

# Modellbasierte Kosten-Wirkungsanalyse von Agrarumweltmaßnahmen zur Minderung der Stickstoffeinträge in Gewässer zur Einhaltung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie

Kurt Christian Kersebaum, Dietmar Barkusky, Peter Zander, Michaela Reutter,  
Detlef Deumlich, Jörg Steidl

Institut für Landschaftssystemanalyse  
Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung  
Eberswalder Str. 84  
D-15374 Müncheberg

{ckersebaum; dbarkusky ; pzander; reutter; ddeumlich; jsteidl}@zalf.de

**Abstract:** Für das Land Brandenburg wurden für ausgewählte Agrarumweltmaßnahmen im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie standortspezifische Kosten-Nutzen-Relationen quantifiziert. Hierzu wurden Fruchtfolgen über eine Matrix verschiedener Standortfaktoren mit dem Modell HERMES über 20 Jahre simuliert und der Stickstoffaustrag aus der Wurzelzone berechnet. Die Wirkung wurde den Kosten der Maßnahmen gegenübergestellt.

## 1 Einleitung

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie verlangt von den EU Mitgliedstaaten Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität in Grund- und Oberflächenwasser. Beeinträchtigungen der Gewässerqualität werden durch Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft verursacht, die im Falle von Stickstoff überwiegend über den Grundwasserpfad oder Drainanlagen in die Oberflächengewässer gelangen. In einer Studie für das Land Brandenburg sollten für ausgewählte Agrarumweltmaßnahmen (AUM) standortspezifische Kosten-Nutzen-Relationen quantifiziert werden. Betrachtete Agrarumweltmaßnahmen waren die Förderung des Zwischenfruchtanbaus (abfrierend und winterhart), eine Reduzierung des N-Saldos, der ökologische Landbau sowie die Umwandlung von Acker in Grünland. Zur Abschätzung des Stickstoffeintrags wurden Modellrechnungen mit und ohne Agrarumweltmaßnahmen für verschiedene Kombinationen von Standorteigenschaften durchgeführt. Ziel ist eine Ergebnismatrix, die sowohl Wirkungen im Sinne eines Stoffeintrags in die Gewässer als auch ihre Kosten standortspezifisch quantifiziert.

## 2 Material und Methoden

Grundlage für die Bewertung waren differenzierte Definitionen üblicher (Referenz) und durch die AUM angestrebter Bewirtschaftungsverfahren. Die Bewirtschaftungsverfahren wurden unter Berücksichtigung der für das Land Brandenburg geltenden Düngeempfehlung (differenziert nach Bodengruppen), vorliegender statistischer Ertragsdaten (differenziert nach Landbaugebieten) sowie Expertenschätzungen definiert. Dies erfolgte auf Basis der aus InVeKos ermittelten standortspezifisch häufigsten Feldfrüchte bzw. Feldfruchtkombinationen (2er Fruchtfolgen) in Brandenburg. Lediglich für den Vergleich Ackerland Grünland und konventioneller und ökologischer Landbau wurden 5-jährige Fruchtfolgesysteme betrachtet. Für die Fruchtfolgekombinationen aus Vor- und Nachfrucht wurden verschiedene Produktionsverfahren mit und ohne AUM nach Vorgabe der Düngeverordnung definiert und standortspezifisch mittlere Erträge geschätzt, wobei Varianten mit rein mineralischer sowie mit organischer Düngung berücksichtigt wurden.

Zur Quantifizierung der Wirkung wurden die Fruchtfolgeglieder über eine Matrix verschiedener Standortfaktoren mit dem Modell HERMES [Ke07] über einen Zeitraum von 20 Jahren (1990-2010) mit täglichen Wetterdaten simuliert und der Stickstoffaustrag aus der Wurzelzone berechnet. Hierzu wurden 5 Klimazonen, 5 Bodengruppen mit je 3 Humusgehalten und 4 Grundwasserflurabständen unterschieden. Dabei stehen die Bodengruppennummern für folgende Bodentexturen: 1= Sand, 2=leicht lehmiger Sand, 3= lehmiger Sand, 4= sandiger Lehm und 5= toniger Lehm. Das Modell beschreibt auf der Basis täglicher Witterungsdaten den Wasserhaushalt des Bodens, die Netto-N-Mineralisation von organischer Bodensubstanz und eingebrachten Pflanzenresiduen, die Denitrifikation sowie den Transport von Nitrat in der Bodenlösung und Wachstum und N-Aufnahme durch Pflanzen. Ergebnisgrößen waren Sickerwasser und N-Auswaschung aus der Wurzelzone sowie die Nitratkonzentration im Sickerwasser,  $N_{\min}$  im Herbst und Frühjahr sowie der N-Saldo. Für alle Größen wurde das 20jährige Mittel, Standardabweichung sowie Minimum/Maximumwerte pro Jahr ermittelt. Durch Eliminieren von unwahrscheinlichen Kombinationen konnte die Ergebnismatrix auf ca. 64000 Werte pro Ausgabegröße reduziert werden. Die Kosten wurden auf Grundlage der definierten Anbauverfahren je Bodengruppe mithilfe des Modells MODAM [ZK99] kalkuliert. Grundlage der Kostenberechnung waren die Direkt- und Arbeits-erledigungskostenfreien Leistungen (DAL), sie entsprechen dem Deckungsbeitrag abzgl. der festen Maschinenkosten und einem Lohnansatz. Zur Ermittlung der Kosteneffizienz wurden die DAL der AUM mit denen der Referenzverfahren verglichen. In Fällen, bei denen eine Futterverwertung relevant wurde, wurde die innerbetriebliche Futterverwertung monetär bewertet, sodass vergleichbare DAL-Werte bestimmt werden konnten. Weitere betriebsspezifisch bedingte zusätzliche Kostenkomponenten fanden nur in ausgewählten Fällen Berücksichtigung. Unberücksichtigt blieben die sich für den Landwirt ergebenden Transaktionskosten. Darüber hinaus blieben die Kosten, die für die Implementierung der Maßnahmen (administrative Kosten) entstehen, außer Acht.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Einfluss der Standortfaktoren auf die N-Auswaschung

Abb. 1 zeigt den Einfluss von Bodengruppe und Klimaregion auf den N-Austrag. Es wird deutlich, dass innerhalb der Klimaregionen die Bodengruppe 1 (sandige Böden) auf Grund ihrer geringen Wasserspeicherfähigkeit mit Abstand die höchsten N-Austräge aufweist. Diese nehmen mit zunehmendem Tongehalt der Böden ab. Im Vergleich der Klimaregionen erkennt man, dass die N-Austräge grundsätzlich mit der Höhe der Jahresniederschläge ansteigen. Da die reduzierende Wirkung der AUM auf den N-Austrag aus der Wurzelzone zunächst vor allem durch die Gesamthöhe der Emissionen bestimmt wird, steigt diese somit in der Regel mit dem Anstieg der Nitratauswaschungsgefährdung der Standorte an, ist also am höchsten in der Zone mit den höchsten Jahresniederschlägen (R2 (Potsdam) = 588 mm/Jahr) sowie auf Standorten der Bodengruppe 1.

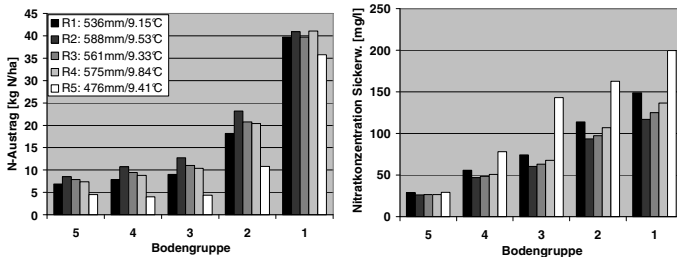


Abbildung 1: Durchschnittlicher jährlicher N-Austrag (links) und Nitratkonzentration im Sickerwasser (rechts) in den einzelnen Klimaregionen und Bodengruppen

Da mit den Niederschlägen bzw. mit abnehmender Wasserspeicherfähigkeit der Böden auch die jährliche Sickerwassermenge ansteigt, kommt es im Hinblick auf die Konzentration des Nitrats im Sickerwasser dann zu einem Verdünnungseffekt, wenn die Sickerwassermenge die Speicherfähigkeit der Böden deutlich übersteigt. Je höher die Speicherfähigkeit des Bodens ist, umso geringer macht sich die durch einen höheren Humusgehalt bedingte erhöhte Mineralisation bei den N-Austrägen bemerkbar. Bei den wenig speicherfähigen Böden der Bodengruppen 1 und 2 steigt der N-Austrag mit dem Humusgehalt deutlich an. Beim Grundwasserflurabstand spielt der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser in den Wurzelbereich eine große Rolle. Der Einfluss wechselt zwischen den Bodengruppen je nach dem Verhältnis zwischen Sickerwassermenge und kapillarem Aufstieg während der Sommermonate.

#### 3.2 Wirkung der Agrarumweltmaßnahmen

Entsprechend der standortspezifischen Austragsgefährdung wurden deutliche Reduktionen des N-Austrags vor allem auf den austragsgefährdeten leichten Standorten in der Klimazone mit den höchsten Niederschlägen erzielt. Zwischenfruchtanbau verminderte die N-Austräge deutlich, wobei die winterharte Variante gegenüber den abfrierenden Zwischenfrüchten eine bessere Wirkung zeigte, da eine frühzeitige Mineralisierung vermieden wird. Eine Reduzierung des N-Saldos ausgehend von einer ordnungs-

gemäßigen Düngung zeigte nur noch eine geringe Wirkung. Im Vergleich mit leicht überdüngten Varianten konnte jedoch eine nennenswerte Reduktion erzielt werden. Der Ökologisch Landbau erzielte vor allem durch seine Nährstofflimitierung sowie eine weitgehende Pflanzenbedeckung innerhalb der optimierten Fruchtfolge eine deutlich geringere N-Auswaschung gegenüber den konventionellen Referenzfruchtfolgen, die nicht in jedem Jahr eine Winterbegrünung zuließen. Eine derart optimierte Rotation wird jedoch oft nicht in der Praxis umgesetzt. Eine begleitende Beratung wäre daher sinnvoll. Die Umwandlung in extensives Grünland zeigte die höchste Reduktionsleistung.

### 3.3 Kosten-Nutzen der Agrarumweltmaßnahmen

Die Kosten der Maßnahmen weisen eine hohe Spannweite auf. Das Ertragspotenzial spielt bei der reduzierten Düngung (soweit Ertragsverluste einkalkuliert werden müssen) und der Umwandlung von Ackerland in Grünland eine wesentliche Rolle. Diese Maßnahmen können vor allem auf den Bodengruppen 1, 2 bei Landschaftspflegegrünland sogar bis zur Bodengruppe 3 zu einer Kostenersparnis für den Landwirt führen. Auf den Bodengruppen 4 und 5 steigen die Kosten, vor allem für die Umwandlung von Ackerland in Grünland, bei gleichzeitig oft sinkender Wirkung. Jedoch wurde auch noch bei grundwassernahen Standorten der Bodengruppe 4 für die Umwandlung von Ackerland in Grünland eine Kostenwirksamkeit von 7 €/kg N berechnet. Bei Zwischenfrüchten und der Reduktion der organischen Düngung sind die entstehenden Mehrkosten entscheidend. Bei Zwischenfrüchten entsteht trotz der relativ hohen Kosten aufgrund der gleichzeitig hohen Wirkung eine Kostenwirksamkeit von oft < 5 €/kg N mit einem Vorteil für winterharte Zwischenfrüchte. Die definierten Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus zeigen einerseits eine hohe Wirkung und zeichnen sich andererseits auf allen Bodengruppen als ökonomisch vorteilhafter als die konventionellen Fruchtfolgen ab. Jedoch sind vor allem auf der Kostenseite einige Unsicherheiten zu berücksichtigen. Unterstellt man die aktuell gültige AUM-Prämie der Maßnahme, so verändert sich die Kostenwirksamkeit für den Grundwasserschutz stark in Abhängigkeit von der Bodengüte.

Die in einer Datenbank abgelegte Matrix von standortspezifischen Werten zu Wirkungen und Kosten erlauben eine fallspezifische Abschätzung von Kosten-Nutzen Relationen zu einzelnen Agrarumweltmaßnahmen sowie eine spätere Verortung über GIS.

**Danksagung:** Wir danken dem LUGV Brandenburg für die Förderung des Projektes.

### Literaturverzeichnis

- [Ke07] Kersebaum, K.C.: Modelling nitrogen dynamics in soil-crop systems with HERMES. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 77, 2007; S. 39-52.
- [ZK99] Zander, P.; Kächele, H.: Analysis of interdependencies between economic and ecological indicators of agricultural land use. MODAM - a Multi-Objective Decision Support Tool for Agroecosystem Management. In (Schiefer, G. et al., Hrsg.) Perspectives of modern information and communication systems in agriculture, food production and environmental control. Proc. 2<sup>nd</sup> Eur. Conf. EFITA, Bonn, ILB Verlag, Bonn, 1999; S. 129-140.