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

*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.*

SCHRIFTEN DER GESELLSCHAFT FÜR WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN DES LANDBAUES E.V.

Kreins, P., Heidecke, C., Gömann, H., Hirt, U., Wendland, F.: Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politikanalyse zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie – Anwendung eines hydro-ökonomischen Modellverbundes für das Weser Einzugsgebiet. In: Weingarten, P., Banse, M., Gömann, H., Isermeyer, F., Nieberg, H., Offermann, F., Wendt, H.: Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politikanalyse. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 46, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (2011), S. 325-335.

Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 46, 2011: 325 – 335

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER WISSENSCHAFTLICHEN POLITIKANALYSE ZUR UMSETZUNG DER WASSERRAHMENRICHTLINIE – ANWENDUNG EINES HYDRO-ÖKONOMISCHEN MODELLVERBUNDES FÜR DAS WESER EINZUGSGEBIET

Peter Kreins[1], Claudia Heidecke[1], Horst Gömann[1], Ulrike Hirt[2] und Frank Wendland[3]

Zusammenfassung

Landwirtschaftliche Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässerschutzes gewinnen zunehmend an Bedeutung, da die Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie in vielen Regionen nicht erfüllt werden können und alle Sektoren aufgefordert sind, weitere Handlungen zu tätigen. Die Möglichkeiten und Grenzen von Politikanalysen im landwirtschaftlichen Gewässerschutz werden am Beispiel eines interdisziplinären Modellverbundes diskutiert. Dabei wird ein Ansatz vorgestellt, der ausgehend von der Nährstoffbilanzierung unter Berücksichtigung der Nährstoffabbauprozesse im Boden den Handlungsbedarf zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie und mögliche Maßnahmenpakete mit Hilfe eines hydro-ökonomischen Modellverbundes untersucht. Durch die Kopplung hydrologischer (MONERIS und GROWA/WEKU) und ökonomischer Modelle (RAUMIS) ist eine umfassendere Darstellung von Verursachern und Gefährdungen im Gewässerschutz möglich. Gleichzeitig birgt die Modellierung aber auch Grenzen für die Politikberatung, vor Allem im Bezug auf standortbezogene Analysen von Wirkungen und Kosten, Abbildungsbereich sowie die Kosten des Ansatzes, die in diesem Artikel diskutiert werden.

Keywords

EU-Wasserrahmenrichtlinie, landwirtschaftliche Einträge in die Gewässer, hydro-ökonomische Modellierung, RAUMIS, kosteneffiziente Maßnahmen

1 Einleitung

Hydro-ökonomische Modelle gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sie die Komplexität und die steigende Anzahl von Nutzern und Akteuren in den Flussgebietseinheiten (FGE) abbilden können. Dabei sind bisher jedoch nur wenige Ansätze für realitätsnahe Wassermanagementanalysen und zur Politikberatung zur Anwendung gekommen, da die gesamte Komplexität der Interaktionen zwischen natürlichen, sozioökonomischen und politischen Prozessen oft die Modellanalysemöglichkeiten übersteigt (HEINZ ET AL., 2007). Die Anwendung von hydro-ökonomischen Modellverbünden bietet jedoch Möglichkeiten, einen Teil der Komplexität im landwirtschaftlichen Gewässerschutz, insbesondere im Hinblick auf die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), besser abzubilden und damit Maßnahmen kosteneffizienter zu gestalten. Ein möglicher hydro-ökonomischer Ansatz soll im Folgenden am Beispiel des Wesereinzugsgebietes in Deutschland untersucht werden.

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EUROPEAN COMMISSION, 2000) (WRRL) trat 2000 in Kraft mit dem Ziel ein gutes ökologisches Potenzial und einen guten chemischen Zustand

[1] Institut für Ländliche Räume des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig. E-Mail: claudia.heidecke@vti.bund.de

[2] Leibniz-Institut fuer Gewaesseroekologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V., Abt. Limnologie von Flussseen, Dept. of Lowland Rivers and Shallow Lakes), Justus-von-Liebig-Str. 7, 12489 Berlin.

[3] Forschungszentrum Jülich (FZJ), Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre - Agrosphäre (ICG-4), 52425 Jülich.

für alle Oberflächengewässer sowie des guten mengenmäßigen und chemischen Zustand für alle Grundwasser bis zum Jahr 2015 zu erreichen. Der Gewässerzustand hat sich durch Gewässerschutzmaßnahmen in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verbessert. Gleichwohl gilt, dass nach wie vor viele Gewässer anthropogen belastet sind. Bei den Oberflächengewässern stehen hierbei Belastungen aus punktförmigen und diffusen Quellen sowie Wasserentnahmen, Abflussregulierungen und morphologischen Veränderungen im Vordergrund. Beim Grundwasser kommt der Belastung aus diffusen Quellen eine besondere Bedeutung zu. Zumeist handelt es sich um Nährstoffeinträge aus diffusen, landwirtschaftlich genutzten Flächen, die z.B. in der Flussgebietseinheit Weser (FGE Weser) mit über 60 % die größte Flächennutzung einnehmen (FGG WESER, 2005). Dafür mussten bis 2009 länder- bzw. nationalstaatenübergreifende koordinierte Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme zur Erreichung eines guten Gewässerzustandes für ganze Flusseinzugsgebiete erstellt werden, um damit Maßnahmen bis 2012 umzusetzen.

Ziel dieses Beitrages ist es, die Möglichkeiten und die Grenzen von hydro-ökonomischen Modellverbünden zur Umsetzung der WRRL anhand bisheriger Ansätze und anhand eines Fallbeispiels für die FGE Weser zu analysieren. Es wird ein Ansatz vorgestellt, der es ermöglicht integrative Status Quo- und Maßnahmenanalysen durchzuführen, der alle wesentlichen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Einflussfaktoren berücksichtigt. Auf dieser Grundlage lassen sich dann Strategien bzw. Maßnahmenprogramme für einen nachhaltigen landwirtschaftlichen Gewässerschutz entwickeln und hinsichtlich der Umsetzungseffizienz begleiten. Dafür werden bestehende ökonomische und hydrologische Modelle miteinander verknüpft. Im Einzelnen handelt es sich um das Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem RAUMIS, dass mit dem großräumigen Wasserhaushaltsmodell GROWA und dem hydrogeologischen Modell WEKU sowie dem Modell MONERIS gekoppelt wird. Darauf aufbauend werden modellgestützte Wirkungsanalysen und Maßnahmen zur Reduktion der Belastung der Oberflächengewässer und des Grundwassers durch diffuse Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft durchgeführt und am Ende des Beitrags die Möglichkeiten und die Grenzen dieses Ansatzes für die Analyse und Bewertung von landwirtschaftlichen Gewässerschutzmaßnahmen für die Politikberatung diskutiert.

2 Bisherige Arbeiten zur Umsetzung der WRRL

Für Analysen zur Umsetzung der WRRL werden in den europäischen Ländern verschiedene Ansätze entwickelt und verwendet. HEINZ ET AL. (2007) geben einen Überblick über einige entwickelte Ansätze in der Europäischen Union. Dabei unterscheiden sich die Ansätze zu Analysen zur Wasserquantität zum Beispiel für Griechenland (ASSIMACOPOULOS, 2006) oder für Italien (BAZZANI et al., 2004), ein Thema, welches vor Allem in südlichen europäischen Ländern eine große Rolle spielt, und zu Untersuchungen der Wasserqualität (wie zum Beispiel VAN DER VEEREN UND TOL, 2001 und GÖMANN ET AL., 2005). Spezielle Untersuchungen zur Kosteneffizienz von Maßnahmen im landwirtschaftlichen Gewässerschutz wurden unter Anderem von AFTAB UND HANLEY (2004) und FEZZI ET AL. (2010) vorgenommen. In Deutschland spielen besonders Aspekte der Wasserqualität bei der Umsetzung der WRRL eine Rolle. Hier wurden bislang unterschiedliche, im allgemeinen länderspezifische Methoden, Datengrundlagen und Bewertungsansätze zur Beschreibung der diffusen und punktförmigen Nährstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer eingesetzt, sodass eine Vergleichbarkeit der Ist-Zustandsbeschreibungen über die Ländergrenzen hinaus nur eingeschränkt möglich ist. Das Problem der räumlichen Vergleichbarkeit und Integration der WRRL über Ländergrenzen in Deutschland wird auch von MOSS (2004) diskutiert. Integrierte Analysen zu den Wirkungen von Maßnahmen zur Erreichung der genannten Umweltziele sowie ihrer wirtschaftlichen Konsequenzen wurden bisher für gesamte Flusseinzugsgebiete nicht durchgeführt. Darüber hinaus müssten Maßnahmen regional und flächendifferenziert entwickelt werden, da sie in Bezug auf die Umweltgüter und Einkommen unterschiedlich wirken. Die Identifikation rele-

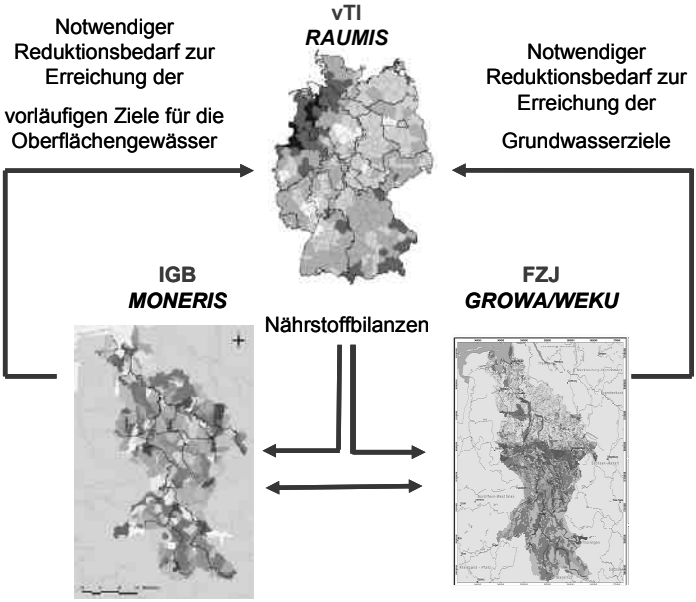
vanter Regionen ist für den effizienten und zielgerichteten Einsatz von Mitteln z. B. im Rahmen der ELER- Verordnung (2. Säule der Agrarpolitik) im Hinblick auf eine Kompensation maßnahmebedingter Einkommenseinbußen von besonderer Bedeutung.

Dabei erfordert die Abschätzung von Anpassungsreaktionen in der Landwirtschaft die simultane Berücksichtigung vielfältiger, komplexer Wechselwirkungen unter Einbeziehung hydrologischer und hydrogeologischer Zusammenhänge. Aufgrund dieser Anforderungen ergibt sich die Notwendigkeit nach Analysewerkzeugen zur Umsetzung der WRRL, die dem kombinierten Ansatz von punktförmigen und diffusen Quellen in Verbindung mit Wirtschaftlichkeitsanalysen Rechnung tragen. Einer Studie der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser zufolge (KUNST ET AL., 2004) war bisher keines der für Deutschland entwickelten Modelle alleine in der Lage, den oben genannten Anforderungen gerecht zu werden. Vielmehr ist zur Erreichung der oben genannten Ziele der Einsatz eines hydro-ökonomischen Modellverbundes notwendig.

3 Möglichkeiten am Fallbeispiel AGRUM-Weser

Im Folgenden soll die Anwendung eines hydro-ökonomischen Modellverbundes am Fallbeispiel für die FGE Weser vorgestellt werden, welcher im Rahmen des AGRUM Weser Projektes (KREINS ET AL., 2010) entwickelt worden ist. Dabei wird das agrarökonomische Modell RAUMIS mit zwei hydrologischen Modellen, GROWA/WEKU und MONERIS gekoppelt. Die Struktur dieses Modellverbundes wird in Abbildung 1 deutlich und soll im Folgenden näher erläutert werden.

Abbildung 1: Modellverbund



Das Modell RAUMIS ist ein partielles Angebotsmodell für den landwirtschaftlichen Sektor Deutschlands (HENRICHSMEYER ET AL., 1996) mit dem Ziel den Agrarsektor in Deutschland geschlossen regional differenziert ex-post abzubilden und mittel- bis langfristige Wirkungs-

analysen alternativer Agrar- und Umweltpolitiken durchzuführen. RAUMIS ist in enger Anlehnung an die offizielle landwirtschaftliche Gesamtrechung (LGR) konzipiert und entspricht den Regeln und Definitionen des „Europäischen Systems Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen“ (ESVG)[4]. Die Abbildung der gesamten Produktion des Agrarsektors erfolgt in über 50 landwirtschaftlichen Produkten, die mit einer Positivliste der LGR übereinstimmen. Ebenso wird im Modell der gesamte Input erfasst, der zur Erzeugung dieser landwirtschaftlichen Produktion notwendig ist. Die Anpassung der landwirtschaftlichen Produktion, die durch eine Veränderung der Allgemeinen Agrarpoltischen Bedingungen induziert wird, wird mit Hilfe der nicht-linearen Zielfunktion, die landwirtschaftliches Einkommen in den Regionen maximiert, abgebildet. Die nicht-linearen Kostenterme der Zielfunktion, die die marginalen Kosten der Aktivitäten wiedergeben und damit das Angebotsverhalten repräsentieren, werden durch die Kalibrierung des Modells mit dem Ansatz der positiv-mathematischen Programmierung ermittelt (HOWITT, 1995; CYPRIS, 2000).

In der Vergangenheit wurden mehrere Analysen mit RAUMIS zu den Entwicklungen der landwirtschaftlichen Produktion in Deutschland (GÖMANN ET AL. 2007; 2008) und zu den Auswirkungen auf Gewässer und Klima (GÖMANN ET AL. 2004; 2009) durchgeführt.

Ziel des hydrologisch/hydrogeologischen Modellsystems GROWA und DENUZ/WEKU (WENDLAND ET AL., 2002, 2004) ist die flächendeckende und zugleich räumlich hoch aufgelöste Analyse und Bewertung der diffusen Nitrateinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer. Die Modellierungen erfolgen flächendifferenziert in einem 100 m-Raster für das gesamte Flusseinzugsgebiet der Weser, wodurch Modellrechnungen für jeweils ca. 4,9 Mio. Rasterzellen durchgeführt werden.

Das Modell MONERIS (BEHRENDT ET AL., 2003, HIRT ET AL., 2008) ist ein empirisch-konzeptionelles Modell, welches eine räumliche und nach Eintragspfaden differenzierte Quantifizierung von Nährstoffeinträgen in die Oberflächengewässer von Einzugsgebieten ermöglicht. Die räumliche Diskretisierung erfolgt auf Ebene von Teileinzugsgebieten und kann bis zu einer Untergrenze von 1 km² erfolgen. MONERIS berücksichtigt die diffusen Eintragspfade Erosion, Abschwemmung, Grundwasser/Interflow, Dränagen, atmosphärische Deposition und versiegelte urbane Flächen sowie die punktuellen Einträge aus kommunalen Kläranlagen und durch industrielle Direkteinleiter. Weiterhin wurde eine Methode zur Berücksichtigung der Nährstoffrückhalte und -verluste in den Oberflächengewässern in Abhängigkeit von der hydraulischen Belastung bzw. den spezifischen Abflussspenden des Flusssystems entwickelt, sodass ein direkter Vergleich mit den Frachten ermöglicht wird.

Für die Kopplung des ökonomischen Modells RAUMIS mit den hydrologischen Modellen GROWA/WEKU und MONERIS werden die aufgrund der landwirtschaftlichen Flächennutzung ermittelten Nährstoffüberschüsse aus RAUMIS an die hydrologischen Modelle übergeben. Dort werden dann die Einträge in die Grund- und Oberflächengewässer errechnet, sowie die notwendige Minderung der Einträge zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie ermittelt. Dieser Reduktionsbedarf gilt dann als Basis, um notwenige landwirtschaftliche Maßnahmen für die Zielreichung im Jahr 2015 zusammenzustellen (vergleiche Abbildung 1).

Ein zentraler Aspekt der Kopplung ist die Interaktion von Modellen mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung. Zum Beispiel ist das Modell RAUMIS an administrative Einheiten gegliedert, die hydrologischen Modelle basieren aber auf Rasterebene bzw. Teileinzugsgebietsebene. Daher werden die räumlichen Einheiten von RAUMIS von der NUTS III auf die NUTS IV Ebene runtergebrochen, um den Aggregationsfehler bei den Nährstoffbilanzüberschüssen als zentraler Austauschparameter zu verkleinern. Hierfür wurden im Rahmen des

[4] Vgl. EUROSTAT (1989): Handbuch zur landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung, Luxemburg.

Projektes Verfahrensumfänge auf Gemeindeebene für 2003 (teilweise vor Geheimhaltung) zur Verfügung gestellt und auf Basis dieser Daten die Stickstoffbilanzierung für 2003 mit einheitlichen Erträgen der Kreisebene berechnet. Die Veränderung der RAUMIS Bilanz im Jahr 2015 zu 2003 auf der NUTS III Ebene wurde auf die Bilanz von 2003 auf der NUTS IV Ebene angerechnet, um die Stickstoffbilanz im Jahre 2015 auf NUTS IV Ebene zu erhalten. In einem zweiten Schritt wird ein räumliches Allokationsmodell entwickelt, um die beobachtete Flächennutzung, z.B. Anteile der Kulturen und Anbauintensitäten auf die hydrologischen Einheiten mit GIS zu verteilen. Hier gehen Fernerkundungsdaten mit einer Einteilung in Acker-, Gründland und Forst ein. Eine Sensitivitätsanalyse mit verschiedenen Landnutzungsdaten zeigt, dass sich je nach Datensatz die N-Überschüsse um 0- 2 Prozent verschieben können. Die zeitliche Auflösung der hydrologischen Modelle basiert auf langjährigen hydrologischen Perioden (1961 bis 1990 für das Modell GROWA, 1983 bis 2002 für MONERIS), um die mittlere langjährige - und damit regional typische - hydrologische Situation abzubilden.

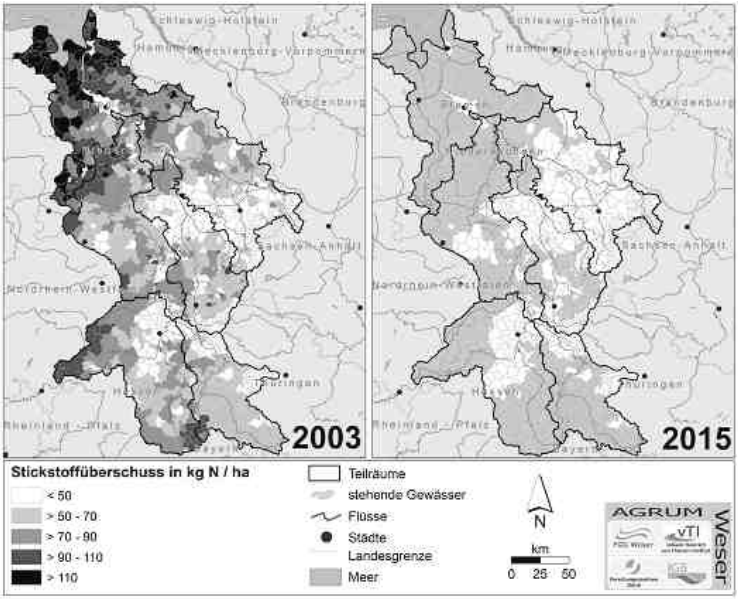
4 Annahmen und Ergebnisse

Eine Vielzahl von Faktoren bestimmt die Entwicklung in der Landwirtschaft und damit die Auswirkungen auf die Nährstoffbilanzüberschüsse und den weiteren Handlungsbedarf im Gewässerschutz. Mit dem agrarökonomischen Modell RAUMIS wird eine Baseline Projektion bis zum Jahr 2015 aufgestellt. Insgesamt lassen die aktuellen Entwicklungen in der Agrar- und Agrarumweltpolitik eine weitere Entlastung bei den diffusen Nährstoffeinträgen erwarten. Während eine durch den prognostizierten Agrarpreisanstieg induzierte Steigerung der Produktionsintensität, Aufhebung der Flächenstilllegung sowie Zunahme des Energiemaisanbaus zu einer Erhöhung des Nährstoffbilanzsaldos führen, bewirkt der durch die Entkopplung der Tierprämien bedingte Abbau der Rinderbestände einen Rückgang der Nährstoffüberschüsse. Die Auswirkungen der geplanten Veränderungen bei den Umfängen von gewässerrelevanten Agrarumweltmaßnahmen von der Förderperiode 2000-2006 zur Förderperiode 2007-2013 auf die Nährstoffbilanzsalden wurden durch eine Bewertung einzelner Maßnahmen abgeschätzt und in die Baseline integriert. Insgesamt liegt die Wirkung der geänderten Anbauumfänge von Agrarumweltmaßnahmen auf die N-Bilanzüberschüsse im Durchschnitt in den untersuchten Bundesländern bei +1,5 bis -1,5 kg/ha

Insgesamt führen die agrarpolitischen Entwicklungen zu einer Reduzierung der Nährstoffbilanzüberschüsse, wodurch sich der Anpassungsdruck auf die Landwirtschaft, die im Rahmen der Düngeverordnung festgelegten Nährstoffbilanzobergrenzen einzuhalten, teilweise verringert. Angesichts vielfältiger Anpassungsmöglichkeiten zur Einhaltung der Düngeverordnung wird eine Gesamtreduktion des sektoralen Stickstoffbilanzüberschusses durch die aktuelle Agrarpolitik und sonstige Einflüsse bis 2015 in Höhe von 10 – 15 kg N/ha LF erwartet. Dennoch bleibt insbesondere in Regionen mit intensiver Viehhaltung und dadurch bedingten hohen Nährstoffbilanzüberschüssen weiterer Handlungsdruck bestehen.

Um die Einträge in die Gewässer abzuschätzen, werden im Folgenden vor Allem die Stickstoffbilanzüberschüsse untersucht. Derzeit liegen die Stickstoffbilanzüberschüsse bei ungefähr 79 kg pro ha landwirtschaftlich genutzter Fläche im Durchschnitt für Gesamtdeutschland; diese werden nach RAUMIS Abschätzungen bis 2015 um 10 kg /ha durchschnittlich zurückgehen. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse für die N-Bilanzüberschüsse für das Wesereinzugsgebiet auf Basis der aktuellen und zukünftigen agrarpolitischen Entwicklungen. Diese Nährstoffbilanzüberschüsse werden von den Modellen MONERIS und GROWA/WEKU verwendet, um den Handlungsbedarf zu ermitteln, der notwendig wäre, die Bewirtschaftungsziele der WRRL bis 2015 zu erfüllen.

Abbildung 2: Stickstoffbilanzüberschüsse im Wesereinzugsgebiet im Jahr 2003 und berechnete Stickstoffüberschüsse im Jahr 2015



Quelle: KREINS ET AL. 2010

Nach Berechnungen mit dem Modell GROWA/WEKU führt das Baseline-Szenario zu einer Reduzierung der Nitrateinträge ins Grundwasser. Vor allem in den Grundwasserneubildungsregionen, d. h. im Norden des Einzugsgebiets der FGE Weser, liegt diese Verminderung der Nitrateinträge häufig im Bereich zwischen 10 kg/ha und 25 kg/ha pro Jahr. Als ein Maß für die maximal tolerierbaren N-Überschüsse, die nicht überschritten werden dürfen, wenn eine Nitratkonzentration im Grundwasser von unter 50 mg/l nachhaltig garantiert werden soll, wurde eine mittlere langjährige Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l festgelegt. Bei diesem Wert ist sichergestellt, dass der EU-Schwellenwert für Nitrat in allen Fällen eingehalten werden kann. Unter der Prämisse einer konstanten mittleren Sickerwasserrate und einem konstanten Denitrifikationspotenzial im Boden ist die Nitratkonzentration im Sickerwasser direkt durch die Höhe der N-Überschüsse bestimmt. Durch eine Rückwärtsrechnung wurde der maximale N-Überschuss aus der Landwirtschaft berechnet, der unter Berücksichtigung der atmosphärischen N-Deposition, der N-Einträge in nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen und der Denitrifikation im Boden im Jahr 2015 zu einer Nitratkonzentration im Sickerwasser von 50 mg/l führt. Durch einen Vergleich mit dem ausgewiesenen N-Überschuss 2015 wurde daraus der Minderungsbedarf bestimmt. Der notwendige Reduktionsbedarf der N-Bilanzen zur Erreichung der Grundwasserziele beläuft sich auf mehr als 20.000 Tonnen N. Dies entspricht einer durchschnittlichen Reduktion der N-Bilanzüberschüsse von rund 19 % im Vergleich zur Baseline, wobei diese Reduktion regional sehr unterschiedlich ausfällt. Rund 72% des Reduktionsbedarfs entfällt auf den niedersächsischen Teil der FGE-Weser, etwa 17% auf NRW und rund 10% auf den hessischen Teil der FGE-Weser. Nur rund 1,5 % fallen auf die neuen Bundesländer der FGE-Weser.

Es gibt eine Vielzahl von Maßnahmen, die grundsätzlich geeignet sind, die landwirtschaftlichen Nährstoffeinträge in das Grundwasser oder die Oberflächengewässer zu reduzieren. Da-

bei unterscheiden sich die Maßnahmen bezüglich der Wasserschutzwirkung und der damit verbundenen Kosten erheblich. Eine systematische Erfassung aller in Frage kommender Maßnahmen wurde von OSTERBURG UND RUNGE (2007) vorgenommen, die hier verwendet wird, um kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen zu entwickeln. Für das Wesereinzugsgebiet wurden nach dem Grad der Akzeptanz acht Maßnahmen ausgewählt, die mit ihren Wirkungen und Kosten in Tabelle 1 zusammen gefasst sind.

Tabelle 1: Ausgewählte Maßnahmen für den Gewässerschutz

Maßnahme	Durchschnittliche Reduzierung des N-Überschuss (kg N/Ha)	Durchschnittliche Kosten (€/Ha)
Keine Wirtschaftsdüngerausbringung nach der Ernte	15	15
Zwischenfruchtanbau	20	80
Grundwasser schonende Ausbringungstechnik von Gülle und Festmist	15	30
Grünlandextensivierung	30	100
Förderung von Extensivkulturen	40	70
Reduzierte Mineraldüngung in Getreide	30	80
Anbau von Winterrübsen	10	60
Ökologischer Landbau	60	170

Quelle: Auswahl von Maßnahmen auf Basis von OSTERBURG AND RUNGE, 2007

Die Berechnung der notwendigen Maßnahmenkombination erfolgt in zwei Schritten. Das Ergebnis der Berechnungen ist eine mögliche Maßnahmenkombination, die geeignet ist, die notwendigen Reduzierungen der landwirtschaftlichen N-Einträge zu erreichen. Zunächst wird das maximal mögliche Reduktionspotenzial einer jeden Maßnahme regional differenziert in Abhängigkeit der maßnahmenspezifischen Anforderungen abgeschätzt. So wird beispielsweise die Maßnahme Grünlandextensivierung nur in den Regionen zugelassen, deren Rinderviehbesatzdichte kleiner 1,4 RGV pro ha Grünland liegt bzw. die Maßnahme Zwischenfruchtanbau nur nach dem Getreide- und Ölsaatenanbau zugelassen. In einem zweiten Schritt wird dem maximal möglichem Reduktionsumfang aller Maßnahmen der notwendige N-Reduktionsumfang gegenübergestellt und somit der notwendige regionale Maßnahmenumfang ermittelt, wobei alle Maßnahmen im gleichen Maße ihres Reduktionspotenzials zur Zielerreichung beitragen. Bei dieser Vorgehensweise werden alle Maßnahmen, die in der Tabelle 1 aufgeführt sind, mit Ausnahme des ökologischen Landbaus berücksichtigt. Der ökologische Landbau wird zunächst nicht mit einbezogen, weil sich die Ausdehnung dieser Bewirtschaftungsweise nicht einfach realisieren lässt und wird nur dann hinzugezogen, wenn alle anderen Maßnahmen zur Zielerreichung nicht ausreichen.

Als erstes werden die Maßnahmen zur Erreichung einer guten Grundwasserqualität ermittelt, da diese indirekt auch die Oberflächengewässer beeinflussen. Danach werden die dadurch reduzierten N-Überschüsse zusätzlich in das MONERIS Model integriert, um die Wirkung für Oberflächengewässer abzuschätzen und den restlichen Reduktionsbedarf zu ermitteln.

Die ermittelten notwendigen Maßnahmen zur Erreichung einer guten Grundwasserqualität haben in dieser Kombination einem Gesamtumfang von rund 1,1 Mio. Hektar. Die damit verbundenen jährlichen Kosten, die nach den Angaben in Tabelle 1 errechnet werden, belaufen sich insgesamt auf rund 74 Mio. Euro. Die Zusammensetzung der Maßnahmenkombination unterscheidet sich dabei zwischen den Regionen erheblich, in Abhängigkeit der regionalen landwirtschaftlichen Produktionsstruktur und des damit verbundenen regionalen Potenzials der einzelnen Maßnahmen. In den Hot-Spot Regionen, die durch eine hohe Viehbesatzdichte

gekennzeichnet sind, sind teilweise mehrere Maßnahmen auf derselben Fläche notwendig, um die Grundwasserziele zu erreichen. Die Flächenumfänge und die entstehenden Kosten der einzelnen Maßnahmen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Gesamte Umfänge und Kosten der Maßnahmen zum Erreichen der Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie für die FGE Weser

	Grundwasser		Oberflächenwasser	
	Umfang ('000 Hektar)	Gesamtkosten ('000 Euro)	Umfang ('000 Hektar)	Gesamtkosten ('000 Euro)
Keine Wirtschaftsdüngerausbringung nach der Ernte	103	1,543	3	43
Zwischenfruchtanbau	350	27,966	96	7,670
Grundwasser schonende Ausbringungstechnik von Gülle und Festmist	98	2,950	26	790
Grünlandextensivierung	86	655	19	764
Förderung von Extensivkulturen	75	5,280	31	2,163
Reduzierte Mineraldüngung in Getreide	165	13,217	44	3,517
Anbau von Winterrübsen	141	8,449	38	2,280
Ökologischer Landbau	83	14,046	16	2,707
Gesamt	1,101	74,106	273	19,934

Quelle: Eigene Berechnungen aufgrund der projizierten RAUMIS Flächennutzung im Jahr 2015

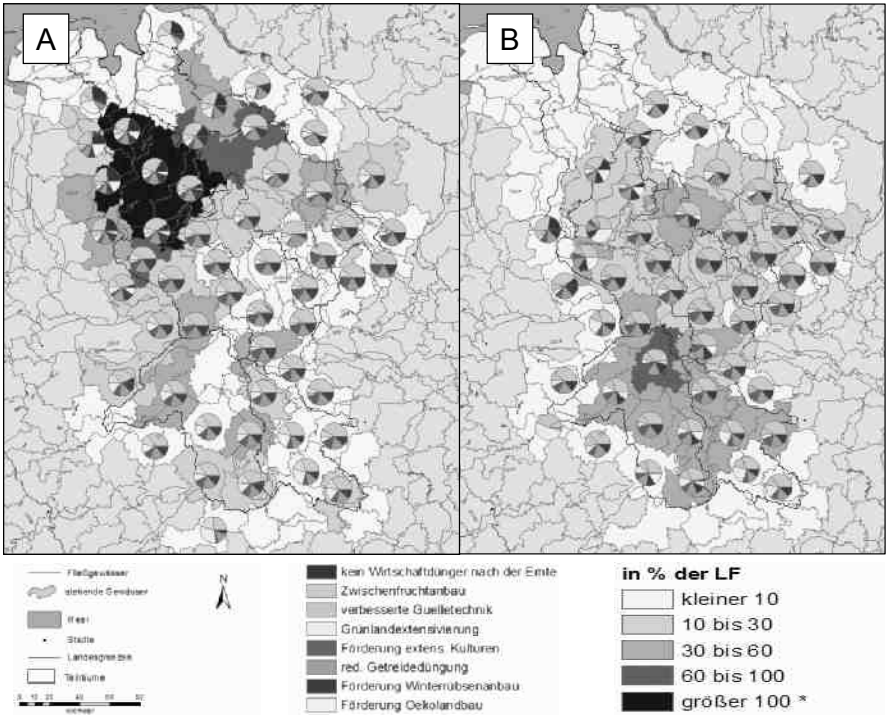
Nach Berechnungen mit MONERIS betragen die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer der FGE Weser im Baseline Szenario 2015 rund 75.700 t/a. Aufgrund der verminderten landwirtschaftlichen N-Einträge reduzieren sich die N-Einträge in die Oberflächengewässer vor allem über den Dränage- (-25%) und Grundwasserpfad (-17%). Die Einträge über den Pfad Abschwemmung werden aufgrund der geringeren Werte der Deposition um 17% reduziert. Die Stickstoffkonzentration im Oberflächengewässer reduzieren sich dabei um durchschnittlich 4,46 mg N/l (2003) in Hemelingen auf 3,87 mg N/l (Reithörne 2003: 7,8 mg N/l, Baseline-Szenarios 2015 5,89 mg N/l). Bei einer Senkung der N-Bilanzüberschüsse zum Erreichen einer guten Grundwasserqualität wie oben beschrieben reduzieren sich die Stickstoffeinträge auf 72.200 N t /a.

Da weder die Reduzierung der N-Einträge, die im Baseline-Szenario 2015 berechnet werden, noch die N-Einträge, die zum Erreichen eines guten Grundwasserzustands kalkuliert wurden, ausreichen, um das vorläufige Bewirtschaftungsziel der FGG Weser von 3 mg/l am Pegel Hemelingen zu erreichen, wird zusätzlich die notwendige Reduzierung jedes Teileinzugsgebietes zur Erreichung der 3 mg/l N berechnet.

Wird unterstellt, dass die Landwirtschaft entsprechend ihres Anteils an den Gesamteinträgen weitere Reduktionen vornehmen soll, so sind über zusätzliche Maßnahmen weitere rund 5.000 Tonnen N zu reduzieren. Hierzu müssten Maßnahmen in einem Umfang von etwa 270.000 ha realisiert werden. Die damit verbundenen Kosten würden sich auf ca. 20 Mio. Euro belaufen.

Nicht in allen Regionen können durch eine Ausdehnung der „konventionellen" N-Minderungsmaßnahmen die Ziele der Grundwasserkörper und die Ziele des Oberflächengewässers erreicht werden (siehe Abbildung 3). In 6-8 % der Regionen muss zusätzlich der ökologische Anbau ausgedehnt werden, um den Gesamtminderungsbedarf zu erreichen.

Abbildung 3: Umfänge der Maßnahmen und vorgeschlagene Maßnahmenkombinationen zum Erreichen der Bewirtschaftungsziele für Grundwasser (A) und Oberflächenwasser (B) der Wasserrahmenrichtlinie



Quelle: KREINS ET AL., 2010

Anmerkung: Die Fläche zeigt den Anteil der Fläche mit Maßnahmen an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche. Dieser Anteil kann in einigen Regionen auch über 100 % des jeweiligen LF-Umfangs liegen, weil bei den Berechnungen der Maßnahmenkombinationen zugelassen wurde, dass auf einer Fläche mehrere Maßnahmen realisiert werden, sofern sie dafür geeignet sind. Die Tortendiagramme weisen den prozentualen Anteil jeder Maßnahme aus.

5 Schlussfolgerungen zu den Möglichkeiten und Grenzen des Modellverbundes

Im Unterschied zu anderen bisherigen Modellierungen und Ansätzen in den Bewirtschaftungsplänen für die Wasserrahmenrichtlinie werden in diesem vorgestellten Ansatz hydrologische und ökonomische Modelle iterativ miteinander verknüpft, die derzeitige Situation der Gewässereinträge auf Teileinzugsgebiete und auf Rasterebene abgebildet, und die Entwicklung der diffusen Einträge aus der Landwirtschaft bis 2015 mit Hilfe des Agrarsektor Modells RAUMIS projiziert. Der weitere Handlungsbedarf zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie wird für Oberflächen- und Grundwasser ermittelt. Dadurch können Maßnahmenkombinationen erstellt werden, die regionsspezifisch und effektiv ausgewählt und kombiniert werden. Dies bietet die Möglichkeit, effektive Maßnahmenkombinationen für die Bewirtschaftungspläne zu erstellen, die von der Politik im Rahmen der Umsetzung der WRRL abverlangt werden sowie die Gesamtkosten pro Kreis oder Bundesland zu ermitteln. Die ermittelte Maßnahmenkombination für jede Region ist dabei nur eine mögliche Beispielkombination. Zusätzlich sind andere Gewässerschutzmaßnahmen oder Regelungen wie eine

Reduzierung der Viehzahlen oder der Mineraldüngermenge oder der Transport von Wirtschaftsdünger über Regionen hinaus denkbar.

Um eine fundierte und anwendbare Politikanalyse durchzuführen, ist es besonders wichtig, die Grenzen der wissenschaftlichen Analyse zu diskutieren. Besonders in der agrarökonomischen und hydrologischen Modellierung, wie in diesem Fallbeispiel für das Einzugsgebiet der Weser, gibt es Grenzen der Regionalisierung, der Durchführbarkeit von Politikanalysen, und des Abbildungsbereichs der Agrar- und Ernährungswirtschaft in der Modellierung.

Bei der Regionalisierung besteht ein Problem darin, dass Kosten und Wirkungen von Maßnahmen in der Realität standortspezifisch sind. In dieser Fallstudie werden Kosten und Wirkungen von Maßnahmen und von Maßnahmenkombinationen bisher entlang den Annahmen der Maßnahmenzusammenstellung von OSTERBURG UND RUNGE (2007) abgebildet. Das bedeutet, dass die Annahmen des Wirkungsgrads und der Kosten der Maßnahmen für jede Region gleich angenommen werden. Für diesen Ansatz mag diese Vorgehensweise gerechtfertigt sein, da Ergebnisse als Mittel für die Gemeindeebene berechnet werden. Weitere standortbezogene Differenzierungen unter der Einbeziehung von Bodendaten oder topographischen Analysen würden den Aggregationsfehler bei den Wirkungen verkleinern können und bessere kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen zulassen.

Der Einsatz des vorgeschlagenen Modellverbundes für die Politikberatung ist nur durch entsprechende Wissenschaftler möglich, da jede Analyse Fachwissen der komplexen Modelle erfordert. Damit sind die Kosten für den Einsatz der Modelle nicht unerheblich und die Flexibilität des Einsatzes eingeschränkt.

Der Abbildungsbereich in dieser Studie bezieht sich vor Allem auf den landwirtschaftlichen Sektor und hier speziell auf die Flächennutzung. Punktuelle Einträge in die Gewässer werden mit Hilfe des Modells MONERIS abgebildet und könnten zukünftig für Maßnahmen im Gewässerschutz stärker diskutiert werden. Der vor- und nachgelagerte Bereich in der Landwirtschaft wird in dieser Analyse nicht mit abgebildet, könnte aber eine Rolle für den Gewässerschutz spielen und sollte in weitere Analysen integriert werden.

Literatur

AFTAB, A., HANLEY, N. (2004): Combining economic instruments with regulation to achieve dual environmental targets: nitrate pollution and minimum river flows. Applied environmental economic conference 2004, ENVECON 2004.

ASSIMACOPOULOS, D. (2006): Allocation of water resources and cost under scarcity: A case study. Proceedings of the International Workshop on Hydro-Economic Modelling and Tools for implementation of the European Water Framework Directive. Valencia, Spain. January 2006.

BAZZANI, G. M., DI PASQUALE, S., GALLERANI, V., VIAGGI, D. (2004): Irrigated agriculture in Italy and water regulation under the European water framework directive. Water Resources Research 40. W07S04, doi:10.1029/2003WR002201.

HIRT, U., VENOHR, M., KREINS, P. AND BEHRENDT, H. (2008): Modelling nutrient emissions and the impact of nutrient reduction measures in the Weser river basin, Germany. Water Science and Technologie 58/11, 2251-2258.

BEHRENDT, H., BACH, M., KUNKEL, R., OPITZ, D., PAGENKOPF, W.-G., SCHOLZ, G., WENDLAND, F. (2003): Quantifizierung der Nährstoffeinträge der Flussgebiete Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Vorgehens. UBA-Texte 82, 201 p.

CYPRIS, C. (2000): Positive mathematische Programmierung (PMP) im Agrarsektormodell RAUMIS. Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V. Bd. 313, zugl. Dissertation Universität Bonn, Bonn.

EUROPEAN COMMISSION (2000): WFD (Water Framework Directive). European Commission Directive 2000/60/EC. Official Journal, 22(2000).

FEZZI, C., HUTCHINS, M., RIGBY, D., BATEMAN, I.J., POSEN, P., HADLEY, D., (2010): Integrated assessment of water framework directive nitrate reduction measures. Agricultural Economics 41: 123-134.

FGG WESER (2005): Bewirtschaftungsplan Flussgebietseinheit Weser - Bestandsaufnahme. http://www.fgg-weser.de/wrrl/bericht_2005.html.

GÖMANN, H., KREINS, P., MOELLER, C. (2004): Impact of nitrogen reduction measures on nitrogen surplus, income and production of German agriculture. Water science and technology 49 (3): 81-90.

GÖMANN, H., KREINS, P., KUNKEL, R., WENDLAND, F. (2005): Model based impact analysis of policy options aiming at reducing diffuse pollution by agriculture- a case study for the river Ems and a sub-catchment of the Rhine. Environmental Model Software 20 (2): 261-271.

GÖMANN H., KREINS P., BREUER T. (2007): Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas? *Agrarwirtschaft* 55 (5/6).

GÖMANN, H., HEIDEN, M., KLEINHANß, W., KREINS, P., VON LEDEBUR, O., OFFERMANN, F., OSTERBURG. B., SALAMON, P. (2008): Health Check der EU-Agrarpolitik - Auswirkungen der Legislativvorschläge: Studie im Auftrag des BMELV. Braunschweig, Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie (vTI) 12, 90 p.

GÖMANN H., KREINS P., JULIUS, C. (2009): Possible effects of global change in the Elbe basin: policy and citizens' scenario; perspectives for agriculture in the German Elbe basin - results from an interdisciplinary model network.In: Wechsung, F., Kaden S., Behrendt H., Klöcking B. (Hrsg): Integrated analysis of the impacts of global change on environment and society in the Elbe basin. Berlin. Weissensee-Verlag, 115-123.

HEINZ, I, PULIDO-VELAZQUEZ, M., LUND, J.R., ANDREU, J. (2007): Hydro-economic modeling in river basin management: implications and applications for the European Water Framework Directive. Water resources Management 21:1103-1125.

HENRICHSMEYER, W., CYPRIS, C., LÖHE, W., MEUDT, M., SANDER, R., SOTHEN, F. VON, ISERMEYER, F., SCHEFSKI, A., SCHLEEF, K.H., NEANDER, E., FASTERDING, F., HELMKE, B., NEUMANN, M., NIEBERG, H., MANEGOLD, D., MEIER, T. (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021). Vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig.

HOWITT, R.E. (1995): Positive Mathematical Programming. American Journal of Agricultural Economics 77: 329-342.

KREINS, P., BEHRENDT, H., GÖMANN, H., HEIDECKE, C., HIRT, U., KUNKEL, R., SEIDEL, K., TETZLAFF, B., WENDLAND, F. (2010): Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietsgemeinschaft Weser. Endbericht des AGRUM Weser Projektes. Landbauforschung, Sonderheft Nr. 336. 308 Seiten.

KUNST, S., SCHEER, C. UND PANCKOW, N. (2004): Signifikante Nährstoffeinträge aus der Fläche. ATV-DVWK-Themen, Hennef.

MOSS, T. (2004): The governance of land use in river basins: prospects for overcoming problems of institutional interplay with the EU Water framework directive. Land Use Policy 21: 85-94.

OSTERBURG, B., RUNGE, T. (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. 2007, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 307.

VAN DER VEEREN, R.J.H.M., TOL, R.S.J. (2001): Benefits of a Reallocation of Nitrate Emission Reductions in the Rhine River Basin. Environmental and Resource Economics 18: 19–41.

WENDLAND, F., KUNKEL, R., GRIMVALL, A., KRONVANG, B., MÜLLER-WOHLFEIL, D. I. (2002): The SOIL-N/WEKU model system - a GIS-supported tool for the assessment and management of diffuse nitrogen leaching at the scale of river basins. Water Science and Technology 45 (9): 285-292.

WENDLAND, F., KUNKEL, R., VOIGT, H.-J. (2004): Assessment of groundwater residence times in the pore aquifers of the River Elbe Basin. Environmental Geology 46: 1-9.