

# Indikatoren einer nachhaltigen Landwirtschaft im Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystem für die Bundesrepublik Deutschland (RAUMIS)

CHRISTIAN JULIUS; CHRISTINE MØLLER; BERNHARD OSTERBURG; STEFAN SIEBER

Indicators for a Sustainable Land Use in the „Regionalised Agricultural and Environmental Information System for Germany“ (RAUMIS)

According to the formulation of a political concept which centres on the principles of sustainable agricultural land use, agri-environmental aspects have gained an accretive importance within model based policy consultation. In this context, the following article illustrates the Regionalised Agricultural and Environmental Information System RAUMIS. It describes the state of development of the actual integration of agri-environmental indicators as well as analytical results and their applicatory suitability.

The main intention of using indicators within RAUMIS is to achieve a differentiated illustration of environmental impacts of agricultural land use in the context of actual-state analysis and prospective simulations.

**Key words:** sustainable development; model-based policy consultation; Regional Agricultural and Environmental Information System for Germany (RAUMIS); agri-environmental indicators

## Zusammenfassung

Mit der Formulierung des politischen Leitbildes einer an den Prinzipien der Nachhaltigkeit ausgerichteten Landwirtschaft haben agrar-umweltrelevante Aspekte in der modellgestützten Politikberatung an Bedeutung gewonnen. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Beitrag das regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem RAUMIS vorgestellt und ein Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand neu zu integrierender Umweltindikatoren sowie über Analyseergebnisse und deren praktische Anwendungseignung gegeben.

Wesentliches Ziel der Indikatorenanwendung im RAUMIS ist eine differenzierte Abbildung der Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Produktion im Rahmen von Ist-Zustands-, Prognose- und Simulationsuntersuchungen.

**Schlüsselwörter:** Nachhaltige Entwicklung; modellgestützte Politikberatung; Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland (RAUMIS); Agrar-Umweltindikatoren

## 1 Einleitung

Die positiven und negativen Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt sind in den letzten Jahren zunehmend in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses gerückt. Vor diesem Hintergrund ist die Integration von Umweltbelangen und die Förderung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung zu einem wichtigen Ziel der heutigen Agrarpolitik geworden. Als Grundlage für wissenschaftlich basierte Empfehlungen zur Integration von Umweltbelangen in die Agrarpolitik können quantitative Modellanalysen herangezogen werden, mit deren Hilfe die Kosten und Wirkungen alternativer politischer Maßnahmen abgeschätzt werden. Das Agrarsektormodell

RAUMIS wurde als Politikberatungsinstrument im Agrar- und Umweltbereich entwickelt und soll zur Analyse komplexer Zusammenhänge zwischen agrarpolitischen Vorgaben, Agrarproduktion und Umwelt beitragen.

Ziel des Artikels ist die Darstellung des Potenzials von RAUMIS als Instrument einer wissenschaftlich basierten Agrar-Umwelt-Politikberatung. Im Folgenden wird ein Überblick über den Modellansatz und bisherige Einsatzschwerpunkte des Modells gegeben. Daran anschließend werden neuere Modellentwicklungen zur verbesserten Abbildung von Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Umwelt dargestellt sowie Erfahrungen mit dem Einsatz umweltbezogener Modellanalysen in der Politikberatung vorgestellt. Abschließend wird ein Ausblick über zukünftige Nutzungsmöglichkeiten des Modellsystems RAUMIS zur Politikberatung im Agrar-Umweltbereich gegeben.

## 2 Beschreibung des Modells RAUMIS und Erfahrungen in der Politikberatung

Das Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland (RAUMIS) wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) am Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie der Universität Bonn entwickelt. Die aktuelle Version basiert auf einem Kooperationsprojekt, an dem die agrarökonomischen Institute der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig-Völkenrode sowie die Forschungsgesellschaft für Agrarsoziologie und Agrarpolitik e. V. (FAA) beteiligt waren (HENRICHSMEYER et al., 1996). Die Aktualisierung der Datenbasis und die laufende Weiterentwicklung des Informationssystems wird seit 1997 institutionenübergreifend von FAL und FAA durchgeführt.

Untersuchungsgegenstand des Modells ist der deutsche Agrarsektor, definiert nach der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung (LGR), der in einem prozessanalytischen Ansatz regional differenziert auf Kreisebene dargestellt wird. Zur *Ex-post*-Analyse und als Datengrundlage für Projektionen dient die strukturierte Zusammenführung unterschiedlicher Regional- und Sektoraten, vor allem der Agrarfachstatistik auf Kreisebene und der LGR. Ergänzend werden Normdaten, beispielsweise vom KTBL, Experteneinschätzungen und Ergebnisse anderer Modelle herangezogen. Für *Ex-ante*-Simulationsrechnungen im Zieljahr werden expertenbasierte Projektionen von Faktorkapazitäten, Erträgen und Inputkoeffizienten sowie Politikalternativen vorgegeben und mittels der mathematischen Programmierung die jeweils optimalen Produk-

tionsumfänge errechnet. Für detailliertere Darstellungen des Modellansatzes sei auf WEINGARTEN (1995 und 1996), CYPRIS (2000) und JACOBS (1998) verwiesen.

Die Entwicklung von Umweltindikatoren im RAUMIS erfolgte im Rahmen von Projekten und Dissertationsarbeiten. Im Rahmen solcher Arbeiten wurden Nährstoffbilanzierungen (KRÜLL 1988, WEINGARTEN 1996), Kalkulationen der Schadgasemissionen (MEUDT, 1998) und ein an Flächennutzungsart und Intensität geknüpfter Arten- und Biotopschutzindikator (THIELEMANN, 1991) im Modell implementiert. Die Modellabbildung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes wurde in einem auf Wasserschutzzielen ausgerichteten Projekt verbessert (DEHIO, 1993). In Abhängigkeit von zusätzlich zu erhebenden Datengrundlagen können sich aus der Projektorientierung erhebliche Probleme für die Modellpflege und Aktualisierung ergeben. Dies gilt beispielsweise für die Arbeiten zum Pflanzenschutz, die Anfang der 90er Jahre durchgeführt wurden und heute ohne umfassende Aktualisierung der Datengrundlagen nicht mehr sinnvoll einsetzbar sind. Ebenso wie die Datengrundlagen sind die verwendeten Methoden an die aktuellen, national oder international vereinbarten Berechnungswege anzupassen, wie sie zum Beispiel für Schadgasemissionen vorliegen.

Der Einsatz des Agrarsektormodells RAUMIS für die Politikberatung und zur Unterstützung politischer Entscheidungen des BML bzw. BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) hat sich in der Vergangenheit auf die Ausgestaltung der Markt- und Preispolitik und der Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU konzentriert. Beispiele für Anwendungen im Rahmen des FAL-Modellverbunds sind Analysen der Vorschläge und der endgültigen Beschlüsse zur Agenda 2000 (KLEINHANSS et al., 1998 und 1999), zur Zukunft der Milchquote (KLEINHANSS et al., 2001) und zur alternativen Ausgestaltung der Tierprämien (KLEINHANSS et al., 2002). In Kooperation zwischen FAA und FAL erfolgten des Weiteren Arbeiten zur Weiterentwicklung der Preisausgleichszahlungen (CYPRIS et al., 1997) und zu den Vorschlägen der EU-Kommission im Rahmen der Zwischenbewertung der Agenda 2000 (BERTELSMEIER et al., 2002). Im Modellverbund fungiert RAUMIS einerseits als sektorales Angebotsmodell und andererseits als Analyseinstrument zur Abschätzung regionaler Wirkungen (MANEGOLD et al., 1999).

In der Vergangenheit wurden Auswirkungen alternativer Politikszenerarien auf Umweltparameter im Rahmen der Modellanalysen nicht oder nur nachrangig betrachtet. Vor dem Hintergrund zunehmender Vorgaben durch die EU-Umweltgesetzgebung und internationale Verpflichtungen ist auch im Umweltbereich ein zunehmender Entscheidungsbedarf entstanden, der zu einer stärkeren Nachfrage nach umweltbezogenen Modellanalysen geführt hat<sup>1)</sup>. Im folgenden Abschnitt werden aktuelle Weiterentwicklungen des Modellsystems RAUMIS im Umweltbereich sowie Ergebnisse und deren Anwendungseignung vorgestellt.

### 3 Integration von Umweltindikatoren in das Modellsystem

#### 3.1 Rahmenbedingungen und Zielsetzungen

Die landwirtschaftliche Produktion ist mit einer Reihe von Umwelteinflüssen verknüpft, die in ihrer Wirkung wenig transparente positive und negative Effekte aufweisen (RUDLOFF et al., 1998). Die hieraus resultierenden Forderungen nach Möglichkeiten der Quantifizierung und Bewertung des landwirtschaftlichen Umwelteinflusses haben zur Entwicklung von Agrar-Umweltindikatoren sowie deren Integration in Umweltinformationssysteme geführt. Anforderungen an diese Indikatoren sowie deren Anwendungsfelder werden durch das Driving-force-State-Response-Modell (DSR) der OECD (2001) veranschaulicht. Grundsätzlich sollte ein Agrar-Umweltindikator laut OECD (1997) ein hohes Maß an Politikrelevanz besitzen, den aktuellen Stand der Forschung berücksichtigen und in wissenschaftlicher Hinsicht fundiert sein, auf einer Datengrundlage beruhen, die in einem angemessenen Kosten-Nutzen-Verhältnis erhebbare ist sowie leicht für die Öffentlichkeit und insbesondere für politische Entscheidungsträger nachvollziehbar sein. WALZ et al. (1997) fordern darüber hinaus den klaren Wirkungszusammenhang zwischen Indikator und der zu beschreibenden Umweltwirkung. Eine maßgebliche Stellgröße bei der Auswahl eines Indikators sehen CHRISTEN und O'HALLORAN-WIETHOLZ (2001) in der Festlegung des Skalenniveaus und der Systemgrenzen sowie bei der primären Zielsetzung eines Bewertungsansatzes. So stehen bei der landwirtschaftlichen Verwaltung Anforderungen an den finanziellen und personellen Aufwand zur Datenerfassung und an die anschließende Betriebsbeurteilung als Entscheidungsgrundlage im Vordergrund, während für einen landwirtschaftlichen Betrieb die Kausalzusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Betriebszweigen nachvollziehbar abgebildet werden müssen (CHRISTEN und O'HALLORAN-WIETHOLZ, 2001, S. 20 f.).

Bezieht man die oben genannten Anforderungen auf die Anwendungsmöglichkeiten von Agrar-Umweltindikatoren im RAUMIS, so wirken vor allem die regionale Abbildungsebene des Modells sowie die sich daraus ergebende begrenzte Datenverfügbarkeit einschränkend (HENRICHSMeyer et al., 1996). Ziel der Integration von Umweltindikatoren in das Agrarsektormodell RAUMIS ist es, quantitative Umweltinformationen für die Überprüfung der Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktionsverfahren (Umwelt-Controlling) sowie für die Formulierung und Evaluierung von agrarumweltpolitischen Maßnahmen bereitzustellen (VON MÜNCHHAUSEN und NIEBERG, 1997). Im RAUMIS kommen vornehmlich Pressure- bzw. Driving-force-Indikatoren zum Einsatz, die sich aufgrund ihrer unmittelbaren Abhängigkeit von der landwirtschaftlichen Produktion auf Basis von Verfahrensdaten errechnen lassen. Die Abbildung von Zustandsindikatoren auf mikro- und mesoskaliger Ebene (z. B. produktionsunabhängige naturräumlich gegliederte Flächenanteile in der Agrarlandschaft) ist nicht Analyseziel und auch nicht sinnvoll als endogene Variablen modellierbar. Vor diesem Hintergrund kann das Modell RAUMIS makroskalige Indikatoren über Material-, Energiefluss-, Emittenten-, und Land-

1) Dies gilt besonders für den etablierten Agrar-Umweltindikator „Stickstoff-Bilanzsaldo“, der gegenwärtig in einer Reihe von F- und E-Vorhaben und in der Politikberatung an FAA und FAL im Rahmen von RAUMIS-Analysen modellierend angewendet wird.

nutzungsinformationen auf verschiedenen Aggregationsstufen darstellen. Methodisch stehen reine Ex-post-Abbildungen für die klassische Umweltberichterstattung und Ex-ante-Simulationen mit Schwerpunkt auf einer Beratung politischer Entscheidungsträger zur Verfügung (HENRICHSMEYER et al., 1996). RAUMIS kann zwei wesentliche Nachfrageebenen von Umweltdaten bedienen:

1) Für die internationale Umweltberichterstattung können RAUMIS-Ergebnisse bei der Erfüllung der im Rahmen internationaler Konventionen entstehenden Berichtspflichten, wie bspw. das 'Nationale Emissionsinventar' der UN-Klimarahmenkonvention (IPCC, 2001), verwendet werden. Die Indikatormethode wird institutionell vorgegeben und meist im Top-down-Ansatz auf nationaler Ebene implementiert (OECD, 2001), wobei jedoch Spielräume für die Anpassung an nationale Gegebenheiten bestehen. Auf Bundesebene können RAUMIS-Ergebnisse Beiträge für die nationale Umweltberichterstattung ('Daten zur Umwelt') liefern, deren Durchführung durch das auf einer europäischen Richtlinie basierende Umweltinformationsgesetz verpflichtend vorgegeben ist (Umweltbundesamt, 2000). Darüber hinaus liefert RAUMIS Beiträge für alternative Umwelt-Rechnungsansätze wie bspw. die Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR) des Statistischen Bundesamtes (RUDLOFF et al., 1998)<sup>2</sup>). Durch die Kopplung des Agrarsektormodells RAUMIS mit naturwissenschaftlich basierten Modellen besteht die Möglichkeit, eine Brücke von Driving-force- zu State-Indikatoren zu schlagen und die Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Produktion als 'potenziellen' Umweltzustand differenzierter abzubilden.

2) Ein weiteres Anwendungsfeld des Modells ist die Analyse politischer Maßnahmen zur Erreichung von Umweltzielen und die Simulation von Zukunftsszenarien. Neben der Ex-post Abschätzung von bereits bestehenden Politikmaßnahmen dienen Politikfolgenabschätzungen vor allem zur Bewertung künftiger agrar-umweltpolitischer Handlungsoptionen. Der Einsatz des Modells kann zum einen zur Abschätzung der Umwelteffekte dienen, die durch ein komplexes Bündel von gleichzeitig wirkenden agrarpolitischen Maßnahmen unter Berücksichtigung des zu erwartenden, technologischen Wandels verursacht werden können (z.B. AGENDA 2000). Zum anderen ist RAUMIS geeignet, spezielle agrar-umweltpolitische Maßnahmen im Hinblick auf ihr umweltpolitisches Verbesserungspotenzial und die Auswirkungen auf landwirtschaftliche Produktion und Einkommen zu bewerten und zu vergleichen (VON MÜNCHHAUSEN und NIEBERG, 1997).

Zwar liegen konzeptionelle Vorschläge für den Einsatz von RAUMIS in der laufenden Agrarumwelt-Berichterstattung vor (vgl. RUDLOFF et al., 1998; SCHRAMEK et al., 2002), bestehende Berichtspflichten werden aber bisher nicht durch RAUMIS, sondern durch Berechnungen alternativer Modelle bedient, bspw. aufbauend auf Tabellenkalkulationsprogrammen (vgl. z. B. zu Ammoniak DÖHLER et al., 2002). Diese Ansätze können bezüglich Transparenz und Weitergabemöglichkeit Vorteile auf-

weisen, stoßen jedoch bei komplexeren, stark nach Regionen und Verfahren differenzierten Berechnungsmethoden schnell an Grenzen. Der aktuelle Einsatz von RAUMIS im Agrarumweltbereich bezieht sich vor allem auf das Feld der Politikfolgenabschätzung, Simulation und Prognose. Um eine Kompatibilität mit der Umweltberichterstattung zu gewährleisten, werden auch für die Ex-ante-Analysen und die Politikfolgenabschätzung national oder international festgelegte Berechnungswege und standardisierte Koeffizienten für Umweltindikatoren im Modell übernommen. Hierdurch kann RAUMIS grundsätzlich auch für die auf Ex-post-Daten basierende Berichterstattung genutzt werden.

## 3.2 Abschätzung der Ammoniakemissionen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung

### 3.2.1 Stand und Entwicklung

Etwa 90 % der gesamten Ammoniakemissionen in Deutschland stammen aus landwirtschaftlichen Quellen, der größte Teil davon aus der Tierhaltung. Der Eintrag von Stickstoff aus landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen führt zu Versauerung und Eutrophierung von Wäldern, Mooren und anderen Ökosystemen und gefährdet damit die Stabilität dieser Systeme. Vor diesem Hintergrund hat sich Deutschland im "Protokoll zur Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und boden-nahem Ozon" im Rahmen des Genfer Luftreinhalteabkommens (UN/ECE, 1999) sowie im Rahmen der EU-Richtlinie 2001/81/EG vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmenge für bestimmte Luftschadstoffe dazu verpflichtet, die jährlichen Ammoniakemissionen bis zum Jahr 2010 auf 550 000 t zu senken. Mit diesen internationalen Vereinbarungen ist auch eine Berichtspflicht zu den atmosphärischen Emissionen Deutschlands verbunden.

Emissionen aus der Landwirtschaft wurden bisher aufgrund ungenügender Kenntnisse, aber auch wegen fehlender Datengrundlagen und unzureichender Aufbereitung des verfügbaren Datenmaterials nach Einfachverfahren abgeschätzt. Die Verwendung einheitlicher Emissionsfaktoren pro Aktivität, zum Beispiel pro Milchkuh, wie sie bei Einfachverfahren verwendet werden, erlaubt weder eine Abschätzung von Minderungspotenzialen durch technische Neuerungen noch die Berücksichtigung realisierter, emissionsmindernder Maßnahmen. Zu Veränderungen in den Inventaren kommt es bei dieser Vorgehensweise nur durch die Änderung der Aktivitätsumfänge, beispielsweise durch einen Tierbestandsabbau. Für die Bestimmung umweltpolitisch notwendiger Schritte und eine realistischere Abschätzung der landwirtschaftlichen Emissionen wird daher eine verbesserte, stärker nach Verfahren und Managementmaßnahmen disaggregierte Emissionsberechnung benötigt.

Vor diesem Hintergrund wurde in einem von BMVEL und UBA (Umweltbundesamt) geförderten Forschungsvorhaben, das durch das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und das Institut für Agrartechnik in Potsdam-Bornim (ATB) bearbeitet wurde, eine verbesserte, mit bestehenden Vorschriften konforme Berechnungsmethode für Ammo-

2) Zur Nutzung des Modells RAUMIS für die Umweltgesamtrechnungen im Bereich Landwirtschaft begann Anfang 2003 im Auftrag des Statistischen Bundesamtes ein Pilotprojekt an der FAL.

niakemissionen entwickelt (DÖHLER et al., 2001; OSTERBURG et al., 2002). Aufgrund ihrer großen Bedeutung für die Ammoniakemissionen stand dabei eine möglichst differenzierte Abbildung der Tierhaltung im Mittelpunkt.

### 3.2.2 Methodik

RAUMIS wurde im Projekt für die Abschätzung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft im Basisjahr 1990 sowie in den Jahren 1995 und 1999 eingesetzt. Weiterhin wurden Projektionen der Entwicklung der Ammoniakemissionen bis zum Jahr 2010 sowie unterschiedliche Szenarien zur Abschätzung erreichbarer Emissionsminderungen unter Berücksichtigung der Minderungspotenziale und Kosten ausgewählter Maßnahmen kalkuliert. Dazu wurden die Tierhaltungsverfahren in Teilprozesse untergliedert. Eine differenzierte Darstellung erfolgt nach Art und Dauer der Stall- und Weidehaltung, Art des Wirtschaftsdüngers und dessen Lagerung, Technik und Zeitpunkt der Dungausbringung, den durchschnittlichen klimatischen Verhältnissen während der Ausbringung, Nutzung der Ausbringungsflächen und Einarbeitung von Dung. Die N-Ausscheidungen pro Stallplatz und Jahr werden in Abhängigkeit von der Fütterung bestimmt. Die Differenzierung der Tierproduktionsverfahren in Teilprozesse setzt voraus, dass für alle Teilprozesse Emissionsfaktoren festgelegt werden können. Nur wenn sich die Teilprozesse eindeutig voneinander abgrenzen lassen, sich die zugehörigen Emissionsfaktoren voneinander unterscheiden und Daten über die realisierten Prozessumfänge erhoben werden können, ist eine Differenzierung sinnvoll.

Im Forschungsvorhaben wurden die Verfahren der Milchkuhhaltung und der Schweinemast als Tierproduktionsverfahren mit hohen Anteilen an den gesamten Ammoniakemissionen besonders stark differenziert. Auch die Mutterkuh- und Färsenhaltung, Bullenmast, Zuchtsauen und Legehennen sowie die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger wurden in unterschiedliche Verfahren aufgeschlüsselt. Die zugehörigen E-Faktoren wurden durch Literaturanalysen ermittelt und in einer KTBL-Arbeitsgruppe zu Emissionsfaktoren und Minderungsmaßnahmen abgestimmt.

Während statistische Daten zur Flächennutzung und zu Viehbeständen vorliegen, fehlen in der Agrarstatistik Informationen für eine weitere Differenzierung der Produktionsverfahren. Um diese fehlenden Daten zu ergänzen, wurden Befragungen in elf Regionen der Bundesrepublik durchgeführt. Mit Hilfe einer Clusteranalyse wurden unter Berücksichtigung von Strukturdaten der Tierhaltung, der Landnutzung und natürlicher Bedingungen Regionen mit ähnlicher Tierhaltungsstruktur und naturräumlicher Ausstattung gebildet. In diesen Regionen wurden in jeweils ein oder zwei Landkreisen Experten der lokalen Landwirtschaft nach Details der gängigen Produktionsverfahren und zukünftig zu erwartenden Entwicklungen befragt. Die Erfassung von Verfahren erfolgte in den Befragungen für die Jahre 1990 und 2000, darüber hinaus wurde nach einer Einschätzung der Situation im Jahr 2010 gefragt. Die nach Tierbestandsgrößenklassen differenzierten Befragungsergebnisse wurden anhand einer Hochrechnung unter Berücksichtigung der

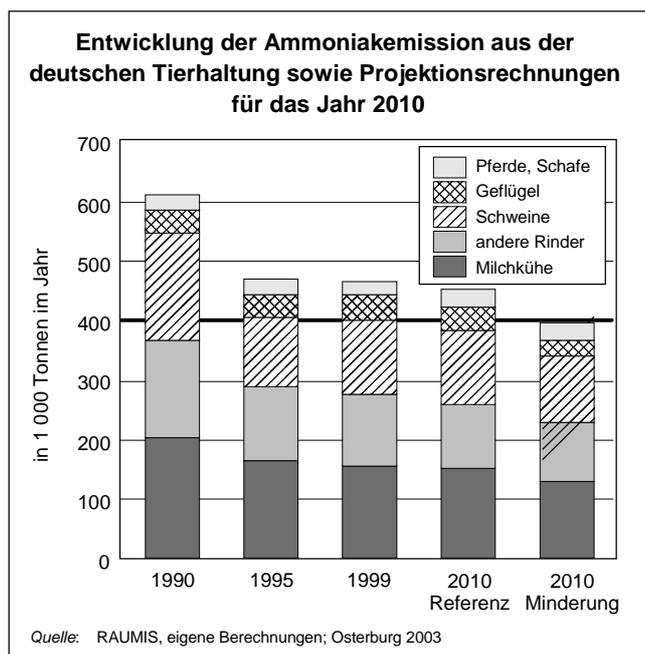
regionalen Tierbestandsgrößenklassenstruktur auf alle anderen Kreise innerhalb der jeweiligen Region übertragen. Da die Ausbringungszeiten und gedüngten Flächen vom jeweiligen, regionalen Verhältnis der Tierhaltung und der Flächennutzung sowie von der Lagerungsdauer abhängig sind, wurden diese mit Hilfe des Agrarsektormodells RAUMIS geschätzt. Die Emissionsfaktoren der Ausbringung wurden unter Verwendung von Daten des Deutschen Wetterdienstes in Abhängigkeit von der Jahreszeit und der mittleren regionalen Temperatur für diese Zeiten berechnet. In einer weiteren Expertengruppe wurden darüber hinaus die Annahmen zur Tierbestandsentwicklung für die Szenariorechnungen diskutiert.

### 3.2.3 Ergebnisse und deren Anwendungseignung

Die Szenariorechnungen zeigen, dass das Ziel, die Ammoniakemissionen bis zum Jahre 2010 auf 550 000 t zu reduzieren, allein aufgrund der geschätzten Annahme der Tierbestände voraussichtlich nicht zu erreichen ist. Dafür müssten die Emissionen aus der Tierhaltung unter Berücksichtigung anderer NH<sub>3</sub>-Quellen auf ca. 400 000 t im Jahr gesenkt werden (vgl. Abb. 1). Es müssen daher umweltpolitische Maßnahmen ergriffen werden, um die Verbreitung technischer Minderungsmaßnahmen zu unterstützen. Als technische Ansatzstellen mit einem hohen Potenzial für die Minderung der Ammoniakemissionen sind auf Grundlage der Szenariorechnungen bei Rindern die Wirtschaftsdüngerausbringung und die Güllelagerkapazität zu nennen, bei Schweinen die Lagerabdeckung, die Ausbringung und die N-angepasste Fütterung. Bei allen Tierarten stellt die unverzügliche Einarbeitung der Wirtschaftsdünger nach der Ausbringung eine wirksame und kostengünstige Maßnahme dar. Die zusätzlichen Kosten für die Minderungsmaßnahmen erreichen bei den berechneten Szenarien 5 bis 6 Euro pro kg geminderte Ammoniakemission. Ein Dilemma für die Politik ergibt sich daraus, dass es nur wenige Maßnahmen mit geringen Kosten pro Einheit geminderte Ammoniakemission gibt, die gleichzeitig auch gut zu kontrollieren sind. Die Kontrollierbarkeit ist jedoch eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung politischer Maßnahmen wie Auflagen oder Förderung.

Auf Grundlage der Vorarbeiten des Projekts konnten im Frühjahr 2002 innerhalb weniger Wochen Szenariorechnungen für das Jahr 2010 über Maßnahmen zur Erreichung der für Deutschland festgelegten Emissionshöchstgrenzen für Ammoniak aufgestellt werden. Die Ergebnisse wurden als Entscheidungsgrundlage für das Nationale Programm der Bundesrepublik Deutschland nach Art. 6 der Richtlinie 2001/81/EG vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe herangezogen. Als Minderungsmaßnahmen soll künftig unter anderem die unverzügliche Einarbeitung von Wirtschaftsdünger auf unbewachsenen Flächen und der Einsatz bodennaher Ausbringungstechniken verbindlicher umgesetzt werden. Weitergehende Auflagen wie Güllelagerabdeckung und N-angepasste Fütterung sind in Tierbeständen vorgesehen, die nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigungspflichtig sind. Die Anzahl betroffener Tierhaltungsbetriebe wurde durch die Erweiterung der Genehmigungspflichten in der 4. Bundes-Immissions-

schutzverordnung erheblich erhöht. Dadurch ist kalkulatorisch eine Emissionsminderung auf unter 400 000 t erreichbar (vgl. Abb. 1, Szenario „2010\_Minderung“).



**Abbildung 1**

Für zukünftige Emissionsberechnungen sollte durch regelmäßige Erhebungen eine statistische Datenbasis für die Abbildung der Stall- und Weidehaltung sowie der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung geschaffen werden. Seit Abschluss des Projekts im Frühjahr 2001 liegt ein Schwerpunkt weiterer Entwicklungsarbeiten auf der Überprüfung und Verbesserung dieser Datengrundlagen. Bei einem Versuch, im Dialog mit dem BMVEL die Agrarstrukturhebung um einige, für die Ammoniakemissionen besonders relevante Merkmale zu erweitern, zeigte sich angesichts des Bedarfs an detaillierten Informationen zum betrieblichen Management allerdings, dass aufgrund der begrenzten Anzahl möglicher neuer Variablen und finanzieller Restriktionen schnell die Grenzen der bestehenden, agrarstatistischer Erhebungen erreicht sind. Daher gehen weitere Überlegungen auch in Richtung alternativer Betriebs- und Expertenbefragungen. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich in Bezug auf die Bewertung von Strategien zur Emissionsminderung, bei der Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Emissionsbereichen wie Nitratbelastung des Grundwassers, Lachgasemissionen und Ammoniakverlusten berücksichtigt werden.

### 3.3 Regionalisierte Abbildung des Pflanzenschutzmittelrisikos in Deutschland

#### 3.3.1 Stand und Entwicklung

Pflanzenschutzmitteleinträge aus landwirtschaftlichen Anwendungen in Grund- und Oberflächengewässer sowie Luft und Boden stellen Belastungen dar, die trotz der oft sehr geringen stofflichen Konzentration besonders auf biotische Schutzgüter negative Wirkungen entfalten. Um die komplexen Zusammenhänge zwischen ausgebrachten Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und der Umwelt in einem Indikator abzubilden, ist eine konsistente

Methode zur Berücksichtigung der Vielzahl variabler Bestimmungsfaktoren für verschiedenartige Gefahren für die Umwelt zu einem repräsentativen Index gefragt. Zu diesen Bestimmungsfaktoren zählen die unterschiedliche Toxizität der Wirkstoffe mit jeweils spezifischer Sensibilität des geschädigten Bereichs – zum Beispiel aquatische Lebensgemeinschaften –, die hohen Varianzen bei der Pflanzenschutzmittelausbringung (Applikationsmenge, -zeitpunkt, -folge) und die unterschiedlichen natürlichen Standortbedingungen, die den Eintrag in die Gewässer beeinflussen. Die örtliche Gefahr, die von Pflanzenschutzmitteln ausgeht, variiert erheblich in Abhängigkeit des Zusammenspiels dieser Bestimmungsfaktoren (CORELL et al., 1994).

Im Modell RAUMIS fand bis heute ein monetärer Ansatz zur Abbildung des Pflanzenschutzmittelrisikos Anwendung, indem der mittlere monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand eines Jahres in Abhängigkeit der Fruchtarten geschätzt wird (HENRICHSMEYER et al., 1996). Dieser Indikator ist zur groben Ausweisung von Problemregionen geeignet, führt jedoch im Vergleich zu einer ökotoxikologischen Betrachtung zu einer verzerrten Abbildung. Beispielsweise sind Wirkstoffe im Obstbau teurer, jedoch nach ökotoxikologischen Gesichtspunkten für die Umwelt nicht zwingend gefährlicher.

Aus diesem Grunde ist für RAUMIS ein Indikator entwickelt und implementiert worden, der auf regionaler Ebene die potenzielle Gefahr, die durch diffuse Pflanzenschutzmitteleinträge von landwirtschaftlichen Flächen in Oberflächengewässer entstehen kann, ex post für aquatische Lebensgemeinschaften in Oberflächengewässern abschätzt. Punkteinträge wie z.B. Hofabläufe werden nicht berücksichtigt (FREDE et al., 1998).

#### 3.3.2 Methodik

Die Methodik besteht aus drei wesentlichen Berechnungsschritten:

1) Zur Berechnung der Risikopotenziale werden quantitative Kenngrößen dreier nationaler Analyseinstrumente zu einem Konsistenzrahmen miteinander verknüpft. Durch das Modell SYNOPOS der Biologischen Bundesanstalt konnten die laut Pflanzenschutzmittelzulassung im Jahre 2000 eingesetzten Wirkstoffe (Herbizide, Fungizide, Insektizide) mit Hilfe ausgewählter Stellvertreterorganismen (Daphnia, Algen, Fische) ökotoxikologisch bewertet und auf die Landnutzungsverfahren gemäß der Bodennutzungshaupterhebung (u.a. Feldfrüchte im Ackerbau, Obstbau, Weinbau, Gemüsebau) mengengewichtet übertragen werden. Das Berechnungsverfahren erfolgte auf Grundlage der Annahme eines Eintrags in Oberflächengewässer, bei dem die Menge an eingetragenen Wirkstoffen über konstante Raten des Run-off und der Spray-drift ökotoxikologisch bewertet wurden. Dies setzt eingangs die Annahme konstanter natürlicher Standortfaktoren (Hangneigung, Bodentyp, Niederschlag, Gewässernetzdichte) voraus, deren Variation unter 3) berücksichtigt wird.

Auf Basis der bundesweiten Stichprobe NETPUN der Biologischen Bundesanstalt wurde die bundesdurchschnittliche Intensität des fruchtartenspezifischen Pflanzenschutzmitteleinsatzes (Behandlungsindex) für das

Jahr 2000 bestimmt und mit den SYNOPSIS-Kennziffern der ökotoxikologischen Bewertung gewichtet. Der Behandlungsindex ist definiert als die Anzahl der in einer Fruchtart eingesetzten Pflanzenschutzmittel (getrennt nach den Wirkungsbereichen Herbizide, Fungizide, Insektizide) und normiert auf die Anbaufläche der Fruchtart sowie auf die in der Zulassung ausgewiesene Aufwandmenge (GUTSCHE et al., 2002). Im Ergebnis konnte für jede betrachtete Fruchtart ein relatives Risikopotenzial als Toxizitätsindex berechnet werden.

Die im Agrarsektormodell RAUMIS implementierte Bodennutzungshaupterhebung wurde als Umsetzungsinstrument zur bundesweiten Abbildung der Risikopotenziale (HENRICHSMEYER et al., 1996) genutzt, indem die berechneten Risikopotenziale auf die im RAUMIS definierten Pflanzenbauverfahren übertragen wurden. Das Modell berechnet auf Landkreisebene als tiefste regionale Einheit ein flächengewichtetes Risikopotenzial, das nach einzelnen Landnutzungsverfahren und -aggregaten 'redifferenziert' analysiert werden kann.

2) Aufbauend auf der Berechnung bundesdurchschnittlicher Risikopotenziale unter 1) findet mittels der Erhebung NEPTUN eine Anpassung der Risikopotenziale an die regional differenzierte Intensität der Pflanzenschutzmittelbehandlung statt. Bestimmungsfaktoren für diese regionale Differenzierung sind das Applikationsverhalten der Landwirte (Abweichung vom Rationalprinzip), der Krankheitsdruck, die Ertragspotenziale (Ertragssicherung bei Hohertragsorten) und der Sorteneinsatz. Zur Berechnung wurden die fruchtartenspezifischen regionalen Behandlungsindizes je Erhebungsgebiet (50 Boden-Klima-Regionen) von NEPTUN auf die 326 Landkreise im RAUMIS über die Flächenanteile mittels GIS konsistent verschnitten. Durch NEPTUN 2000 liegen regionalisierte Behandlungsindizes für alle Ackerbauverfahren vor (GUTSCHE et al., 2002).

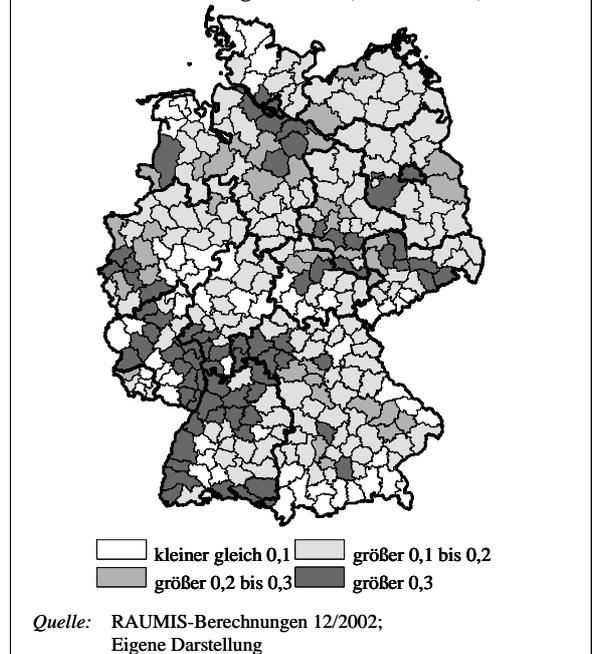
3) Der Einbezug der natürlichen Standortfaktoren zur Anpassung des Risikos an die natürlichen Standortbedingungen benötigt landkreisspezifische Informationen über die durchschnittliche Hangneigung, die Bodenart, den Niederschlag und die Gewässernetzdichte. Ihr Einfluss wird durch eine Funktionsschätzung als Abweichung vom bundesdurchschnittlichen Risiko einbezogen. Basierend auf dem Bewertungsverfahren unter 1) konnte für jeden natürlichen Standortfaktor eine Risikofunktion in Abhängigkeit von Hangneigung, Bodentyp, Niederschlag und Gewässernetzdichte (c.p.) geschätzt werden. Hierfür mussten die aus verschiedenen Quellen (ATKIS, DWD, BÜK) stammenden digitalen Datensätze der oben genannten natürlichen Standortfaktoren mit den im RAUMIS definierten 326 Landkreisen unter Einbezug von GIS verschnitten werden. Im Ergebnis werden die Risikopotenziale um den landkreisspezifischen Standorteinfluss angepasst.

### 3.3.3 Ergebnisse und deren Anwendungseignung

Abbildung 2 zeigt das durchschnittliche Risikopotenzial ohne den Einbezug des Einflusses der natürlichen Standortfaktoren auf, das von der Summe aller im RAUMIS definierten Früchte für aquatische Lebensgemeinschaften in Oberflächengewässern ausgeht.

Dieses Risiko kann nach Fruchtgruppen und Wirkstoffen differenziert analysiert werden. Der hier als 'Risikopotenzial' bezeichnete Umweltindikator eignet sich durch seine regionale Abbildungsebene für ein Umweltcontrolling, das zum einen der verbesserten Umweltberichterstattung (u.a. OECD, 2001) dient und zum anderen unter spezifischen Annahmen eine differenziertere Umweltpolitikberatung (*Ex-Post-Analyse*, Prognose, Simulation) erlaubt.

**Risikopotenzial der Summe aller im RAUMIS definierten Früchte für aquatische Lebensgemeinschaften in Oberflächengewässern (Relativindex)**



**Abbildung 2**

## 3.4 Indikation der Wassererosion auf Ackerflächen in Nordrhein-Westfalen

### 3.4.1 Stand und Entwicklung

Im Zusammenhang mit der globalen Zielvorstellung einer nachhaltigen Entwicklung rücken auch die komplexen Wechselwirkungen zwischen moderner, d.h. von zunehmender Intensivierung, Spezialisierung, Marginalisierung und Konzentration geprägter Landwirtschaft und dem Umweltmedium Boden zunehmend in das Interesse der politischen Entscheidungsträger. In Deutschland wurde mit dem im Jahre 1998 verabschiedeten Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)<sup>3)</sup> der Schutz des Bodens erstmals bundeseinheitlich gesetzlich geregelt und somit eine Gleichrangigkeit der Schutzgüter Wasser, Luft und Boden erreicht. Bezogen auf die landwirtschaftliche Bodennutzung ist besonders der vierte Teil des BBodSchG von Bedeutung. Neben Vorsorgemaßnahmen gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen sind auch Abwehrmaßnahmen gegen Gefahren, die aus schädlichen Bodenveränderungen resultieren können, zu treffen. Hier wird auf die *gute fachliche Pra-*

3) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten, BBodSchG - Bundes-Bodenschutzgesetz, vom 17. März 1998 (BGBl. I 1998, S. 502; 2001, S. 2331).

xis in der Landwirtschaft hingewiesen (§17, Absatz 1 und 2), die zur Erfüllung der Vorsorgepflicht im Rahmen der landwirtschaftlichen Bodennutzung (§7 in Teil 2) dient. Zum Vollzug und zur Ergänzung des BBodSchG sind untergesetzliche Regelungen von den einzelnen Ländern auszugestalten. Dies ist in Nordrhein-Westfalen mit dem Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des BBodSchG<sup>4</sup>) realisiert worden. Neben den Ausführungsbestimmungen für den Vollzug wurden auf dem Gebiet der Gefahrenabwehr und der Vorsorge Ergänzungen vorgenommen. Diese betreffen unter anderem die Möglichkeit der Ausweisung von Bodenschutzgebieten sowie die Entwicklung gesetzlicher Instrumentarien wie Dauerbeobachtungsflächen und Informationssysteme für den Bodenschutz. War der Boden auch auf Ebene der Europäischen Gemeinschaften bislang nicht Gegenstand umfassender Regelungen, so wird in Brüssel inzwischen an der Entwicklung einer spezifischen Bodenschutzstrategie<sup>5</sup>) gearbeitet. Kernprinzipien dieser Strategie sind Prävention, Überwachung der Böden und Einführung der Umwelthaftung. Bis Juni 2004 wird die Kommission konkrete Vorschläge bezüglich eines einzurichtenden Bodenüberwachungssystems vorlegen. Weiteres elementares Anliegen der Strategie ist die fortschreitende Integration der Bodenschutzbelange in die Gemeinschaftspolitiken, wobei der Fokus in besonderem Maße auf die Gemeinsame Agrarpolitik und die Politik zur Entwicklung des ländlichen Raums gerichtet ist.

Die beschriebenen Entwicklungen auf den unterschiedlichen Regelungsebenen verdeutlichen den zunehmenden bodenschutzbezogenen Informationsbedarf von Seiten der Politik. Zweckdienlich, jedoch bislang größtenteils nicht existent, sind flächendeckende, auf Aggregation lokaler und regionaler Daten basierende umfassende Bodenschutzindikatoren, die Aussagen über aktuelle Gefährdungssituation und Wirkungszusammenhänge alternativer politischer Maßnahmen zulassen. Aufgrund seines derzeitigen Abbildungsvermögens und zukünftigen –potenzials vor allem im Hinblick auf die kleinräumige Landnutzung bietet RAUMIS günstige Voraussetzungen zur Integration eines Bodenschutzindikators „Bodenerosion durch Wasser“. Im Rahmen des vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen Verbundprojektes „Bundesweite Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Agrarstatistikdaten und aktuellen Daten zur Bodennutzung“ (ERHARD et al., 2001), das vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V. (PIK) gemeinsam mit der FAA bearbeitet worden ist, erstellte das PIK eine Karte der aktuellen Landnutzung in der Bundesrepublik, auf deren Basis differenziertere Erosionskalkulationen unter Anwendung der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) durchgeführt werden konnten. Einen Fortschritt bedeutete diese Verbesserung insbesondere auch für das Bundesland Nordrhein-Westfalen, wo flächendeckend bislang lediglich eine Übersicht über das bodenerosive Gefährdungspotenzial vorlag (HOEGEN et al., 1995). Aufbauend auf den genannten

Forschungsergebnissen wird an der FAA Bonn zurzeit an der Implementierung eines Erosionsindikators in das Modellsystem RAUMIS gearbeitet.

#### 3.4.2 Methodik

Für die exemplarische Untersuchungsregion des nordrhein-westfälischen Einzugsgebietes des Rheins sollen zunächst entsprechend der ABAG die erklärenden Faktoren der Wassererosion identifiziert werden. Während zur Bestimmung der relevanten natürlichen Standortfaktoren wie Regen- und Oberflächenabfluss, Bodenerodierbarkeit sowie Hanglängen und –neigungen auf vorhandene Datensätze zurückgegriffen werden kann, erfordert die Verbesserung der kleinräumigen Verortung der bislang in Form von Gemeindestatistiken vorliegenden Informationen über die Landnutzung aus der Bodennutzungshaupterhebung – solange Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) nicht verfügbar sind – den eigentlichen Forschungsbedarf. Grundidee zur Realisierung der Verortung ist nun die Zuweisung von Kulturarten zu anhand von natürlichen Standortbedingungen gebildeten Standortklassen, wobei als Zuweiskriterium die Standorteignung herangezogen wird. Sind letzten Endes alle erklärenden Faktoren der Wassererosion identifiziert, werden die langjährigen mittleren Bodenabträge im Untersuchungsgebiet errechnet und anhand von Messdaten validiert. Abschließend erfolgt eine Aggregation der Ergebnisse auf die aktuelle RAUMIS-Abbildungsebene (Gemeinde bzw. Landkreis).

#### 3.4.3 Ergebnisse und deren Anwendungseignung

Der Erosionsindikator befindet sich erst in der Anfangsphase der Entwicklung, aus diesem Grund liegen bislang noch keine Ergebnisse vor. Was die voraussichtliche Anwendungseignung angeht, ist ein Einsatz im Zuge von Kontroll-, Evaluierungs- und Monitoringtätigkeiten im Zusammenhang mit bestehenden Vorschriften und zu erreichenden Zielen generell denkbar. Mit Hilfe des neu entwickelten Indikators können Ex-post-Analysen und Ex-ante-Untersuchungen zu den Auswirkungen alternativer Politikmaßnahmen im Untersuchungsgebiet durchgeführt und zur Politikberatung genutzt werden. Eine RAUMIS-interne Verknüpfung des Erosionsindikators mit Einkommensparametern beispielsweise ermöglicht die Quantifizierung der Erosionsschutzeffizienz alternativer Politikmaßnahmen. Eingehen können die Ergebnisse auch in das nordrhein-westfälische Bodeninformationssystem und in entsprechende Systeme auf europäischer Ebene. Auf längere Sicht könnte der Untersuchungsraum auf die gesamte Bundesrepublik ausgedehnt werden, die Nutzbarkeit von InVeKoS-Daten würde zu einer weiteren Verbesserung der Qualität der Ergebnisse führen. Des Weiteren könnte die mit Hilfe des Modellsystems RAUMIS ausgewiesene Erosion als Basisgröße in hydrologische bzw. hydrogeologische Modelle zur Quantifizierung des Phosphor-Eintrags in die Oberflächengewässer Eingang finden, zu diesem Zweck wurden bereits bestehende Kontakte der FAA zum Forschungszentrum Jülich, an dem derartige Modelle zum Einsatz kommen, aktiviert (vgl. GÖMANN et al., S. 195 in diesem Heft).

4) Gesetz zur Ausführung und Ergänzung des Bundes-Bodenschutzgesetzes in Nordrhein-Westfalen vom 9. Mai 2000 (GV.NRW.S. 439).

5) KOM(2002) 179 vom 16.4.2002: Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss sowie an den Ausschuss der Regionen: Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie.

### 3.5 Bewertung der Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktion anhand eines modellgestützten flächendeckenden Bewertungsverfahrens

#### 3.5.1 Stand und Entwicklung

Im Zuge der im Jahre 2001 begonnenen Neuausrichtung der deutschen Agrarpolitik hat der Begriff der Nachhaltigkeit an Bedeutung gewonnen (BMVEL, 2001, S. 10). Ein erster Schritt zu deren Bemessung ist die Ausweisung der Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktion, bei deren Ermittlung sowohl ökonomische als auch ökologische Kriterien im Sinne des Nachhaltigkeitsprinzips der Agenda 21 berücksichtigt werden (vgl. VDLUFA-Standpunkt, 1998, S. 1).

Gegenwärtig wird eine solche Ausweisung auf einzelbetrieblicher Ebene durch das Umweltsicherungssystem Landwirtschaft (USL) des Verbands deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA, 2003) sowie durch Anwendung des Modells REPRO der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg (DIEPENBROCK et al., o.J.) praktiziert und zur Beurteilung sowie zur Optimierung landwirtschaftlichen Betriebsmanagements eingesetzt. Für die Politikberatung stellt die Möglichkeit einer bundesweit flächendeckenden, regionalisierten Abbildung der Auswirkungen agrar- und agrarumweltpolitischer Maßnahmen auf die Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktion ein ergänzendes wichtiges Hilfsmittel dar.

Gegenwärtig wird im RAUMIS die Quantifizierung spezifischer landwirtschaftlicher Gefährdungspotenziale für die Umwelt durch die Integration einzelner Agrar-Umweltindikatoren ermöglicht. Um eine ganzheitliche Aussage über die Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktion treffen zu können, ist es notwendig, die Vielzahl verschiedener Umwelteffekte der Landwirtschaft umfassend zu berücksichtigen. Dies soll durch die Implementierung eines Umweltbewertungsverfahrens im Modell erreicht werden.

#### 3.5.2 Methodik

Das zu integrierende Bewertungsverfahren basiert auf einem Satz an Agrar-Umweltindikatoren der unter der Prämisse erstellt wurde, möglichst das gesamte Spektrum landwirtschaftlicher Umweltwirkungsbereiche zu erfassen<sup>6</sup>). Hierbei wurde sowohl auf bereits im RAUMIS bestehende Indikatoren zurückgegriffen, als auch neue Indikatoren in das Modell integriert. Das Verfahren umfasst insgesamt folgende Agrar-Umweltindikatoren: Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzsaldo, wirkstoffbasiertes Pflanzenschutzmittelrisikopotenzial, NH<sub>3</sub>-Emission, Bodenerosion und Kulturartendiversität.

Die Verknüpfung der Einzelindikatoren geschieht in Anlehnung an das von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena erstellte Verfahren „Kriterien Umweltverträglicher Landwirtschaft“ (KUL) (BREIT-SCHUH et al., 2000). Dementsprechend wird jedem Umweltindikator, in Abhängigkeit seines Risikopotenzials für die Umwelt, ein auf einer Expertenbefragung basierender Gewichtungsfaktor zugeordnet. Des Weiteren werden die im Modell quantifizierten Werte der Umwelt-

indikatoren mit Boniturnoten versehen, die eine qualitative Beurteilung des landwirtschaftlichen Umwelteinflusses ermöglichen. Die ermittelten Boniturnoten werden mit dem jeweiligen indikatorspezifischen Gewichtungsfaktor multipliziert und die Produkte zu einem dimensionslosen Umweltbewertungsindex aggregiert. Der somit berechnete Bewertungsindex gibt Auskunft über die relative regionale Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktion.

**Tabelle 1: Erfassung der Umweltwirkungsbereiche landwirtschaftlicher Produktion anhand eines Satzes von Agrar-Umweltindikatoren im RAUMIS**

Umweltwirkungsbereiche landwirtschaftlicher Produktion	Agrar-Umweltindikator im RAUMIS
Arten- und Biotopvielfalt	N-, P-, K-Bilanzen; NH <sub>3</sub> -Emission; PSM-Risikopotenziale
Landschaftsbild	Kulturartendiversität
Bodenfunktionen	Bodenerosion
Trinkwasserqualität	N-Bilanz; PSM-Risikopotenziale
Versauerung	NH <sub>3</sub> -Emission
Eutrophierung	NH <sub>3</sub> -Emission; N-, P-Bilanzen
Ökotoxizität	PSM-Risikopotenziale
Humantoxizität	N-Bilanz; PSM-Risikopotenziale
Geruchsbelastung	NH <sub>3</sub> -Emission
Treibhauseffekt	Berechnungsmethoden für regionale Abbildungen derzeit zu ungenau (N <sub>2</sub> O-Emissionen)
Energieverbrauch	Landwirtschaftlicher Einfluss vernachlässigbar
Tiergerechtigkeit	Regionale Datenverfügbarkeit unzureichend
Erhalt genetischer Ressourcen	
Anmerkung: Der Umweltwirkungsbereich „Arten- und Biotopvielfalt“ wird durch Agrar-Umweltindikatoren erfasst, die dem Aspekt der Bewirtschaftungsintensität zuzuordnen sind.	

#### 3.5.3 Ergebnisse und deren Anwendungseignung

Die durch die Einführung agrar- und agrarumweltpolitischer Maßnahmen bedingten Veränderungen landwirtschaftlicher Produktion sind meist mit einer ganzen Reihe von Umweltwirkungen verknüpft. Vor dem Hintergrund des Nachhaltigkeitsgedankens ist es insofern für den politischen Entscheidungsträger nicht ausreichend, den Umwelteinfluss seiner Entscheidung in nur einem Umweltwirkungsbereich abschätzen zu können. Die Integration eines Umweltbewertungsverfahrens in ein Agrarsektormodell bietet ihm hierbei die Möglichkeit, im Prozess seiner Entscheidungsfindung Umweltwirkungen ganzheitlich auf verschiedenen Ebenen abschätzen zu können:

*Zeitliche Dimension:* Neben einer rückblickenden Ex-post-Betrachtung kann in Form einer Projektion die bei unveränderten politischen Rahmenbedingungen zu erwartende zukünftige Entwicklung der landwirtschaftlichen Umweltverträglichkeit ermittelt werden.

6) Eine ausführliche Beschreibung der Umweltwirkungsbereiche landwirtschaftlicher Produktion findet sich bei RUDLOFF et al. (1998).

*Räumliche Dimension:* Die flächendeckende, regionalisierte Abbildungsgüte des Modells RAUMIS bietet die Möglichkeit der regionalen Vergleichbarkeit auf Landkreisebene.

*Politische Dimension:* Die Auswirkungen agrar- und agrarumweltpolitischer Maßnahmen auf die Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktion können szenarienbasiert ermittelt und analysiert werden.

#### 4 Zukünftige Nutzungsmöglichkeiten zur Politikberatung im Agrar-Umweltbereich

Von der zukünftigen modellgestützten Politikberatung wird nach derzeitiger Einschätzung eine noch stärker ausgeprägte regionale und objektive Differenzierung der Aussagen zu den agrar-umweltrelevanten Ursache-Wirkungszusammenhängen erwartet. Vor diesem Hintergrund sollte das vorhandene Potenzial des Modellsystems RAUMIS zur Verbesserung der Abbildungsgüte weiter ausgeschöpft werden. Zum einen spielt die Kopplung von RAUMIS mit weiteren naturwissenschaftlichen Modellen eine wichtige Rolle. Hierdurch könnte eine verbesserte Fokussierung einzelner Schutzgüter unterhalb der Kreis- bzw. Gemeindeebene durch ein Zusammenspiel von *Driving-Force*- und *State-Indikatoren* erreicht werden. Zum anderen liegen zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten besonders in einer verbesserten Abbildungsgüte der Landnutzung. Die Entwicklung von Methoden zur konsistenten Verortung der Ackerbauverfahren innerhalb der Gebietsregionen stellen ein wichtiges Ziel dar, mit dessen Hilfe ein breit gefächertes Set an wissenschaftlichen Fragestellungen auf einer möglichst kleinräumigen Abbildungsebene beantwortet werden könnte (z.B. Erosion).

Des Weiteren würden modellendogene Kosten/Nutzen- bzw. Kosten/Wirksamkeits-Analysen die Beratungskapazitäten komplettieren. Abzuwägen ist allerdings generell der Aufwand für die Erhebung des Datenmaterials. Datenerfordernisse und -lieferungen sollten auch in Zukunft in einem angemessenen Verhältnis stehen. In diesem Zusammenhang ist ein laufendes Projekt des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden zu erwähnen, das zusätzlichen Nutzen verspricht: Ziel des Vorhabens ist die zur landwirtschaftlichen Gesamtrechnung konsistente Darstellung derzeit kalkulierbarer Umweltindikatoren für den deutschen Agrarsektor im Rahmen von Umweltgesamtrechnungen und eine Verbesserung der Berechnungen beispielsweise bezüglich des Energieeinsatzes und der Emission treibhauswirksamer Gase. In diesem Vorhaben sollen u. a. vorhandene Datenbestände besser nutzbar gemacht werden und Optionen für eine an neuen Anforderungen im Umweltbereich orientierte Datenerhebung analysiert werden.

#### Literaturverzeichnis

- BACH, M.; FREDE, H.-G.; LANG, G. (1997): Entwicklung der Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Bilanz der Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), Frankfurt am Main.
- BERTELSMEIER, M.; GÖMANN, H.; KLEINHANSS, W.; KREINS, P.; MANEGOLD, D.; OFFERMANN F (2002): Modellanalysen zu den Auswirkungen der KOM-Vorschläge im Rahmen der Halbzeitbewertung der Agenda 2000. Bonn: FAA, SchrR Forschungsges Agrarpol Agrarsoz 320.
- BMVEL (2001): Agrarbericht der Bundesregierung 2001. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Medien- und Kommunikations-GmbH, Berlin.
- BREITSCUH, G.; ECKERT, H.; KUHAUPT, H.; GERNAND, U.; SAUERBECK, D.; ROTH S. (2000): Erarbeitung von Beurteilungskriterien und Messparametern für nutzungsbezogene Bodenqualitätsziele. Anpassung und Anwendung von Kriterien zur Bewertung nutzungsbedingter Bodengefährdungen. UBA-FB 00085, Berlin.
- CHRISTEN, O.; O'HALLORAN-WIETHOLZ Z. (2001): Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft. ILU-Schriftenreihe, Heft 3/2002. Druck Center Meckenheim, Bonn.
- CORELL, G.; FINUS, M.; HAGNER, C.; HERRMANN, R. (1994): Modellstudie zu umweltrelevanten Informationen aus der Agrarstatistik. Schriften 59. Zentrum für regionale Entwicklungsforschung der Justus-Liebig-Universität Giessen, Giessen.
- CYPRIS, C.; KLEINHANSS, W.; KREINS, P.; MANEGOLD, D.; MEUDT, M.; SANDER, R. (1997): Weiterentwicklung des Systems der Preisausgleichszahlungen. Bonn: FAA, Arbeitsmaterial Nr. 2.
- CYPRIS, C. (2000): Positive Mathematische Programmierung (PMP) in Agrarsektormodell RAUMIS. Bonn: FAA, SchrR Forschungsges Agrarpol Agrarsoz 313 [Dissertation]
- DEHIO, J. (1993): Analyse der agrar- und umweltrelevanten Auswirkungen von Auflagen und Steuern im Pflanzenschutzbereich. Studien zur Wirtschafts- und Agrarpolitik, Band 9. Verlag M. Wehle, Witterschlick/Bonn.
- DIEPENBROCK, W.; ROST, D.; HÜLSBERGEN, K.-J.; ABRAHAM, J.; DEIMER, C.; DUBSKY, G.; HEINE, M.; HEINRICH, J.; MEYER, D.; PASLER, U.; WERNER, S. (O.J.): Forschungsbericht zu den Projekten „Entwicklung eines Informationssystems Agrar-Umweltindikatoren für das Land Sachsen-Anhalt“ und „Integration ökologisch-ökonomischer Analyse- und Bewertungsmethoden in das Modell REPRO und Anwendung in Referenzbetrieben Sachsen-Anhalts“. Berichtszeitraum: Mai 1997 bis Dezember 1998. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Acker- und Pflanzenbau und Institut für Agrarökonomie und Agrarraumgestaltung.
- DÖHLER, H.; DÄMMGEN, U.; BERG, W.; BERGSCHMIDT, A.; BRUNSCH, R.; EURICH-MENDEN, B.; LÜTTICH, M.; OSTERBURG, B. (2001): Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010. Abschlussbericht im Auftrag BMVEL und UBA, Darmstadt, im Druck.
- ERHARD, M.; EVERINK, C.; JULIUS, C.; KREINS P. (2001): Bundesweite Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Agrarstatistikdaten und aktuellen Daten zur Bodennutzung. UBA-Forschungsbericht, FKZ 200 71 247, Berlin.
- FREDE, H.-G.; BACH, M.; HUBER, A.; MOHAUPT, V.; ZULLEI-SEIBERT, N. (2000): Schätzungen der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer Deutschlands, Umweltbundesamt, Forschungsbericht 3/00, UBA-FB 99-114, Berlin.
- GUTSCHE, V.; BURTH, U.; FREIER, B.; ROßBERG, D. (2002): Das notwendige Maß bei der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel, Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 54 (12), S. 297-303.
- HENRICHSMAYER, W. et al. (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BMELF (94 HS 021), vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig.
- HOEGEN, B. et al. (1995): Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen – Gefährdung und Schutzmaßnahmen - . Forschungsbericht Nr. 30, Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- IPCC (2001): National Greenhouse Gas Inventories Programme (NGGIP), Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Genf.
- JACOBS, A. (1998): Paralleler Einsatz von Regionen- und Betriebsgruppenmodellen in der Agrarsektoranalyse. Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 470.
- KLEINHANSS, W.; OSTERBURG, B.; MANEGOLD, D.; SEIFERT, K.; CYPRIS, CH.; KREINS, P. (1998): Auswirkungen der "Agenda 2000" auf die deutsche Landwirtschaft – Eine modellgestützte Politikfolgenabschätzung auf Sektor-, Regions- und Betriebsebene. – Agrarwirtschaft 47 (1998), Heft 12, S. 461-470.
- KLEINHANSS, W.; OSTERBURG, B.; MANEGOLD, D.; GOERTZ, D.; SALAMON, P.; SEIFERT, K.; JACOBI, E. (1999): Modellgestützte Folgenabschätzung zu den Auswirkungen der Agenda 2000 auf die deutsche Landwirtschaft. – Arbeitsbericht 1/99, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der FAL Braunschweig, Braunschweig 1999.

- KLEINHANSS, W.; MANEGOLD, D.; BERTELSMEIER, M.; DEEKEN, E.; GIFFHORN, E.; JÄGERSBERG, P.; OFFERMANN, F.; OSTERBURG, B.; SALAMON, P. (2001): Mögliche Auswirkungen eines Ausstiegs aus der Milchquotenregelung für die deutsche Landwirtschaft. Arbeitsbericht 5/2001 des Instituts für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der FAL, Braunschweig.
- KLEINHANSS, W.; MANEGOLD, D.; OFFERMANN, F.; OSTERBURG, B. (2002): Auswirkungen einer partiellen Umwidmung von Rinder- und Milchprämien in Grünlandprämien. *Agra Europe*; Bonn, 43 (33/Sonderbeilage).
- KÜLL, H. (1988): Erstellung einer Stickstoffbilanz in den Kreisen der BRD. In: HENRICHSMAYER, W.; STROTMANN, B.; KRÜLL, H.; BRITZ, W.; DEHIO, J.; AIGNER, F.; WITZKE, H.P.; IBELS, E. : Endbericht zum Forschungsvorhaben „Wirkungen agrarpolitischer Maßnahmen auf Ziele von Umwelt-, Natur- und Landschaftsschutz“. Bonn S. 8-39.
- MANEGOLD, D.; KLEINHANSS, W.; KREINS, P.; OSTERBURG, B.; SEIFERT, K. (1999): Interaktive Anwendung von Markt-, Regional- und Betriebsmodellen zur Beurteilung von Politikalternativen. In: *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.*, Bd. 35, S. 147 – 155.
- MEUDT, M. (1998): Weiterentwicklung und Anwendung eines regional differenzierten Umweltindikatoren- und Politikinformationssystems für die Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland - dargestellt am Beispiel der Treibhausproblematik, Dissertation in Vorbereitung, Bonn.
- OECD (1997): *Environmental Indicators for Agriculture, Volume 1: Concepts and Framework*. Paris, France.
- OECD (2001): *Environmental Indicators for Agriculture, Volume 3: Methods and Results*. Paris, France.
- OSTERBURG, B.; BERG, W.; BERGSCHMIDT, A.; BRUNSCH, R.; DÄMMGEN, U.; DÖHLER, H.; EURICH-MENDEN, B.; LÜTTICH, M. (2002): Nationales Ammoniak-Emissionsinventar - KTBL-FAL-ATB-Projekt "Landwirtschaftliche Emissionen". In: KTBL (Hrsg.): *Emissionen der Tierhaltung - Grundlagen, Wirkungen und Minderungsmaßnahmen*. KTBL Schrift 406. Darmstadt, S. 231-248.
- OSTERBURG, B. (2002): Rechnerische Abschätzung der Wirkungen möglicher politischer Maßnahmen auf die Ammoniakemissionen in Deutschland im Jahr 2010. Studie im Auftrag des BMVEL (unveröffentlichtes Manuskript).
- PARCOM (Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung) (1993): Dritte Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe zur Reduzierung der Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft – Anlage 1: PARCOM-Richtlinien für die Berechnung von Mineralbilanzen.
- RUDLOFF, B.; GEIER, U.; MEUDT, M.; SCHICK, H.-P.; URFEI, G. (1998): Entwicklung von Parametern und Kriterien als Grundlage zur Bewertung ökologischer Leistungen und Lasten der Landwirtschaft- Indikatoren-systeme. UBA-FB 108 01 139, Berlin.
- SCHRAMEK, J.; IMMEL, M.; PEUKERT, M.-J.; THIELEMANN, G. (2002): Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz, - Konkretisierung der international vorgeschlagenen Indikator-Konzepte mit national verfügbaren Parametern -, Umweltbundesamt, UBA-Texte 40/02, Berlin.
- THIELEMANN, S. (1991): Entwicklung eines Ansatzes zur Bewertung landwirtschaftlicher Nutzflächen im Hinblick auf die Bewertung für den Arten- und Biotopschutz- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Expertenbefragung. Diplomarbeit an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- UN/ECE – United Nations Economic Commission for Europe (1999): Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone. <http://www.unece.org/env/ltrap/protocol/99multi.htm>.
- Umweltbundesamt (2000): Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000, Berlin.
- VDLUFA-Standpunkt (1998): Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft. Hrsg.: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt.
- VDLUFA (2003): Umweltsicherungssystem Landwirtschaft (USL) – zur Umweltverträglichkeitsprüfung und Beratung von Landwirtschaftsbetrieben - [http://www.vdlufa.de/kul/kul\\_idx.htm](http://www.vdlufa.de/kul/kul_idx.htm)
- MÜNCHHAUSEN, H. FRHR. VON; H.; NIEBERG, H. (1997): Agrar-Umweltindikatoren: Grundlagen, Verwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse einer Expertenbefragung. S. 13-29 In: *Umweltverträgliche Pflanzenproduktion –Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen-*, Fachtagung am 11. und 12. Juli 1996 in Wittenberg, schriftliche Fassung der Beiträge, Zeller Verlag, Osnabrück.
- WEINGARTEN, P. (1995): Das „Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für die Bundesrepublik Deutschland“ (RAUMIS). In: *Berichte über Landwirtschaft* 73 (1995) S. 272-302
- WEINGARTEN, P. (1996): Grundwasserschutz und Landwirtschaft: Eine quantitative Analyse von Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen. Kiel: Wissenschaftsverlag Vauk, 1996 (Landwirtschaft und Umwelt, Bd. 13).

## VerfasserIn:

Dipl.-Ing. agr. CHRISTIAN JULIUS  
(E-Mail: [faabonn#julius@t-online.de](mailto:faabonn#julius@t-online.de)),

Dipl.-Ing. agr. CHRISTINE MÖLLER  
(E-Mail: [faabonn#moeller@t-online.de](mailto:faabonn#moeller@t-online.de)),

Dipl.-Ing. agr. STEFAN SIEBER  
(E-Mail: [faabonn#sieber@t-online.de](mailto:faabonn#sieber@t-online.de)),

Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V.,  
Ferdinand-Lassalle-Str. 1, D-53175 Bonn,  
Tel.: 0228/634781, Fax: 0228/634788,

Dipl.-Ing. agr. BERNHARD OSTERBURG,

Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL-BAL), Bundes-  
allee 50, D-38116 Braunschweig, Tel.: 0531/596-5211, Fax:  
0531/596-5199, (E-Mail: [bernhard.osterburg@fal.de](mailto:bernhard.osterburg@fal.de))