



**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.*

---

Weingarten, P.: Quantitative Analyse von Massnahmen zur Verringerung von Nitrateinträgen ins Grundwasser – eine Anwendung des Modellsystems RAUMIS. In: Bauer, S.; Herrmann, R.; Kuhlmann, F.: Märkte der Agrar- und Ernährungswirtschaft – Analyse, einzelwirtschaftliche Strategien, staatliche Einflussnahme. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 33, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1997), S.555-567.

---



# QUANTITATIVE ANALYSE VON MASSNAHMEN ZUR VERRINGERUNG VON NITRATEINTRÄGEN INS GRUNDWASSER - EINE ANWENDUNG DES MODELLSYSTEMS RAUMIS -

von

P. WEINGARTEN\*

## 1 Einleitung

Seit Ende der 70er Jahre sind die ökologischen Auswirkungen, die von dem Einsatz von Stickstoffdüngemitteln in der Landwirtschaft ausgehen können, zunehmend ins wissenschaftliche und öffentliche Bewußtsein gerückt. Der Eintrag von Nitrat ins Grundwasser stellt dabei den am intensivsten untersuchten Problembereich bzgl. Stickstoff dar. Bestandsaufnahmen hinsichtlich des Grundwassergefährdungspotentials durch Stickstoff liegen in Form von Stickstoffbilanzierungen für die alten und neuen Bundesländer mittlerweile in regionalisierter Form von verschiedenen Autoren vor (vgl. die bei WEINGARTEN (1996) angegebene Literatur). Einen Schritt weiter gehen BÜTOW und HOMANN (1992), die für die alten Bundesländer auf Kreisebene differenzierte potentielle Nitratkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser kalkulieren, und WENDLAND et al. (1993). Letztere schätzen für Deutschland bei einer regionalen Differenzierung von 3\*3 km potentielle Nitratkonzentrationen im Sickerwasser.

Flächendeckende, regional differenzierte Analysen über die Auswirkungen von Grundwasserschutzmaßnahmen auf Landwirtschaft und Wasserwirtschaft liegen bisher nur für die alten Bundesländer vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (MEYER et al. 1994) und von WEINGARTEN (1996) vor. Im folgenden werden die wichtigsten Annahmen und Ergebnisse der von WEINGARTEN (1996) mit dem "Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystem" (RAUMIS) durchgeführten Analyse vorgestellt.

Zuerst wird in Kapitel 2 das Modellsystem RAUMIS kurz charakterisiert. Ansätze zur Bestimmung von Ertragsfunktionen bei begrenzter Datenverfügbarkeit werden in Kapitel 3 behandelt. Kapitel 4 beschreibt die untersuchten Vorsorgestrategien. Auf der Basis der in Kapitel 5 dargestellten Modellergebnisse werden in Kapitel 6 Schlußfolgerungen zum Grundwasserschutz gezogen.

## 2 Charakterisierung des "Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystems" (RAUMIS)<sup>1</sup>

Das Modellsystem RAUMIS stellt ein Instrument zur Abbildung und Analyse der Interdependenzen zwischen Landwirtschaft und Umwelt dar. Entwickelt wurde es im Auftrag des BMELF am Institut für Agrarpolitik der Universität Bonn.<sup>2</sup> Für die hier vorgestellte Analyse wurde das Modellsystems RAUMIS aktualisiert und in einzelnen Bereichen weiterentwickelt.<sup>3</sup>

---

\* Dr. Peter Weingarten, Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa (IAMO), Magdeburger Str. 1, 06112 Halle/Saale. Der vorliegende Beitrag entstand im wesentlichen während meiner Tätigkeit am Institut für Agrarpolitik der Universität Bonn.

<sup>1</sup> Eine ausführliche Beschreibung findet sich bei WEINGARTEN (1996); vgl. auch HENRICHSMEYER et al. (1992) und WEINGARTEN (1995).

<sup>2</sup> Seit 1993 wird das Modellsystem RAUMIS auch im BMELF und in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft für Simulationsanalysen unterschiedlicher agrar- oder umweltpolitischer Fragestellungen eingesetzt.

<sup>3</sup> Vgl. WEINGARTEN (1996).

Die wichtigsten Teilbereiche des Modellsystems RAUMIS werden im folgenden kurz charakterisiert.

## 2.1 Agrarökonomischer Teilbereich

Das Kernstück des Modellsystems RAUMIS ist ein regionalisiertes lineares Programmiermodell, das den landwirtschaftlichen Sektor der alten Bundesländer<sup>4</sup> aktivitätsanalytisch differenziert und konsistent zur landwirtschaftlichen Gesamtrechnung abbildet. *Räumlich* ist es in 240 Regionen unterteilt, die im wesentlichen den Landkreisen entsprechen. Gründe der Datenverfügbarkeit sind für die gewählte *zeitliche Differenzierung* ausschlaggebend. Ex post werden die Modelljahre '1979', '1983', '1987' und '1991' unterschieden. Zur Abschwächung jährlicher Schwankungen werden die Werte der einzelnen Jahre soweit möglich mit sektoralen Dreijahresmittelwerten des "Sektoralen Produktions- und Einkommensmodells der europäischen Landwirtschaft" (SPEL)<sup>5</sup> konsistent gerechnet. Die komparativ-statische Simulationsanalyse zum Grundwasserschutz bezieht sich auf das Zieljahr 2005. Die *aktivitätsanalytische Differenzierung* der landwirtschaftlichen Produktion erfolgt durch 29 pflanzliche und 12 tierische Produktionsverfahren.

Dem LP-Modell vorgeschaltet ist das *Intensitätsmodell*. Im Intensitätsmodell werden bei Simulationsanalysen anhand von Ertragsfunktionen der optimale Stickstoffaufwand und der zugehörige Ertrag sowie die optimale Höhe der übrigen Vorleistungen, soweit diese ertragsabhängig ist, in Abhängigkeit von den Produkt- und Mineralstickstoffpreisen endogen ermittelt. Ebenfalls wird im Intensitätsmodell in Abhängigkeit vom Mineralstickstoffpreis der (betriebswirtschaftlich) optimale Ausnutzungsgrad des Güllestickstoffs ermittelt. Auf die Spezifizierung der Ertragsfunktionen wird wegen deren Bedeutung für die Modellergebnisse in Kapitel 3 eingegangen.

## 2.2 Umweltindikatorsysteme des Modellsystems RAUMIS

Verbunden mit dem LP-Modell sind vier Umweltindikatoren, die Aussagen über a) die mögliche Gefährdung des Grundwassers durch Nitrateinträge (N-Bilanzierung), b) die mögliche Gefährdung des Grundwassers durch Pflanzenschutzmitteleinträge, c) die Bewertung der landwirtschaftlichen Flächennutzung hinsichtlich ihrer potentiellen Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz sowie d) die Abschätzung luft- und klimabeeinflussender Schadgasemissionen erlauben.

In die *N-Bilanzierung* gehen als Inputgrößen die Zufuhr über mineralische N-Dünger, die N-Ausscheidungen der Nutztiere und die sonstige Zufuhr (symbiotische und asymbiotische N-Fixierung, atmosphärische Einträge) ein. Auf der Outputseite werden die Entzüge durch das Erntegut und Ammoniakemissionen erfaßt. Der Stickstoffsaldo stellt somit die Stickstoffmenge dar, die denitrifiziert, ausgewaschen oder im Boden akkumuliert wird. Für die Analyse wurde unterstellt, daß sich der Bodenvorrat an Stickstoff in einem langfristigen Gleichgewichtszustand befindet und die Akkumulation damit vernachlässigt werden kann.

## 2.3 Wasserwirtschaftliches Modell des Modellsystems RAUMIS

Aufbauend auf dem ermittelten Stickstoffsaldo und der Arbeitshypothese, daß 50 % des N-Saldos im Boden denitrifiziert werden, wird im wasserwirtschaftlichen Modell unter Berücksich-

<sup>4</sup> Das Modellsystem RAUMIS wird zur Zeit in einem laufenden Forschungsvorhaben für das BMELF (94 HS 021) weiterentwickelt und wird nach Abschluß dieser Weiterentwicklung das gesamte Bundesgebiet abdecken, vgl. HENRICHSMAYER et al. (1996).

<sup>5</sup> Zu SPEL vgl. HENRICHSMAYER (1995).

tigung der kreisweise differenzierten Grundwasserneubildung<sup>6</sup> die *potentielle Nitratkonzentration des neugebildeten Grundwassers* berechnet. In einer zweiten Abschätzung werden neben den landwirtschaftlichen Stickstoffsalden auch Stickstoffeinträge von Waldflächen berücksichtigt. Für diese werden pauschal 30 kg N/ha unterstellt. Anhand der potentiellen Nitratkonzentration des neugebildeten Grundwassers und Daten über die Grundwasserförderung<sup>7</sup> lassen sich dann unter der Annahme der folgenden Kostensätze die *potentiellen nitratbedingten Kosten für die Wasserwirtschaft* kalkulieren.

Die in der Literatur genannten nitratbedingten Kosten pro Kubikmeter geförderten Grundwassers streuen sehr stark. Deshalb wurde in der durchgeführten Analyse mit zwei Kostenvarianten gerechnet. Bei der *Kostenvariante A* wird von Planungs- und Überwachungskosten in Höhe von 0,01 DM/m<sup>3</sup> geförderten Grundwassers mit einer potentiellen Nitratkonzentration im neugebildeten Grundwasser von 10 - 25 mg NO<sub>3</sub>/l ausgegangen. Zwischen 25 und 50 mg NO<sub>3</sub>/l werden Kosten in Höhe von 0,20 DM/m<sup>3</sup> angesetzt. Für die Wassermengen über 50 mg NO<sub>3</sub>/l werden 0,70 DM/m<sup>3</sup> für Planungs-, Überwachungs- und Aufbereitungskosten veranschlagt (vgl. BÜTOW und HOMANN 1992). Bei der *Kostenvariante B* wird von Kosten in Höhe von 60 DM für jedes zu entfernende Kilogramm Stickstoff ausgegangen (vgl. ENQUETE-KOMMISSION "SCHUTZ DER ERDATMOSPHERE" 1994). Für die Analyse wurden demnach Aufbereitungskosten in Höhe von 0,0135 DM/m<sup>3</sup> für jedes mg NO<sub>3</sub>/l unterstellt, um das der Trinkwassergrenzwert von 50 mg NO<sub>3</sub>/l überschritten wird.

Die Belastung des Grundwassers, das nicht zur Trinkwasserversorgung genutzt wird, läßt sich nur sehr schwer monetär bewerten. Um aber einen Anhaltspunkt über mögliche Größenordnungen zu bekommen, wurden *fiktive Kosten* berechnet, die entstanden, wenn das gesamte neugebildete Grundwasser wie die zur Trinkwasserversorgung genutzte Teilmenge behandelt würde. Es ist allerdings offensichtlich, daß eine solche Aufbereitung des gesamten neugebildeten Grundwassers weder durchführbar noch sinnvoll ist.

### 3 Ansätze zur Bestimmung von Ertragsfunktionen bei begrenzter Datenverfügbarkeit

Insbesondere bei der Ermittlung von Ertragsfunktionen für Regional- oder Sektormodelle tritt das Grundproblem auf, daß einerseits der Anspruch an die standortspezifische Ausrichtung der Ertragsfunktionen empirisch abgeleitete Schätzungen nahelegt, andererseits aber die begrenzte Datenverfügbarkeit dies häufig nicht zufriedenstellend erlaubt und zu einer normativen Vorgehensweise zwingt (vgl. JAROSCH 1990).

GEBHARD (1986) erstellte normativ Stickstoffertragsfunktionen, indem er erstens den Ertrag bei Verzicht auf Düngung festlegte. Zweitens ging er davon aus, daß Spitzenbetriebe die optimale spezielle Intensität realisieren. Zusammen mit der dritten Annahme, der Vorgabe einer quadratischen Funktionsform, ist die Ertragsfunktion damit bei Kenntnis der Faktor-Produkt-preisrelation eindeutig determiniert. Im Unterschied zu GEBHARD legte OHLHOFF (1987) nicht den Nullertrag (Schnittpunkt der Funktion mit der Y-Achse) fest, sondern den Schnittpunkt mit der X-Achse ("Natürliche Stickstofflieferung"). Nach einer anderen Vorgehensweise leitete PAEFFGEN (1994) für sein Kreishofmodell für Baden-Württemberg quadratische Ertragsfunktionen her. Ausgehend von Düngungsempfehlungen (lineare Bedarfsfunktion) und dem im Kreis realisierten Ertrag bestimmte er den zugehörigen N-Aufwand, den er um einen "Sicherheitszuschlag" von 15 % erhöhte. Diese lineare Funktion ergänzte er um ein wie folgt berechnetes quadratisches Glied c:

<sup>6</sup> Die Daten zur Grundwasserneubildung wurden von WENDLAND (1995) zur Verfügung gestellt.

<sup>7</sup> Zu den Daten zur Grundwasserförderung vgl. WEINGARTEN (1996).

$$c = \frac{N - \text{Gehalt im Erntegut} * \text{Bodenklimazahl}}{}$$

Die im Modellsystem RAUMIS implementierten Ertragsfunktionen beruhen dagegen auf der Schätzung quadratischer Funktionen auf der Basis normierter Versuchsdaten.<sup>8</sup> Anders als bei KLEINHANß (1986), der Versuchsdaten durch die Berechnung der absoluten Abweichungen zu dem innerhalb einer Versuchsreihe aufgetretenen Maximum normierte, erfolgte für die RAUMIS-Funktionen die Normierung der Versuchsdaten, indem die Versuchswerte relativ zum Maximum ins Verhältnis gesetzt wurden. Durch die Normierung von N-Aufwand und Ertrag wird der Erklärungsbeitrag von anderen Variablen wie z. B. der Ackerzahl vermindert, so daß der normierte Ertrag hinreichend genau alleine durch die normierte N-Düngung erklärt werden kann (WEINGARTEN 1996). Bei Kenntnis von Stickstoffaufwand und Ertrag sowie der Preisrelationen lassen sich für die Modelljahre regions- und kulturartspezifische Ertragsfunktionen mit absoluten Werten herleiten.

#### 4 Spezifizierung der untersuchten Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers und der agrarpolitischen Rahmenbedingungen

Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers können unterschiedliche Zielvorstellungen zugrunde liegen. Die Strategie I des räumlich differenzierten Grundwasserschutzes strebt den Schutz des Grundwassers als *Ressource der Trinkwasserversorgung* an. Demnach ist das Grundwasser (nur) in den Gebieten, die jetzt oder zukünftig für die Trinkwassergewinnung von Bedeutung sind, vor Schadstoffeinträgen zu schützen. Die Strategie I sieht daher Bewirtschaftungsauflagen und regionsspezifische Ausgleichszahlungen nur für Wasserschutzgebiete vor (s.Tab.1). Die Wasserschutzgebiete sollen dabei die gesamten Wassereinzugsgebiete der Trinkwasserversorgungsunternehmen abdecken. Im Durchschnitt der alten Bundesländer würden demnach rund 15 % der LF in für die Strategie I unterstellten Wasserschutzgebieten liegen.

Tabelle 1: Ausgestaltung der Vorsorgestrategien

<p><b>STRATEGIE I (Räumlich differenz. Grundwasserschutz)</b></p> <p>1. außerhalb von Wasserschutzgebieten: keine Bewirtschaftungsauflagen und keine Ausgleichszahlungen</p> <p>2. innerhalb von Wasserschutzgebieten: Bewirtschaftungsauflagen und Ausgleichszahlungen</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kulturartspezifische N-Düngungshöchstmengen</li> <li>2. Viehbesatz: max. 1,0 DE/ha</li> <li>3. Verbot von Grünlandumbruch</li> <li>4. Regionsspezifische Ausgleichszahlung</li> </ol> <p><b>STRATEGIE II (Flächendeckender Grundwasserschutz)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stickstoffabgabe auf Mineraldünger: 1,- DM/kg N (real 0,66 DM/kg N)</li> <li>2. Stickstoffabgabe auf Gülleüberschüsse (Gülle-N) über 1,5 DE/ha: 1,- DM/kg Gülle-N (real 0,66 DM/kg)</li> <li>3. Verbot von Grünlandumbruch</li> <li>4. Einheitliche Ausgleichszahlungen je Hektar LF nach Aufkommen aus N-Abgaben</li> </ol>
--

Quelle: WEINGARTEN (1996).

Die Strategie II des flächendeckenden Grundwasserschutzes beruht auf der Vorstellung, daß das Grundwasser an sich wegen seiner *Funktionen im Ökosystem und im Wasserkreislauf* ein schützenswertes Gut darstellt, unabhängig davon, ob es zur Trinkwassergewinnung genutzt wird oder nicht. Die Maßnahmen der Strategie II sehen daher eine Verteuerung des Stickstoffs durch eine Abgabe auf mineralischen Stickstoff und auf Gülleüberschüsse (über 1,5 DE/ha) vor. Des weiteren ist der Umbruch von Grünland flächendeckend verboten.

Ausgleichszahlungen werden nach dem Aufkommen der Stickstoffabgaben einheitlich für das Bundesgebiet je Hektar LF gewährt.

<sup>8</sup> Die Gründe, die gegen eine Übertragung der o. g. genannten Vorgehensweisen zur Bestimmung von Ertragsfunktionen auf das Modellsystem RAUMIS sprechen, hat WEINGARTEN (1996) diskutiert.

Die Bestimmung der *agrarpolitischen Rahmenbedingungen* beruht auf der Annahme, daß sich die Gemeinsame Agrarpolitik nach Umsetzung der EU-Agrarreform bis zum Simulationsjahr 2005 nicht gravierend verändern wird. Der Winterweizenpreis als Eckgröße der Agrarpreise beträgt annahmegemäß im Jahr 2005 nominal 227 DM/t. Der Erzeugerpreis für Schweinefleisch wurde auf nominal 2,47 DM/kg festgesetzt, so daß sich eine nach Experteneinschätzung zu erwartende Produktionsmenge von ca. 2,8 Mio. t ergibt.

Hinsichtlich der Regelungen, die die grandes cultures betreffen, wurde von im Vergleich zu 1995/96 unveränderten Bestimmungen ausgegangen (z. B. Stilllegungssatz 12 %, nominal unveränderte Ausgleichszahlungen). Die Milch- und Zuckerrübenquoten wurden wie für das Modelljahr '1991' unterstellt. Der Mineralstickstoffpreis beläuft sich den Annahmen zufolge nominal auf 0,92 DM/kg N (gleicher Preis wie '1991').<sup>9</sup>

Für das Simulationsjahr 2005 werden die gleichen Grundwasserfördermengen wie '1991' angenommen. Die nitratbedingten Kostensätze bleiben real unverändert.

## 5 Modellergebnisse

### *Entwicklung der Input-Output-Relationen in der Pflanzenproduktion*

Die optimalen Stickstoffeinsatzmengen und Erträge, die sich im Sektordurchschnitt für '1991' und 2005 ergeben, sind in Tab. 2 für die wichtigsten pflanzlichen Produktionsverfahren ausgewiesen. Für Winterweizen liegt die optimale spezielle Intensität im Jahr 2005 den Analysen zufolge im Sektordurchschnitt bei 215 kg N/ha bei einem Naturalertrag von 9,0 t/ha, wenn keine Auflagen im Rahmen der Vorsorgestrategien unterstellt werden. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Ertragsanstieg von 2,0 %. Von '1979' bis '1991' waren die Winterweizenerträge im Durchschnitt noch um 2,9 % p. a. gestiegen. Für die anderen Getreidearten liegt die simulierte Erhöhung der Hektarerträge zwischen 0,6 % p. a. beim Sommergetreide und 2,1 % p. a. bei Körnermais.

**Tabelle 2:** Stickstoffeinsatzmengen und Erträge ausgewählter pflanzlicher Produktionsverfahren bei unterschiedlichen Vorsorgestrategien (in kg N/ha bzw. t/ha)

Verfahren	'1991' (Sektordurchsch.)		2005 ohne Auflagen (Sektordurchsch.)		2005 Strategie I (Durchschn. WSG)		2005 Strategie II (Sektordurchsch.)	
	N-Dgg.	Ertrag	N-Dgg.	Ertrag	N-Dgg.	Ertrag	N-Dgg.	Ertrag
Winterweizen	170	6,8	215	9,0	110	7,6	166	8,6
Roggen	119	4,9	136	6,4	85	5,7	115	6,2
Wintergerste	145	6,1	159	7,6	85	6,4	130	7,3
Körnermais	199	7,0	220	9,4	118	8,2	165	8,9
Spätkartoffeln	137	33,7	131	41,1	119	40,8	128	41,1
Zuckerrüben	173	54,6	188	60,0	150	58,6	178	59,8
Winterraps	222	3,0	209	3,8	135	3,2	159	3,5
Wiesen/Mähweiden	132	8,2	137	8,5	126	8,3	104	7,9
Weiden	142	8,8	149	9,2	133	9,0	121	8,8
Silomais	169	44,0	168	43,9	139	42,7	145	43,2

Quelle: WEINGARTEN (1996).

<sup>9</sup> Für eine ausführliche Darstellung der agrarpolitischen und der relevanten gesamtwirtschaftlichen Annahmen siehe WEINGARTEN (1996).



Durch die Beschränkung der Stickstoffdüngung auf maximal 110 kg N/ha für Winterweizen in Wasserschutzgebieten (Strategie I) verringert sich der Durchschnittsertrag auf 7,6 t/ha. Wird eine Stickstoffabgabe in Höhe von 1,- DM/kg N erhoben (Strategie II), beläuft sich die optimale Stickstoffdüngung für Winterweizen auf 166 kg N/ha bei einem Ertrag von 8,6 t/ha. Die Stickstoffdüngungshöchstmengen in Wasserschutzgebieten führen dazu, daß dort bei fast allen Ackerkulturen weniger Stickstoff gedüngt wird als bei der Strategie II (N-Abgabe) im Sektordurchschnitt.

### *Stickstoffbilanzierung*

Der durchschnittliche Stickstoffüberschuß der alten Bundesländer stieg von den 50er Jahren von unter 25 kg N/ha bis zum Ende der 70er Jahre stark an (vgl. KÖSTER et al. 1988). In den im Modellsystem RAUMIS abgebildeten Jahren '1979' und '1987' erhöhte sich der Überschuß nur noch geringfügig von 100 auf 104 kg N/ha und verringerte sich dann deutlich um knapp ein Fünftel auf 85 kg N/ha im Modelljahr '1991'. Der deutliche Rückgang des Stickstoffsaldos zwischen '1987' und '1991' ist vor allem auf eine Einschränkung des Mineräldüngereinsatzes von 131 auf 117 kg N/ha zurückzuführen. An Wirtschaftsdünger wurden '1991' 105 kg N/ha zugeführt. Zusammen mit 34 kg N/ha als sonstige N-Zufuhr (atmosphärische Deposition, symbiotische und asymbiotische Stickstofffixierung) ergibt dies eine Gesamtzufuhr in Höhe von 256 kg N/ha. Dem stehen Entzüge über das Erntegut von 138 kg N/ha und Ammoniakemissionen von 32 kg N/ha gegenüber.

Die Modellanalysen ergeben, daß sich der sektorale Stickstoffüberschuß bei den unterstellten agrarpolitischen Rahmenbedingungen künftig weiterhin, wenn auch in abgeschwächter Form, rückläufig entwickelt. Der Rückgang des Stickstoffsaldos auf 73 kg N/ha im Jahr 2005 (ohne Grundwasserschutzmaßnahmen) ist vor allem auf eine Verminderung des Wirtschaftsdüngeranfalls um gut ein Fünftel auf 82 kg N/ha bei gleichzeitiger Erhöhung der Ausnutzung des Gülle-Stickstoffs und auf eine drastische Ausweitung der Hutungen zuungunsten der intensiveren Grünlandnutzungen als Wiesen und Weiden zurückzuführen.

Die Wasserschutzgebietsauflagen der Strategie I führen dazu, daß sich für das Simulationsjahr 2005 innerhalb der Wasserschutzgebiete durchschnittlich ein N-Überschuß von 36 kg N/ha ergibt. Hier macht sich vor allem die Beschränkung des Viehbesatzes auf 1,0 DE/ha bemerkbar. Zusätzlich führen die Düngungshöchstmengen zu einem Rückgang des Mineräldüngereinsatzes. Bezogen auf die gesamte Modellfläche geht der Stickstoffüberschuß im Vergleich zur Referenzsituation nur geringfügig auf 67 kg N/ha zurück. Die flächendeckend wirkenden N-Abgaben und das Grünlandumbruchverbot (Strategie II) bewirken dagegen im Sektordurchschnitt eine Reduzierung des N-Saldos auf 50 kg N/ha.

### *Wasserwirtschaftliche Kennzahlen*

Bezieht man den landwirtschaftlichen Stickstoffüberschuß auf das gesamte neugebildete Grundwasser und unterstellt, daß 50 % des N-Überschusses denitrifiziert werden, errechnet sich für '1991'<sup>10</sup> für die alten Bundesländer eine *durchschnittliche potentielle Nitratkonzentration* von 43 mg NO<sub>3</sub>/l. Setzt man zusätzlich für Waldflächen einen N-Saldo von 30 kg/ha an, beläuft sich die Nitratkonzentration auf durchschnittlich 52 mg NO<sub>3</sub>/l. Zwischen dem Trinkwasserrichtwert von 25 mg NO<sub>3</sub>/l und dem Trinkwassergrenzwert von 50 mg NO<sub>3</sub>/l liegen 31 % (ebenfalls 31 % bei zus. Berücksichtigung von 30 kg N/ha Wald) des neugebildeten Grundwassers (s. Tab. 3). Bei 38 % (49 %) des neugebildeten Grundwassers übersteigt die potentielle Nitratkonzentration 50 mg NO<sub>3</sub>/l (zur regionalen Verteilung s. Abb. 1).

<sup>10</sup> Der in der Realität auftretende zeitliche Verzug zwischen dem Entstehen von Stickstoffüberschüssen und dem Eintrag von Nitrat ins Grundwasser wird hierbei vernachlässigt.

**Tabelle 3:** Abschätzung der potent. Nitratkonzentrationen und der potent. nitratbedingten Kosten für die Wasserwirtschaft (Bezug: geförd. Trinkwasser) bzw. der fiktiven Kosten (Bezug: gesamtes neugebild. Grundwasser) auf der Basis der N-Salden von '1991'

Potent. Nitratkonzentration	Gefördertes Trinkwasser				Neugebildetes Grundwasser			
	Berücksichtigung der N-Einträge aus landw. Flächen		land- u. forstw. Fl.		Berücksichtigung der N-Einträge aus landw. Flächen		land- u. forstw. Fl.	
	Kostenvariante A							
	% <sup>1)</sup>	Mio. DM/a	% <sup>1)</sup>	Mio. DM/a	% <sup>1)</sup>	Mio. DM/a	% <sup>1)</sup>	Mio. DM/a
< 10 mg NO <sub>3</sub> /l	10	0	4	0	8	0	5	0
10 - 25 mg NO <sub>3</sub> /l	21	6	17	3	16	111	9	87
25 - 50 mg NO <sub>3</sub> /l	31	252	31	212	36	3.194	30	3.212
> 50 mg NO <sub>3</sub> /l	38	984	49	1.390	40	13.931	57	17.776
insgesamt	100	1.242	100	1.605	100	17.235	100	21.075
		0,35 DM/m <sup>3</sup>		0,46 DM/m <sup>3</sup>		0,33 DM/m <sup>3</sup>		0,40 DM/m <sup>3</sup>
Kostenvariante B								
< 10 mg NO <sub>3</sub> /l	10	0	4	0	8	0	5	0
10 - 25 mg NO <sub>3</sub> /l	21	0	17	0	16	0	9	0
25 - 50 mg NO <sub>3</sub> /l	31	0	31	0	36	0	30	0
> 50 mg NO <sub>3</sub> /l	38	441	49	693	40	5.873	57	8.917
insgesamt	100	441	100	693	100	5.873	100	8.917
		0,13 DM/m <sup>3</sup>		0,20 DM/m <sup>3</sup>		0,11 DM/m <sup>3</sup>		0,17 DM/m <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Anteil der Wassermengen in der jeweiligen Klasse.

Quelle: WEINGARTEN (1996, S. 128, 137).

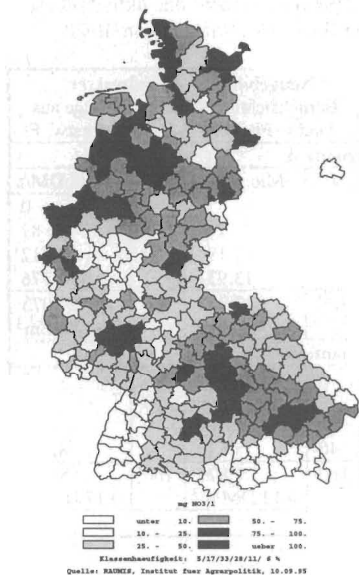
Der Rückgang der durchschnittlichen Stickstoffüberschüsse und die Reduzierung der landwirtschaftlich genutzten Fläche<sup>11</sup> führen dazu, daß die durchschnittlichen potentiellen Nitratkonzentrationen im neugebildeten Grundwasser im Simulationsjahr 2005 unter den Vergleichswerten von '1991' liegen. Bei alleiniger Berücksichtigung der N-Einträge aus ldw. Flächen beträgt die potentielle Nitratkonzentration im Sektordurchschnitt bei Verzicht auf Vorsorgemaßnahmen 34 mg NO<sub>3</sub>/l gegenüber 43 mg NO<sub>3</sub>/l im Jahr '1991'. Werden die N-Einträge aus Waldflächen mit in die Berechnung einbezogen, liegt die Konzentration bei 44 mg NO<sub>3</sub>/l.

Die flächendeckenden Maßnahmen der *Strategie II* führen zu einer Verringerung der potentiellen Konzentration auf 23 bzw. 33 mg NO<sub>3</sub>/l. Da die Bewirtschaftungsauflagen der *Strategie I* nur in Wasserschutzgebieten gelten, geht bei Strategie I die potentielle Nitratbelastung im gesamten neugebildeten Grundwasser nur geringfügig im Vergleich zur Situation ohne Vorsorgemaßnahmen zurück. Im geförderten Grundwasser liegt bei Strategie I die potentielle Nitratkonzentration dagegen nur bei 19 bzw. 29 mg NO<sub>3</sub>/l.

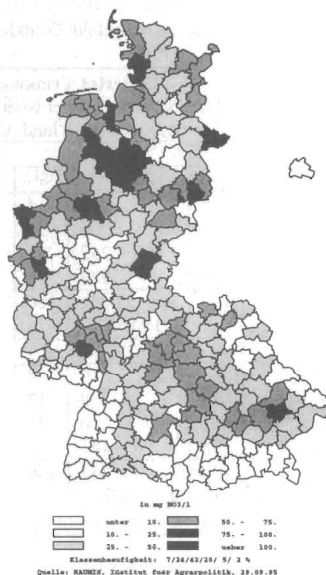
Während ohne Vorsorgemaßnahmen ungefähr 40 % des geförderten Grundwassers eine potentielle Nitratkonzentration von mehr als 50 mg NO<sub>3</sub>/l aufweisen und damit den Trinkwassergrenzwert überschreiten, liegt der entsprechende Anteil für Strategie I nur bei ca. 5 %. Der Trinkwasserrichtwert von 25 mg NO<sub>3</sub>/l wird bei Strategie I von 51 % (alleinige Berücksichtigung der N-Einträge aus ldw. Flächen) bzw. 43 % (zus. Berücksichtigung der N-Einträge aus Waldflächen) der geförderten Grundwassermenge eingehalten.

<sup>11</sup> Es ist unterstellt, daß sich die landwirtschaftlich genutzte Fläche aufgrund von Umwidmungen für nichtlandwirtschaftliche Zwecke jährlich um 0,4 % verringert.

**Abbildung 1:** Potentielle Nitratkonzentration im neugebildeten Grundwasser bei alleiniger Berücksichtigung der Nitratreträge aus ldw. Flächen (Ann.: Denitrifikation 50 %)



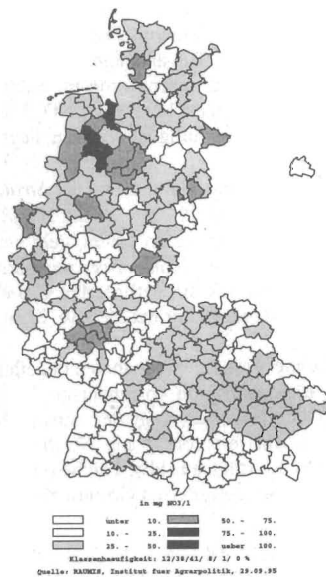
'1991'



2005, ohne Vorsorgemaßnahmen



2005, Strategie I, innerhalb von WSG



2005, Strategie II

Die *potentiellen nitratbedingten Kosten für die Wasserwirtschaft* liegen 2005 ohne Vorsorge-maßnahmen zum Schutz des Grundwassers den Modellanalysen zufolge bei der Kostenvariante A in der Größenordnung von real<sup>12</sup> 0,9 Mrd. DM (alleinige Berücksichtigung der N-Einträge aus ldw. Flächen) bzw. 1,4 Mrd. DM (zus. Berücksichtigung der N-Einträge Waldflächen). Bezogen auf die geförderte Grundwassermenge entspricht dies 0,26 bzw. 0,38 DM/m<sup>3</sup>. Gegenüber '1991' bedeutet dies einen Rückgang um 28 bzw. 16 %. Die Kostenvariante B führt annähernd zu einer Halbierung der potentiellen Kosten auf 0,2 bzw. 0,4 Mrd. DM (0,06 bzw. 0,11 DM/m<sup>3</sup>). Berücksichtigt man alleine die Stickstoffeinträge aus ldw. Flächen, betragen die potentiellen nitratbedingten Kosten für die Wasserwirtschaft, bezogen auf die landwirtschaftliche Fläche, bei der Kostenvariante A im Durchschnitt 81 DM/ha ('1991': 106 DM/ha) und bei Variante B 18 DM/ha ('1991': 37 DM/ha).

Durch eine vollständige Umsetzung der angenommenen Bewirtschaftungsauflagen in Wasserschutzgebieten (Strategie I) lassen sich die potentiellen nitratbedingten Kosten für die Wasserwirtschaft auf ungefähr 0,2 Mrd. DM reduzieren (Kostenvariante A), wenn man nur die N-Einträge von ldw. Flächen ansetzt, bzw. auf 0,6 Mrd. DM, wenn zusätzlich die Waldflächen mit 30 kg N-Saldo pro Hektar berücksichtigt werden. In diesen potentiellen Kosten sind die auflagebedingten Ausgleichszahlungen an die Landwirtschaft nicht enthalten. Die nicht an der Grundwasserförderung orientierten, flächendeckend wirkenden Maßnahmen der Strategie II (i. w. N-Abgaben) führen nur zu einer ungefähren Halbierung der potentiellen Kosten für die Wasserwirtschaft (Kostenvariante A). Berücksichtigt man neben den N-Einträgen aus ldw. Flächen auch die von forstwirtschaftlichen, beträgt der Rückgang etwa 40 %.

Bezieht man die potentiellen nitratbedingten Kosten auf die landwirtschaftliche Fläche, so erkennt man das Rhein-Main-Gebiet als einen Großraum mit weit überdurchschnittlich hohen potentiellen nitratbedingten Kosten (WEINGARTEN 1996). Die Ursache hierfür liegt weniger in hohen Stickstoffüberschüssen (diese liegen zum Teil sogar unter dem Sektordurchschnitt) als vielmehr darin, daß die Grundwasserneubildung in diesen Kreisen nur gering ist und gleichzeitig die Grundwasserförderung pro Flächeneinheit weit über dem Durchschnitt liegt.

Die *fiktiven Kosten* einer Aufbereitung des *gesamten neugebildeten Grundwassers* liegen bei Verzicht auf Vorsorgemaßnahmen in der Größenordnung von 12 bzw. 18 Mrd. DM (3 bzw. 5 Mrd. DM bei Kostenvariante B). Die Wasserschutzgebietsauflagen der Strategie I zielen auf einen Schutz des für Trinkwasserzwecke benötigten Grundwassers ab. Sie bewirken daher im Vergleich zur Referenzsituation lediglich einen Rückgang der fiktiven Kosten, bei denen das gesamte neugebildete Grundwassers betrachtet wird, um ungefähr 10 %. Die flächendeckend wirkenden Maßnahmen der Strategie II führen dagegen zu einer deutlichen Reduzierung der fiktiven Kosten auf 6 bzw. 10 Mrd. DM bei Kostenvariante A und 0,5 bzw. 1 Mrd. DM bei Kostenvariante B.

#### *Nettowertschöpfung im Agrarsektor*

Die Nettowertschöpfung zu Faktorkosten geht wegen gesunkener Agrarpreise und einer geringeren Fleischproduktion auch dann, wenn keine Grundwasserschutzmaßnahmen realisiert werden, im Vergleich zu '1991' real drastisch zurück, und zwar um knapp die Hälfte auf 10,1 Mrd. DM. Die zur Kompensation der Auflagen in Wasserschutzgebieten erforderlichen Ausgleichszahlungen (Strategie I) belaufen sich auf 404 Mio. DM. Bei Strategie II beträgt die Nettowertschöpfung zu Faktorkosten bei Rückerstattung der N-Abgaben (612 Mio. DM) 8,5 Mrd. DM. Die Einkommen pro Arbeitskraft sinken wegen der Abwanderung von Arbeitskräften aus dem landwirtschaftlichen Sektor relativ weniger stark als das Sektoreinkommen. Die Pro-Kopf-Ein-

<sup>12</sup> Die realen monetären Größen beziehen sich auf die Kaufkraft von 1991. Unterstellt wurde eine Inflationsrate von 3 % p. a.

kommen liegen um 12 % (Strategie I) bis 25 % (Strategie II) unter dem Vergleichswert von '1991' und betragen im Sektordurchschnitt 26.100 DM bei Strategie I und 22.300 DM bei Strategie II.

## 6 Schlußfolgerungen

Stellt man dem Rückgang der potentiellen nitratbedingten Kosten für die Wasserwirtschaft die auflagebedingten Ausgleichszahlungen bzw. den Rückgang der Nettowertschöpfung zu Faktorkosten im Agrarsektor gegenüber und berücksichtigt zusätzlich die (geringfügige) Veränderung der im Rahmen der EU-Agrarreform gewährten Ausgleichszahlungen, ergibt sich bei Strategie I insgesamt ein Plus von gut 300 Mio. DM (s. Tab. 4).<sup>13</sup> Strategie II dagegen führt bei dieser Partialbetrachtung zu einem Wohlfahrtsverlust von knapp 1,1 Mrd. DM. Zieht man die fiktiven Kosten, die bei einer Berücksichtigung des gesamten neugebildeten Grundwassers entstehen, als Maßstab für die Monetarisierung der externen Effekte der Landwirtschaft in bezug auf das Grundwasser heran, bewirkt Strategie I eine Wohlfahrtssteigerung von 1,0 Mrd. DM, Strategie II eine Steigerung von 3,8 Mrd. DM.

Bei dieser Gegenüberstellung der Auswirkungen der Vorsorgestrategien auf Landwirtschaft und Grundwasser handelt es sich nicht um eine vollständige Kosten-Nutzen-Analyse. Hierfür wäre es vor allem erforderlich, mit Schattenpreisen anstelle der verwendeten Marktpreise zu rechnen und die mit den Strategien in unterschiedlicher Höhe verbundenen Transaktionskosten einzubeziehen. Außerdem wären die von den Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers bewirkten Auswirkungen auf andere Umweltmedien zu berücksichtigen.

**Tabelle 4:** Veränderung agrar- und wasserwirtschaftlicher Größen durch die Vorsorgestrategien im Vergleich zur Referenzsituation 2005 ohne Vorsorgemaßnahmen (real, in Mio. DM/Jahr)

	Strategie I	Strategie II
(1) Ausgleichszahlungen im Rahmen der Vorsorgestrategien	+404	±0 <sup>1)</sup>
(2) übrige Subventionen	-19	-48
(3) Agrareinkommen <sup>2)</sup>	±0	-1.540
(4) Zwischensumme [= -(1) - (2) + (3)]	-385	-1.492
(5) Potent. Kosten für die Wasserwirtschaft (gefördertes Grundwasser) <sup>3)</sup>	-706	-432
(6) Fiktive Kosten neugebildetes Grundwasser <sup>3)</sup> -	-1.431	-5.268
(7) Gesamteffekt bei Berücksichtigung der potent. Kosten (gefördertes Grundwasser) [= (4) - (5) ]	+321	-1.060
(8) Gesamteffekt bei Berücksichtigung der fiktiven Kosten (neugebildetes Grundwasser) [= (4) - (6) ]	+1.046	+3.776

<sup>1)</sup> Die Ausgleichszahlungen in Höhe von 612 Mio. DM werden von der Landwirtschaft über die N-Abgaben finanziert und deshalb hier nicht aufgeführt. <sup>2)</sup> In der Veränderung des Agrareinkommens (Nettowertschöpfung zu Faktorkosten im Agrarsektor) ist die Veränderung der Ausgleichszahlungen und der übrigen Subventionen enthalten. <sup>3)</sup> Kostenvariante A, alleinige Berücksichtigung der N-Einträge aus ldw. Flächen.

Quelle: WEINGARTEN (1996, S. 236).

<sup>13</sup> Die Angaben beziehen sich auf die Kostenvariante A bei alleiniger Berücksichtigung der N-Einträge aus ldw. Flächen.

## 7 Zusammenfassung

Mit dem weiterentwickelten "Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystem" (RAUMIS) werden für die alten Bundesländer flächendeckend auf Kreisebene differenzierte Analysen über die Auswirkungen von Grundwasserschutzmaßnahmen auf Landwirtschaft und Wasserwirtschaft durchgeführt. Da den zugrunde liegenden Ertragsfunktionen eine besondere Bedeutung für diese Analysen zukommt, werden verschiedene Ansätze zur Bestimmung von Ertragsfunktionen bei begrenzter Datenverfügbarkeit diskutiert.

Ausgehend von den kreisspezifisch ermittelten Stickstoffsalden der landwirtschaftlich genutzten Flächen werden unter Berücksichtigung der Grundwasserneubildung und der Annahme einer 50 %igen Denitrifikation potentielle Nitratkonzentrationen im neugebildeten Grundwasser berechnet. Auf der Basis der potentiellen Nitratkonzentrationen lassen sich dann potentielle nitratbedingte Kosten für die Wasserwirtschaft abschätzen.

Die Modellanalyse für das Simulationsjahr 2005 ergibt, daß die in Wasserschutzgebieten geltenden Maßnahmen der Strategie I gesamtwirtschaftlich vorteilhafter sind als der Verzicht auf Grundwasserschutzmaßnahmen. Die bundesweit unterstellten Maßnahmen der Strategie II (N-Abgaben etc.) führen dagegen zu gesamtwirtschaftlichen Verlusten, wenn lediglich die Reduzierung der Nitratbelastung des für Trinkwasserzwecke genutzten Grundwassers berücksichtigt wird. Wird das gesamte Grundwasser für schützenswert erachtet und stimmt man dem gewählten Ansatz zur Monetarisierung der Nitratbelastung des gesamten neugebildeten Grundwassers zu, wirkt Strategie II wohlfahrtssteigernd und ist vorzüglicher als Strategie I.

### Summary

The impacts of different ground water protecting policy measures on agriculture and water treatment plants are investigated using the further developed "Regionalised Agricultural and Environmental Information System" (RAUMIS). RAUMIS covers the former Federal Republic of Germany, divided into 240 regions (i. e. county level). Because of the importance of the implemented yield functions for the results of the analysis, different approaches of determining yield functions in the case of limited availability of data are discussed.

Potential nitrate concentrations of the ground water recharge are calculated in the model depending on the regional nitrogen surplus of the utilised agricultural area, the ground water recharge and the assumption that 50 % of the nitrogen surplus leaches into ground water. Then potential costs associated with treating the nitrate-polluted ground water for drinking purposes are estimated.

The model results show for the simulation year 2005 that the measures of strategy I, applied in water protection areas, are preferable to the renunciation of any protective measures from an economical point of view. But the nation-wide implemented measures of strategy II cause welfare losses, if only the reduction of nitrate concentrations of the ground water which is used for drinking purposes is taken into account in the evaluation process. If the entire ground water is seen worth to be protected and if the approach used for estimating the monetary value of the nitrate pollution in the recharged ground water is accepted, strategy II causes an increase in welfare and is preferable to strategy I.

## Literaturverzeichnis

- BÜTOW, E.; HOMANN, H. (1992): *Endbericht zum Forschungsvorhaben "Quantitative Analyse von Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers im Verursacherbereich Landwirtschaft" im Rahmen des TA-Projektes "Grundwasserschutz und Wasserversorgung"*. Berlin
- ENQUETE-KOMMISSION "SCHUTZ DER ERDATMOSPHÄRE" (1994): *Dritter Bericht der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" zum Thema Schutz der Grünen Erde - Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder - BT-Drucksache 12/8350*
- GEBHARD, H.-J. (1986): *Anpassungsmöglichkeiten landwirtschaftlicher Betriebe in Baden-Württemberg an eine Begrenzung des Einsatzes ertragssteigernder und ertragsichernder Produktionsmittel*. In: *Agrarwirtschaft, Sonderheft 108*
- HENRICHSMEYER, W. (1995): *Das Konzept des SPEL-Systems: Stand und Perspektiven*. In: BURRELL, A.; HENRICHSMEYER, W.; GARCIA ALVAREZ-COQUE, J. M.: *Agrarsektormodelle*. Eurostat, Themenkreis 5, Reihe E, Luxemburg, S. 29 - 53
- , CYPRIIS, C.; LÖHE, W.; MEUDT, M. (1996): *Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96 am Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, Agrarpolitik und Landwirtschaftliches Informationswesen der Universität Bonn*. *Agrarwirtschaft* 45, S. 213 - 215
- , DEHIO, J.; VON KAMPEN, R.; KREINS, P.; STROTMANN, B. (1992): *Endbericht zum Forschungsvorhaben "Aufbau eines computergestützten regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystems für die Bundesrepublik Deutschland" - Modellbeschreibung - (BMELF 88 HS 025)*, Bonn
- JAROSCH, J. (1990): *Methodik, Einsatzmöglichkeiten und Anwendung ökologisch-ökonomischer Planungsmodelle*. *Landwirtschaft und Umwelt, Schriften zur Umweltökonomik* 6, Kiel
- KLEINHANß, W. (1986): *Schätzung von Grenzertragsfunktionen des Stickstoffeinsatzes*. In: *Berichte über Landwirtschaft* 66, S. 236 - 268
- KÖSTER, W.; SEVERIN, K.; MÖHRING, D.; ZIEBELL, H.-D. (1988): *Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen landwirtschaftlich genutzter Böden der Bundesrepublik Deutschland von 1950 - 1986*. Hannover
- MEYER, R.; JÖRISSSEN, J.; SOCHER, M. (1993): *Teilbericht I, Vorsorgestrategien zum Grundwasserschutz für den Bereich Landwirtschaft*. In: *Deutscher Bundestag: Bericht des Ausschusses für Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung zur Technikfolgenabschätzung (TA), hier "Grundwasserschutz und Wasserversorgung"*. BT-Drucksache 12/8270, Bonn, S. 31 - 172
- PAEFFGEN, S. M. M. (1994): *Verfahren der pflanzenbaulichen Produktion in Baden-Württemberg und Modellierung der Agrarproduktion auf Kreisebene*. Wendlingen

WEINGARTEN, P. (1995): *Das "Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für die Bundesrepublik Deutschland" (RAUMIS)*. In: *Berichte über Landwirtschaft* 73, S. 272 - 303

— (1996): *Grundwasserschutz und Landwirtschaft. Eine quantitative Analyse von Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen*. In: *Landwirtschaft und Umwelt, Schriften zur Umweltökonomik* 13, Kiel

WENDLAND, F.; ALBERT, H.; BACH, R.; SCHMIDT, R. (Hrsg.) (1993): *Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland*. Berlin, Heidelberg

WENDLAND, F.: Forschungszentrum Jülich, schriftliche Mitteilung vom 26.05.1995