelt wurde, der sich bei einer kontinuierlichen zehn- bzw. zwölfjährigen Bewirtschaftung ergibt.

Selbst wenn beobachtete Klima-, Boden- und Bewirtschaftungsdaten als Eingangsdaten herangezogen werden, spiegeln die Ergebnisse nicht die Realität wieder, sondern eine Situation die sich als Erwartungswerte bei kontinuierlicher unveränderter Bewirtschaftung ergeben.

Diese Situation ist daher hypothetisch und bildet lediglich einen fiktiven Referenzzustand ab, der in der Realität nie gegeben ist, da sich jedes Jahr entscheidende Parameter wie Preise, Kosten, etc. ändern.

**Tabelle 1: Fruchtfolgevarianten am Beispiel des Fruchtfolgeclusters 3**

1	2	3	4	5
Winterraps	Winterraps	Zuckerrübe	Gemüse	Körnererbse
Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
Sommergerste	Sommergerste	Sommergerste	Sommergerste	Sommergerste
Sonnenblume	Körnermais	Körnererbse	Winterweizen	Winterroggen
Sommergerste	Winterweizen	Winterweizen	Sommergerste	Sommergerste
Grünbrache	Sommergerste	Sommergerste	Grünbrache	Grünbrache

Quelle: eigene Zusammenstellung

**Tabelle 2: Gegenüberstellung der Anteile der einzelnen Fruchtarten im Regionscluster 3**

Fruchtart	Anteil der jeweiligen Fruchtart in Prozent tatsächlich	Anteil der jeweiligen Fruchtart in Prozent im Modell	Abweichung
Winterweizen	26,4	26,7	0,3
Roggen	2,7	3,3	0,7
Sommergerste	33,5	33,3	- 0,2
Körnermais	2,0	3,3	1,4
Körnererbse	5,1	6,7	1,5
Winterraps	7,3	6,7	- 0,6
Sonnenblume	4,0	3,3	- 0,7
Zuckerrübe	6,4	6,7	0,3
Grünbrache	10,4	10,0	- 0,4

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf INVEKOS

Dieser im Modell ermittelte Gleichgewichtszustand des Basisszenarios wird mit einem Alternativszenario verglichen. Im Alternativszenario wird folgende Situation angenommen: was wäre, wenn das ÖPUL-95 nicht eingeführt worden wäre. Es wird also eine Situation untersucht, in der zwar die ökonomischen Randbedingungen der Situation nach 1995 gegeben sind, allerdings die gewässerschonenden Umweltprogramme nicht zur Anwendung kommen. Es versteht sich von selbst, daß diese Situation nur mit einem Modell zu beschreiben ist, da sich mit der Übernahme der Gemeinsamen Agrarpolitik grundlegende ökonomische Variable substantiell ändern und eine Situation in der das ÖPUL-95 nicht vorhanden ist auch nicht beobachtbar ist.

In den Untersuchungsszenarien werden daher die Modellergebnisse des Basisszenarios (ÖPUL-95 ist in der Modellregion implementiert) mit dem Alternativszenario (ÖPUL-95 ist nicht implementiert) verglichen. Es wird daher nicht die beobachtete Situation vor 1995 mit jener nach dem EU-Beitritt verglichen, sondern es werden Modellsituationen verglichen, bei denen einmal gewässerschonende Praktiken im beobachteten Umfang angewandt werden (Basisszenario) und das andere mal nicht (Alternativszenario). Der Terminus 'beobachteter Umfang' ist insofern zu interpretieren, daß unterstellt wird, daß Programmteilnehmer die in den Richtlinien festgelegten Auflagen im Umfang der beobachteten Programmteilnahme auch einhalten. Wie weit dies tatsächlich geschieht, war nicht Untersuchungsgegenstand.

#### 4. Eine Auswahl der Ergebnisse

In *Abbildung 1* werden die Erträge der Modellsimulationen (und zwar jene des Modells EPIC) jenen gegenübergestellt, die in der Region von freiwillig buchführenden Betrieben erzielt wurden. Bei den ausgewiesenen Erträgen handelt es sich um 'erwartete Erträge' auf der Basis von Ergebnissen der Simulationsrechnungen mit EPIC. 'Erwarteter Ertrag' ist folgendermaßen zu interpretieren: die angeführten Erträge sind im zehnjährigen Durchschnitt auf den jeweiligen

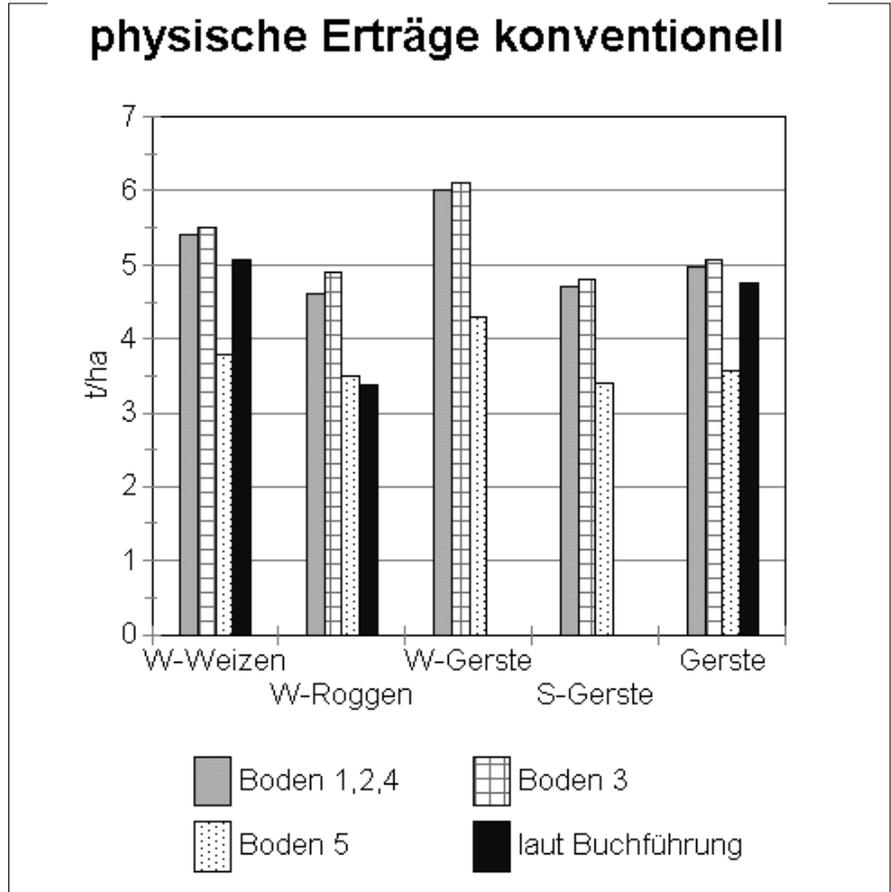


Abbildung 1: Modellerträge der konventionellen Bewirtschaftung im Vergleich mit ermittelten Erträgen

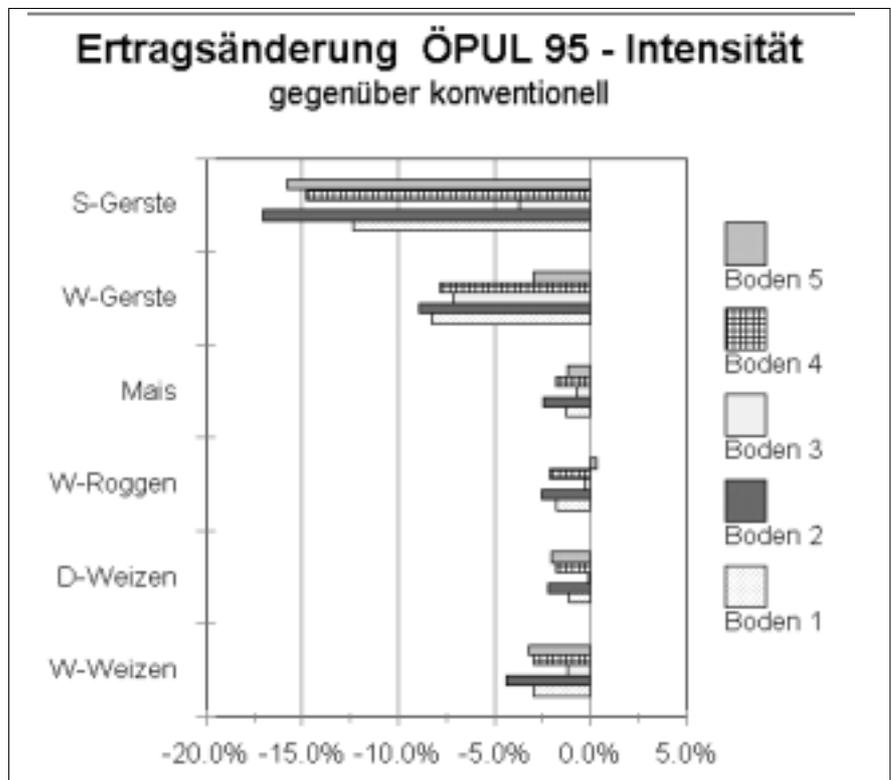


Abbildung 2: Modellerträge im Vergleich zwischen konventioneller und gewässerschonender Bewirtschaftung

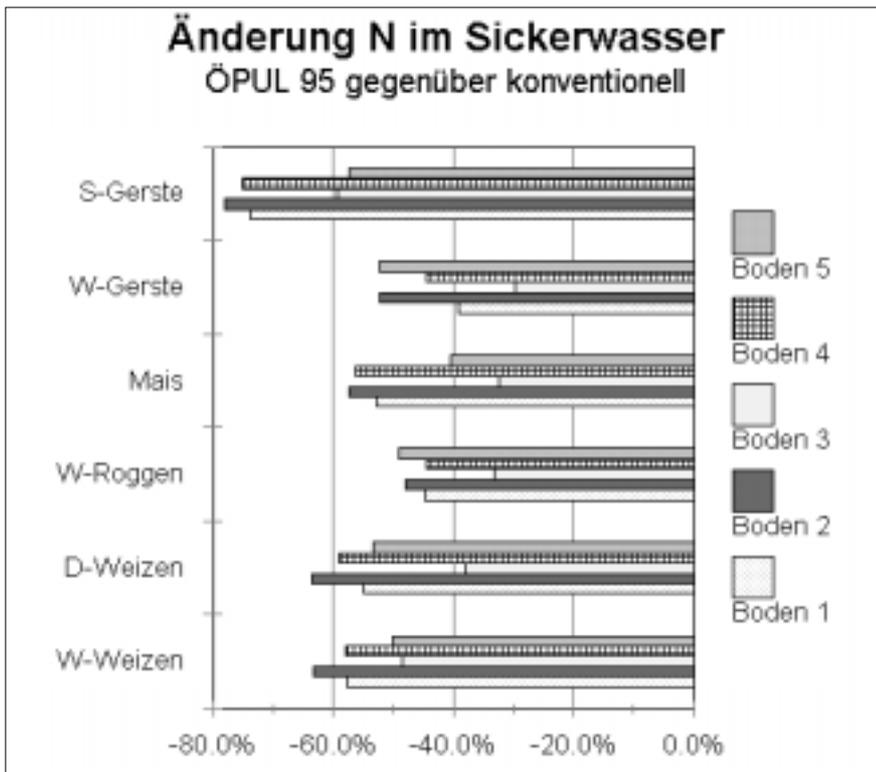


Abbildung 3: Emissionsänderung bei Getreide

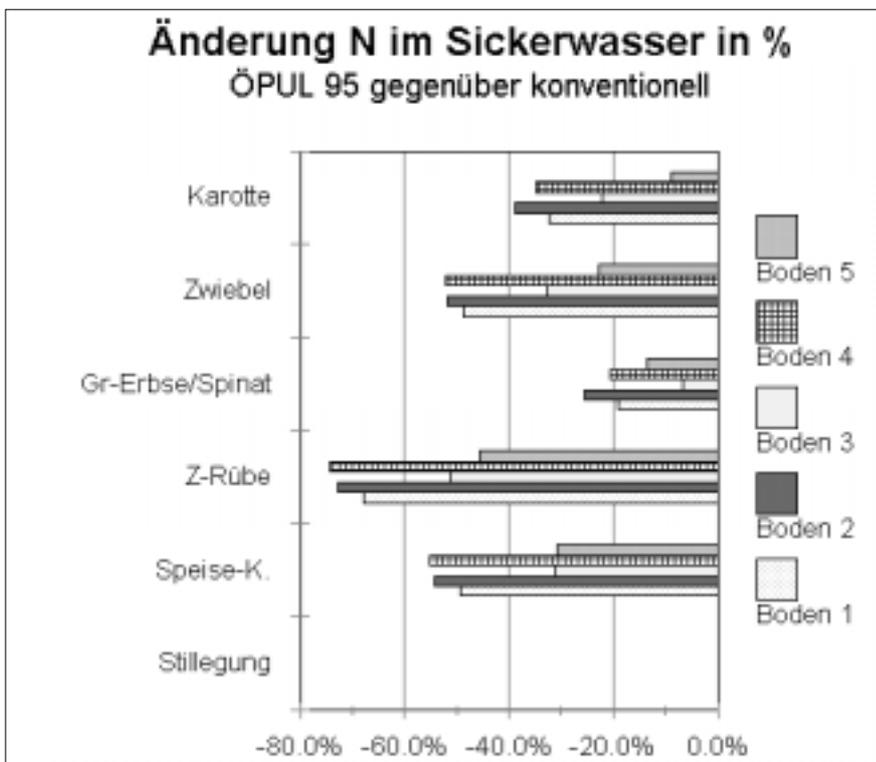


Abbildung 4: Emissionsänderung bei anderen Fruchtarten

Böden zu erwarten, wenn die in der Region typischen Vorfrüchte, Bewässerungsmaßnahmen und Bewirtschaftungspraktiken und Managementmaßnahmen (Düngung, Bodenbearbeitung, Strohabfuhr, Zwischenbegrünung, ...)

angewandt werden. Wie die *Abbildung 1* zeigt, liegen die Modellergebnisse durchaus in jenen Bereichen, die auch in der Praxis (allerdings mit geringer Fallzahl) ermittelt wurden. In *Abbildung 2* werden die Erträge der konventionel-

len Bewirtschaftung mit jenen der gewässerschonenden Bewirtschaftung wie sie im ÖPUL-95 definiert sind, verglichen. Mit Ausnahme von Gerste sind die Ertragsreduktionen eher insignifikant. Zu beachten ist, daß diese Zahlen nicht mit Ergebnissen von Parzellenversuchen verglichen werden können. In den ausgewiesenen Ergebnissen sind Effekte wie erwartete Vorfrucht, Bewässerung, Strohabfuhr etc. berücksichtigt.

In den *Abbildungen 3 und 4* werden die Änderungen der Auswaschung von Stickstoff der beiden Szenarien gegenübergestellt. Dabei handelt es sich - wie bei den Erträgen - um Erwartungswerte bei denen Änderungen ökonomischer Randbedingungen miteinfließen und nicht um Ergebnisse von Einzelsimulationen. Die Ergebnisse zeigen relativ ausgeprägte Emissionsreduktionen. Dies selbst bei Kulturen wie z.B. Zuckerrübe, auf die keine einzige ÖPUL-95-Maßnahme direkten Bezug nimmt. Derartige Reduktionen sind also auf vorteilhafte Effekte einer integrierten Produktionsweise zurückzuführen.

In *Tabelle 3* werden die Ergebnisse des Verbundes EPIC und regionales partielles Gleichgewichtsmodell ausschnittsweise dargestellt. Dabei wird das Basiszenario (ÖPUL-95) dem Simulationszenario (kein ÖPUL) gegenübergestellt und sowohl ausgewählte ökonomische Effekte des Agrar-Umweltprogrammes angeführt als auch ökologische Auswirkungen. Die Ergebnisse zeigen, daß das Programm durchaus zu einer Erhöhung des Deckungsbeitrags in der Region beitragen konnte. Weiters wird deutlich, daß der Erwartungswert der Nitratemission durch das ÖPUL-95-Programm zurückgeht, also positive Umwelteffekte zu erwarten sind.

## 5. Diskussion und Schlußfolgerung

Das Agrar-Umweltprogramm ÖPUL-95 beinhaltet Maßnahmen, die eine Reduktion der Belastung des Grundwassers durch die Landwirtschaft erwarten lassen. Während die ökonomischen Effekte dieses Programmes über Programmteilnahme und ausbezahlte Prämien noch relativ einfach zu beurteilen sind, stellt die Ermittlung der Umwelteffekte dieses Programmes eine enorme Herausfor-

**Tabelle 3: Ergebnisse des Modellverbundes (EPIC und regionales Sektormodell)**

Szenario		ÖPUL 95	kein ÖPUL	
Variante		Strohabfuhr 20%		Strohabfuhr 40%
Zwischenbegr.		ja	nein	nein
Deckungsbeitrag	Mil ATS	887	814	832
StAbw	Mil ATS	69	70	71
ÖPUL Prämien	Mil ATS	107	10	10
zusätzliche variable Kosten	Mil ATS	12	1	1
Nitrat im Sickerwasser	mg NO <sub>3</sub> /l	60.30	69.80	65.70
StAbw	mg NO <sub>3</sub> /l	20.90	20.70	20.10
N im Sickerwasser	kg/ha	8.88	10.15	9.55
Sickerwasser	mm	65	67	67
N-Austrag	t	646	771	730
StAbw	t	481	567	530
Sickerwasser	Mil m <sup>3</sup>	4.74	4.89	4.92
StAbw	Mil m <sup>3</sup>	3.82	3.76	3.78
N-Düngung	1,000 t N	7.10	7.63	7.65
Bewässerung	Mil m <sup>3</sup>	3.06	3.04	3.04
Bewässerung	1,000 ha	30.80	30.57	30.57

Quelle: eigene Berechnungen

derung dar. Für die Projektregion Marchfeld wurde durch die Verbindung von physikalischen Stofftransportmodellen mit einem ökonomischen Verhaltensmodell untersucht, ob das ÖPUL-95 zu einer Verringerung der Nitratbelastung beitrug.

Die Ergebnisse lassen eine Belastungsverringerung erwarten. Dies wird derzeit allerdings durch Beobachtungsdaten nicht gestützt.

Die erwartete Belastungsverringerung ist zwar ausgeprägt, allerdings zeigen die hohen Standardabweichungen, daß in der Natur meßbare ausgeprägte Effekte eher unwahrscheinlich sind und daher weitere Anpassungen der Anstrengungen, wie sie im ÖPUL-98 vorgenommen werden, Voraussetzung für signifikante Verbesserungen sind.