



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.*

Nuppenau, E.-A.; Hausner, U.: Progressive Besteuerung von Viehbestandskonzentrationen zur Reduzierung des Nitratgehalts im Grundwasser: Ein kontrolltheoretischer Ansatz.
In: Kirschke, D.; Odening, M.; Schade, G.: Agrarstrukturentwicklungen und Agrarpolitik.
Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.,
Band 32, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1996), S.503-514.

PROGRESSIVE BESTEUERUNG VON VIEHBESTANDSKONZENTRATIONEN ZUR REDUZIERUNG DES NITRATGEHALTS IM GRUNDWASSER: EIN KONTROLLTHEORETISCHER ANSATZ

von

E.-A. NUPPENAU und U. HAUSNER*

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten hat sich in der deutschen Landwirtschaft eine Konzentration der Tierhaltung vollzogen. Insbesondere im Nord-Westen (Schweinehaltung im Weser-Ems-Gebiet Niedersachsens bzw. im Münsterland Nordrhein-Westfalens) und Teilen Bayerns (Rinderhaltung im Voralpengebiet) wurden vergleichsweise große Viehbestände aufgebaut. Vielfach überschreitet das Verhältnis von Großvieheinheiten zur Flächenausstattung die ursprünglich in Mitteleuropa üblichen Werte. Gleichzeitig ist die Bevölkerung gegenüber der Nitratbelastung des Grundwassers aufmerksamer geworden. Während allgemein der Zusammenhang zwischen mineralischer Düngung und Nitrat im Grundwasser bereits seit einigen Jahren analysiert wird, ist die Diskussion um den Zusammenhang zwischen Viehbestandsdichte und Nitrat noch relativ neu und konzentriert sich fast ausschließlich auf die Einführung von Bestandsobergrenzen.

Die Theorie der Internalisierung negativer externer Effekte hat bisher lediglich zu relativ globalen Politikvorschlägen geführt. So werden maximale Düngermengen pro Hektar und länderspezifische Bestandsobergrenzen für Vieh bzw. eine globale Nitratbesteuerung für ganz Deutschland vorgeschlagen. Für den Viehsektor liegen zudem Vorschläge für Düngerbanken (Düngermärkte) und großräumigere Verteilungsverfahren vor. Bisher ist es aber nur in geringem Umfang zu durchgreifenden Maßnahmen gekommen. Die Denitrifizierung des Grundwassers zum Zwecke der Trinkwasseraufbereitung ist damit ein immer größeres Problem für die Wasserwerke geworden. Da außerdem die Grenzwerte für den Nitratgehalt an neuere Richtlinien angepaßt werden, stehen die Wasserwerke vor zunehmendem Kostendruck, der sich in steigenden Wasserpreisen niederschlägt. Die Wasserverbraucher sind zweifach betroffen: Zum einen werden sie durch alarmierende Meldungen über die Wasserverschmutzung verunsichert, zum anderen müssen sie mehr für das Wasser bezahlen. Die Landwirte haben dagegen ihre Produktionsverfahren zunehmend optimiert und auf der Basis größerer Viehbestände Kostendegressionen realisiert. Es ist ein Verteilungskonflikt entstanden, der sich z.B. in der verschärften Kontroverse um den Wasserpfeffer bzw. der Diskussion um das Verursacher- bzw. Gemeinlastprinzip manifestiert hat.

Dieser Beitrag wählt eine etwas andere Perspektive. Der Ansatzpunkt beruht auf einer Pigou-Steuer, die variabel in Abhängigkeit von der Viehbestandsdichte erhoben werden soll. Ziel ist es, Regionen mit einer höheren Viehbestandsdichte stärker zu besteuern und Regionen, die nur niedrige Viehbestandsdichten aufweisen, weniger zu belasten. Damit soll in den von den negativen externen Effekten stärker betroffenen Regionen ein überproportionaler Rückgang der Kontamination mit Nitrat erzielt und auch eine effizientere Allokation der Kosten für die Sauberhaltung des Trinkwassers erreicht werden. Gleichzeitig wird es den politischen Ent-

* Privatdozent Dr. habil. E.A. Nuppenau und Dipl.-Ing. agr. U. Hausner, M.S., Ph.D. cand., Christian-Albrechts-Universität, Institut für Agrarökonomie, Lehrstuhl Marktlehre, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel

scheidungsträgern ermöglicht, Kosten in der Landwirtschaft, die bei der Vermeidung von externen Effekten entstehen, und Kosten der Wasserwerke, die als direkte Kosten der Wasseraufbereitung anfallen, systematisch gegeneinander abzuwägen. Den politischen Entscheidungsträgern wird dabei ein Instrument angeboten, dessen Basis (Viehbestandsdichte) allgemein akzeptiert wird, das aber im Gegensatz zur reinen Auflagenpolitik (Viehbestandsobergrenzen) geringere Effizienzverluste durch flexible Besteuerung erwarten läßt.

Aus wohlfahrtsökonomischer Perspektive analysiert der Beitrag die effiziente Ausgestaltung eines politischen Eingriffs zur Verringerung der Nitratbelastung im Grundwasser. Dabei sind die Grenznutzen der politischen Maßnahme in Form geringerer Kosten der Wasseraufbereitung sowie die Grenzkosten der Maßnahme in Form höherer Vermeidungskosten (soziale Kosten) in der Landwirtschaft miteinander in Einklang zu bringen. In Abhängigkeit von der regionspezifischen Intensität der landwirtschaftlichen Produktion und damit der potentiellen Variabilität der sozialen Kosten einer Reduzierung des Stickstoffeintrags wird eine Besteuerung ermittelt, die private und soziale Kosten in der Landwirtschaft effizienter zum Ausgleich bringt, als dies bei globalen Produktionsauflagen der Fall wäre. Sicherlich wäre eine derartige Steuer im Prinzip für jeden landwirtschaftlichen Betrieb individuell zu ermitteln: Eine 'optimale' Besteuerung wäre nur unter Berücksichtigung aller betriebs- bzw. regionsspezifischen Gegebenheiten vorzunehmen. Allerdings stünden die Transaktionskosten eines solchen Vorgehens in keiner Relation zum Ertrag. Dieser Beitrag wählt daher einen mittleren Disaggregationsgrad durch eine regionale (kreisbezogene) Spezifikation der Steuer.

Als theoretischen Ansatz zur analytischen Bestimmung der Besteuerung von Viehbestandsdichten wird die Kontrolltheorie verwendet. Die Zielfunktion setzt sich aus den zusätzlichen Kosten der Landwirte infolge der Besteuerung und aus den reduzierten Kosten der Wasserwerke infolge geringerer Kontamination des Wassers zusammen. Die funktionale Beziehung zwischen Nitratgehalt und Viehbestandsdichte wird als Nebenbedingung formuliert. Diese wird anhand von Kreisdaten, die in den alten Bundesländern erhoben worden sind, geschätzt.

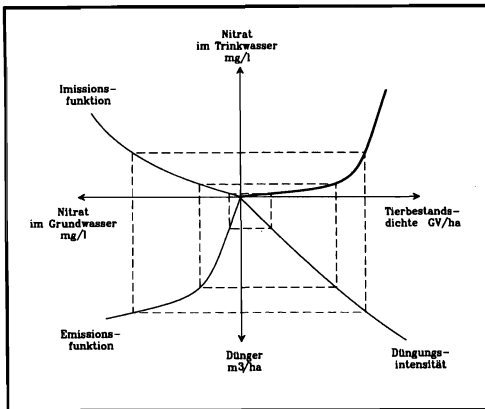
Der Beitrag ist in drei Abschnitte aufgeteilt. Im Abschnitt 2 werden die ökonomischen Grundlagen diskutiert, die zur Bestimmung der funktionalen Beziehungen notwendig sind. Während im Abschnitt 3 das mathematische Konzept, mit dem das Kontrollproblem zu lösen ist, vorgestellt wird, werden im Abschnitt 4 Datenbeschaffungsprobleme diskutiert. Sicherlich ist die Validität eines Modells von der Qualität der Datengrundlage abhängig. Daher kann die empirische Quantifizierung in diesem letzten Abschnitt lediglich als vorläufiges Ergebnis interpretiert werden. Den Beitrag schließt ein kurzer Ausblick auf weiterführende Forschungsaktivitäten ab.

2 Berücksichtigung von sozialen und privaten Kosten der Tierhaltung und Wasseraufbereitung

Die Nitrifizierung von Grundwasser durch die Landwirtschaft ist ein bereits häufig diskutiertes Phänomen, das den negativen externen Effekten der Agrarproduktion zugeordnet wird. Allerdings bezog sich der ursprüngliche Ansatzpunkt vornehmlich auf die Auswaschung von Mineraldünger und deren Einleitung in grundwasserführende Schichten. Mit der Einbeziehung von organischem Dünger erweitert sich die Vorstellung formal lediglich um den Zusammenhang zwischen dem Anfall an organischem Dünger und der Tierbestandsdichte. Für die weitergehende umweltökonomische Analyse müssen die physikalischen Prozesse, die zur Nitratanreicherung im gepumpten Trinkwasser führen, nicht im einzelnen verstanden werden. Es gilt lediglich, den Eintrag (Emission) von organischem Dünger in den Boden, den Absorptionsprozeß im Boden bzw. in der Pflanze sowie die Anreicherung von Nitrat im Grundwasser (Immission) so abzubilden, daß ein funktionaler Zusammenhang von Tierbestandsdichte und Nitrat im gepumpten Trinkwasser modelliert werden kann. Aus umweltökonomischer Sicht wird der Prozeß als „black box“ verstanden und ist im nordöstlichen Quadranten der Abbildung 1 enthalten. Der Quadrant zeigt, wie sich idealtypisch die funktionale Beziehung von Viehbestandsdichte (Produktionsintensität) zu Nitrat im gepumpten Grundwasser darstellt.

Der Kurvenverlauf wird wesentlich durch die physikalischen Prozesse bestimmt: organische Düngerproduktion pro Kuh, Ertragsentwicklung im Pflanzenaufwuchs, Anfall überschüssigen Stickstoffs bei größerer Düngieranwendung und Weiterleitung zu den Trinkwasserleitern im Untergrund.

Abbildung 1: Schematisches Konzept von Tierbestandsdichte, Düngereintrag und Nitrifizierung des Grundwassers



Quelle: O'HARA 1984, S. 99

Unter Zugrundelegung der wahrscheinlichen Verläufe der Einzelprozesse ist ein progressiv ansteigender Verlauf der Verschmutzungsfunktion (y-Achse des 1. Quadranten) in Abhängigkeit von der Tierbestandsdichte (x-Achse des 1. Quadranten) zu erwarten. Mathematisch entspricht diese Vorstellung einer Exponentialfunktion: $y(i) = \mu_0 \exp(\mu_1 * i)$. Eine derartige Formulierung wird als Nebenbedingung in der Optimierung der Steuer innerhalb der erweiterten Form nachfolgend Berücksichtigung finden.

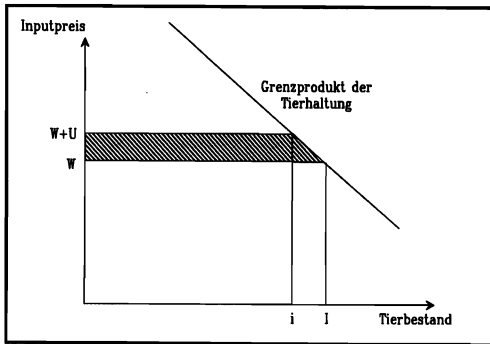
Mit zunehmender Nitrifizierung des Grundwassers stellt sich für das Wasserwerk das Problem überproportional steigender Kosten der Wasseraufbereitung. Gleichzeitig konnten Landwirte durch Ausnutzung von Skaleneffekten die Kosten in der Tierhaltung verringern. Wie bereits angesprochen, führte dieser Vorgang zu vermehrter Tierhaltung bzw. zur Konzentration der Tierbestände in einzelnen ländlichen Regionen Deutschlands. Beide Entwicklungen beeinflussen die gesellschaftliche Wohlfahrt negativ. Neben den physikalisch-technischen Wechselbeziehungen zwischen der Tierbestandsdichte und der Nitrifizierung der Trinkwasservorräte ist daher eine umweltökonomisch relevante Zielfunktion aufzustellen. Unterstellt wird hierzu eine soziale Wohlfahrtsfunktion mit folgenden Argumenten: den zusätzlichen Kosten in der Tierhaltung, den verringerten Kosten der Wasseraufbereitung und den Transferzahlungen für die Steuerübertragung.

Vielfach ist über die Höhe und die Verteilung der Kosten umweltpolitischer Maßnahmen zur Verringerung der Nitratbelastung des Grundwassers diskutiert worden. In diesem Beitrag wird das Instrument der Pigou-Steuer gewählt. Für die Ermittlung der Steuer sind die Kosten, die durch die Vermeidung der negativen externen Effekte bei den bisher Begünstigten entstehen, und die Reduktion der Kosten, die bei der nachträglichen Wasseraufbereitung im Wasserwerk anfallen, gegeneinander abzuwägen.

Auf der Seite der landwirtschaftlichen Tierhaltung lassen sich die Kosten, die durch die Besteuerung der Tierhaltung entstehen, über die erste Ableitung einer Kostenfunktion erfassen („Shepards Lemma“; vgl. CHAMBERS 1989, S. 68 ff). Unter der Annahme einer monetären

Grenzproduktivitätsfunktion der Tierproduktion (alle Inputs im landwirtschaftlichen Produktionsprozess zur Erzielung von tierischem Output, z.B. Milch, Fleisch, Wolle) entsprechen die zusätzlichen Kosten der Besteuerung von Großvieheinheiten dem Integral über der Preisänderung unter der monetären Grenzproduktivitätsfunktion. In Abbildung 2 ist der Verlust als Fläche unter der Faktornachfragefunktion nach Tieren dargestellt.

Abbildung 2: Auswirkungen einer Steuer auf Tierhaltung auf die Tierbestandsnachfrage



Quelle: Eigene Darstellung

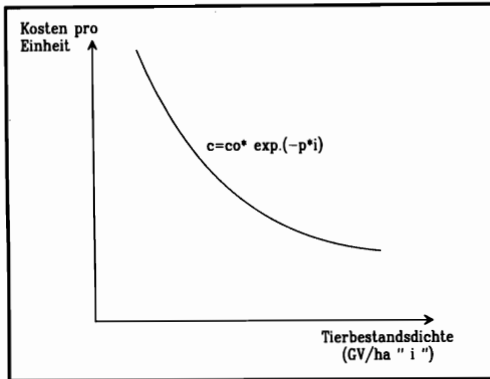
Die Einführung der Steuer „u“ wirkt sich wie folgt aus: Die Kosten des Faktorinputs, bezogen auf die Großvieheinheiten, steigen, und der Viehbesatz reduziert sich. Die Parametrisierung der Kostenfunktion erfolgt im Rahmen der Spezifizierung des mathematischen Modells.

Für die Tierhaltung sind Größendegressionseffekte („economies of scale“) vielfach nachgewiesen worden (ISERMEYER 1988, S. 314 ff.). Insbesondere bei höherer Tierbestandsdichte sinken die durchschnittlichen Kosten pro Produktionseinheit (Milch bei Milchkühen, Rindfleisch und Schweinefleisch in der Mast). Die Landwirte versuchen durch eine Spezialisierung der Produktion so viel Output wie möglich aus der knappen Ressource „Land“ zu erzielen. Zur Vereinfachung wird in diesem Beitrag angenommen, daß die Kostendegression in Form einer negativen, exponentiellen Beziehung zwischen den Kosten pro Produktionseinheit und der Intensität erfaßt werden kann. Empirische Belege für den postulierten Zusammenhang liefert ebenfalls ISERMEYER (1988, S. 315). Die Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen degressiven Durchschnittskosten und der Intensität der Produktion.

Bisher ist lediglich die Beziehung zwischen Produktionsintensität, Steuern auf Großvieheinheiten und Kosten für die Landwirtschaft beschrieben worden. Nachfolgend wird die Kostensituation der Wasserwerke in Abhängigkeit von der Kontamination des Grundwassers diskutiert. Dabei wird angenommen, daß die Kosten der Wasseraufbereitung mit dem Kontaminationsgrad des Grundwassers überproportional ansteigen. Abbildung 4 zeigt den prinzipiellen Zusammenhang: Die schraffierte Fläche approximiert den Anstieg der Wasseraufbereitungskosten bei Steigerung des Verschmutzungsgrades. Daten über Kosten der Wasseraufbereitung für unterschiedliche Intensitäten der Kontamination liegen vor. Zum Beispiel dokumentiert FUCHS (1994), daß die Aufbereitungskosten von 220 DM/ccm bei einem Verschmutzungsniveau von 106 mg Stickstoff pro Liter auf 1 879 DM/ccm bei einem Stickstoffniveau von 320 mg ansteigen.

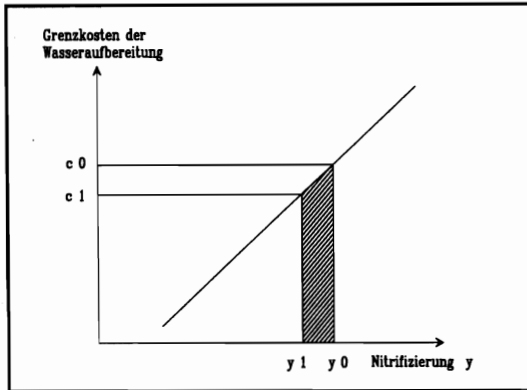
Zusätzlich zu den jeweiligen Kosten (in der Landwirtschaft durch die Erhebung der Steuer und die Verringerung der Nutzung von Degressionseffekten) und den Nutzen (bei den Wasserwerken durch geringere Kontamination) sind die monetären Transfers zu berücksichtigen. Für den Fall, daß die Zahlungen der Landwirtschaft an die Wasserwerke erfolgen, wird ein Ver-

Abbildung 3: Kostendegression und Intensität der Tierhaltung



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4: Grenzkostenkurve der Wasseraufbereitung in Abhängigkeit vom Kontaminationsniveau



Quelle: Eigene Darstellung

teilungsschlüssel unterstellt, der die pro Großvieheinheit erhobene Steuer in Transferzahlungen je Kubikmeter aufbereiteten Wassers umrechnet. Die soziale Wohlfahrtsfunktion hat folglich drei Argumente: die zusätzlichen Kosten in der Tierhaltung, die verringerten Kosten der Wasseraufbereitung und die Transferbedingung für die Steuerübertragung.

3 Ableitung des mathematischen Modells

Die Bestimmung einer flexiblen Steuer erfolgt in diesem Beitrag auf der Basis eines mathematischen Modells¹. Die für das Modell notwendigen Parameter können, wie gezeigt wird, aus den Angebot- und Nachfragebeziehungen im Tierhaltungssektor und aus der Kostenfunktionen der Wasserwerke ermittelt werden. Die Analyse beginnt mit der Gleichung (1). Sie beschreibt den Zusammenhang zwischen Externalität und Produktionsniveau auf der Ebene einer landwirtschaftlichen Region ('physische' Externalitätenfunktion):

¹ Die Formulierung und analytische Ableitung des mathematischen Modells erfolgte maßgeblich durch E.-A. Nuppenau.

$$(1) \quad y_j = h(x_j, k_j, z_j)$$

wobei y_j die Externalität (Stickstoffmenge im Grundwasser, das für Trinkwasser aufbereitet werden soll), x_j das Niveau der landwirtschaftlichen Inputs, k_j die fixen Kapitalbestände (inkl. Vieh, Arbeit und Boden), z_j die regionsspezifische Bedingungen (Variablen wie Bodenqualität und Klimaausprägung, welche die stofflichen Nitrattransfers bestimmen) und j die Region (landwirtschaftlicher Betrieb; Gemeinde, Kreise, je nach Aggregation) bezeichnen.

Die Gleichung kann außerdem die den stofflichen Umsetzungsprozeß (vom organischen Dünger zum Nitrat im Wasser) beeinflussenden Faktoren erfassen (vgl. ZILBERMAN und MAR-RA 1993, S. 239ff.). Sie stellt insofern eine Erweiterung der Beziehung aus der Abbildung 1 dar, als daß sie die um die exogenen Einflußfaktoren korrigierten Einzelbeziehungen berücksichtigt.

Gleichung (2) bestimmt das Angebot landwirtschaftlicher Produkte („Angebotsfunktion“) unter Annahme gewinnmaximierenden, unternehmerischen Verhaltens:

$$(2) \quad q_j = g(k_j, z_j, w + u_j)$$

wobei q_j die Produktion aus der Tierhaltung, $(w+u_j)$ die ökonomischen Variablen Inputpreise und Steuern, z_j die betriebs- bzw. regionsspezifische Bedingungen (z.B. Technologie) und k_j die fixen Kapitalbestände (inkl. Vieh, Arbeit und Boden) symbolisieren.

Die Zusammenfassung von Gleichung (1) und (2) ergibt über die Eliminierung der fixen Faktoren (k_j), die Beziehung von Kontamination (y) zu landwirtschaftlichen Inputs (x) der Produktionsmenge (q), den ökonomischen $(w+u_j)$ bzw. spezifischen Variablen (z) ('verhaltens-theoretische' Externalitätenfunktion):

$$(3) \quad y_j = f(x_j, q_j, w + u_j, z_j)$$

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Gleichung (3) empirisch zu erfassen. Im vorliegenden Fall wird eine regionale Perspektive gewählt. Kreisdaten für die alten Bundesländer dienen als Grundlage für eine Querschnittsanalyse. Bevor diese Analyse präsentiert wird, ist die Gleichung (3) in Anpassung an die verfügbaren Daten zu modifizieren. Unter der Annahme, daß Gleichung (3) eine linear-homogene Produktionsfunktion darstellt, kann durch q_j geteilt werden. Man erhält als Ergebnis die auf GV normierte 'verhaltens-theoretische' Externalitätenfunktion:

$$(4) \quad y_j = q_j f(x_j/q_j, 1, w + u_j/q_j, z_j/q_j)$$

Gleichung (4) entspricht Gleichung (3), wobei die Argumente relativ zum Output erfaßt werden: Zum Beispiel kann x als Landinput und q als Großvieheinheit interpretiert werden. Der inverse Ausdruck von x/q ($1/(q/x)$) ist demnach durch den Kehrwert der gebräuchlichen Maßzahl GV/ha ($1/(GV/ha)$) erfaßbar. Die Großvieheinheiten pro Hektar können als Maßzahl für die Intensität der Tierproduktion interpretiert werden. In ähnlicher Weise lassen sich die anderen Variablen erklären. Die Variable $(w+u_j)/q$ definiert den Kapitalwert des Inputs zuzüglich der Steuer, normiert auf eine Großvieheinheit.

In Gleichung (4') wird die Nitratmenge im Grundwasser Y_j (in mg/ccm) als Funktion der Intensität i_j (in GV/ha), dem kapitalisierten Wert einer Großvieheinheit (in DM/GV) und anderen Variablen auf der Basis regionaler Durchschnitte, Z_{1j} , Z_{2j} , ... (Bodenqualität, Grünlandanteil, ...) spezifiziert:

$$(4') \quad Y_j = \tilde{f}(i_j, W + U_j, Z_{1j}, Z_{2j}, Z_{3j}, \dots)$$

Gleichung (4) liefert lediglich eine nicht-parametrisierte Funktion, welche die funktionale Beziehung zwischen abhängiger und erklärenden Variablen hypothetisiert. Für die parametrisierte Form ist die Hypothese aus Abbildung 1 zum exponentiellen Verlauf der Beziehung von Nitrifizierung des Grundwassers und der Viehbestandsdichte heranzuziehen. Gleichung (5) zeigt eine derartige Ausgestaltung:

$$(5) \quad Y_j = \mu_0 \exp(\mu_1 i_j) + \mu_2 (W + U_j) + \mu_3 Z_{1j} + \dots + \mu_{n+2} Z_{nj}$$

Die Formulierung in Gleichung (5) kann in die für die Optimierung notwendige Form einer Differentialgleichung, Gleichung (6), umgewandelt werden².

$$(6) \quad \begin{aligned} \dot{Y} = & (1/\mu_1)Y(i) + (\mu_2/\mu_1)(W + U) \\ & + (\mu_3/\mu_1)Z_1 + \dots + (\mu_{n+2}/\mu_1)Z_n \end{aligned}$$

Bisher ist gezeigt worden, daß sich die Nitrifizierung als eine Differentialgleichung in Abhängigkeit von der Viehbestandsdichte darstellen läßt. Es ist darauf hinzuweisen, daß nicht, wie allgemein in der Kontrolltheorie üblich, die Zeit, sondern die Viehbestandsdichte als Basis herangezogen wurde. Explizit kann nunmehr mit der Differentialgleichung (6') oder ihrer nicht-parametrisierten Variante (6'') weitergearbeitet werden, wobei Y und U als Funktion der Intensität ausgedrückt werden:

$$(6') \quad \dot{Y}(i) = \gamma_0 + \gamma_1 Y(i) + \gamma_2 (W + U(i)) + \gamma_3 Z_1 + \dots + \gamma_{n+2} Z_n$$

$$(6'') \quad \dot{Y}(i) = \tilde{f}(Y(i), W + U(i), Z_1, \dots, Z_n)$$

Nachdem die Funktion für die Nebenbedingung des Kontrollproblems bestimmt worden ist, wird nachfolgend die Zielfunktion dargestellt. Die „Hamilton“-Gleichung erhält dann die Form:

$$(7) \quad \begin{aligned} H = & \Pi(P, W + U(i), i) - P Q + C_1(Q, W + U(i), i) - \nu U(i) \\ & + C_2(M, Y(i)) + \lambda [\dot{Y}(i) - f(Y(i), W + U(i), i)] \end{aligned}$$

wobei P die Output-Preise, Q den zunächst nicht variierten Output, W den kapitalisierten ökonomischen Wert (Input-Preis) der Großvieheinheit (GV), i die Intensität (GV/ha), U(i) die Steuer pro Großvieheinheit (GV) als Funktion der Intensität (Kontrollvariable), $\Pi(\cdot)$ die Gewinnfunktion, $C_1(\cdot)$ die Kostenfunktion in der Landwirtschaft als Funktion der Intensität in der Tierhaltung (GV/ha), ν den Steuerzuteilungsfaktor zwischen Landwirtschaft und Wasserwerken, $C_2(\cdot)$ die Kostenfunktion der Wasseraufbereitung, λ den Lagrange-Multiplikator, M die aufbereitete Wassermenge, Y den Nitrifizierungsgrad und \dot{Y} die Änderung des Nitrifizierungsgrades in Abhängigkeit von der Intensität darstellen.

Um das Kontrollproblem analytisch handhabbar zu machen, ist eine Parametrisierung der Funktionen in der „Hamilton“-Gleichung erforderlich. Hierzu wird eine quadratische Formulierung gewählt. Außerdem muß die Kostenfunktion der Tierhaltung um die Effekte der Degression in Abhängigkeit von der Intensität ergänzt werden. Die Durchschnittskostenfunktion wird daher mit $\exp(\rho \cdot i)$ erweitert, wobei $\rho < 0$. Die Kostenkomponenten der Zielfunktion haben somit die parametrisierte Form:

² Beachte: Das Subskript j für die einzelnen Regionen wird in den folgenden Gleichungen ausgelassen.

$$(8) \quad C_1(Q, W + U(i), i) = Q(b_{00} + (W + U(i))(b_0 + 0.5 b_1(W + U(i)))) \exp(\rho i)$$

$$(9) \quad C_2(M, Y) = M(a_{00} + Y(a_0 + 0.5 a_1 Y + a_2 C)) + 0.5 a_3 C^2,$$

wodurch das Kontrollproblem analytisch lösbar wird. Die „a“s und „b“s stellen Parameter dar, die durch die numerische Spezifikation der Einzelelemente bestimmt werden können.

Zur Lösung des Kontrollproblems sind folgende drei Bedingungen zu erfüllen:

$$(10) \quad H_Y = -\dot{\lambda}; \quad H_U = 0, \quad H_\lambda = \dot{Y}$$

Im Falle der quadratischen Spezifizierung ergeben sich die Gleichungen (11) bis (13):

$$(11) \quad a_0 + a_1 Y + \gamma_1 \lambda = -\dot{\lambda}$$

$$(12) \quad [b_0 + b_1(W + U(i))] \exp(\rho i) + v + \gamma_2 \lambda = 0$$

$$(13) \quad \dot{Y} - \gamma_0 + \gamma_1 Y + \gamma_2 (W + U(i)) = 0$$

Dieses System von drei Differentialgleichungen mit drei Unbekannten läßt sich auf zwei Gleichungen mit zwei Differentialelementen für Y und λ reduzieren. Die Steuer U bleibt endogen und kann nachträglich aus den Ausgangsbedingungen (12) ermittelt werden. Ein System von zwei Differentialgleichungen ist relativ leicht lösbar (siehe TU, 1984):

$$(14) \quad \begin{pmatrix} \dot{\lambda} \\ \dot{Y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -a_0 \\ \gamma_0 + \gamma_2 b_0/b_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \gamma_1 & -a_1 \\ \gamma_2^2 \exp(-\rho i)/b_1 & \gamma_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \gamma_2(v + \gamma_2 \bar{\lambda})/b_1 \exp(-\rho i) \end{pmatrix}$$

Die Lösung ergibt für Y und λ eine Funktion in Abhängigkeit von der Intensität. Damit kann nach dem Einsetzen in Gleichung (12) prinzipiell auch die Steuer U bestimmt werden. Sie stellt sich ebenfalls als Funktion der Intensität i dar. Die Lösungsformel eines Systems zweier Differentialgleichungen enthält dabei zwei Exponentialelemente:

$$(15) \quad U(i) = \alpha_0 + \alpha_1 \exp(\omega_1 i) + \alpha_2 \exp(\omega_2 i)$$

Im einzelnen ergeben sich die „ ω “s und „ α “s in der Gleichung (15) aus der Paramentervorgabe in den Gleichungen (6'), (8) und (9). Mit anderen Worten, die Parameter a, b, γ und ρ aus der ursprünglichen Formulierung der Zielfunktion und der Nebenbedingung bilden die Grundlage für die Berechnung der „ ω “s und „ α “s in Gleichung (15). Hierfür läßt sich allerdings keine einfache Formel angeben. Es sind Rechenoperationen erforderlich, die mit Eigenwerten operieren. Weiterführende Forschungsaktivitäten sind daher auf die Bestimmung der Ausgangsparameter in den Gleichungen (6'), (8) und (9) auszurichten, um die numerische Spezifikation von Gleichung (15) zu ermöglichen.

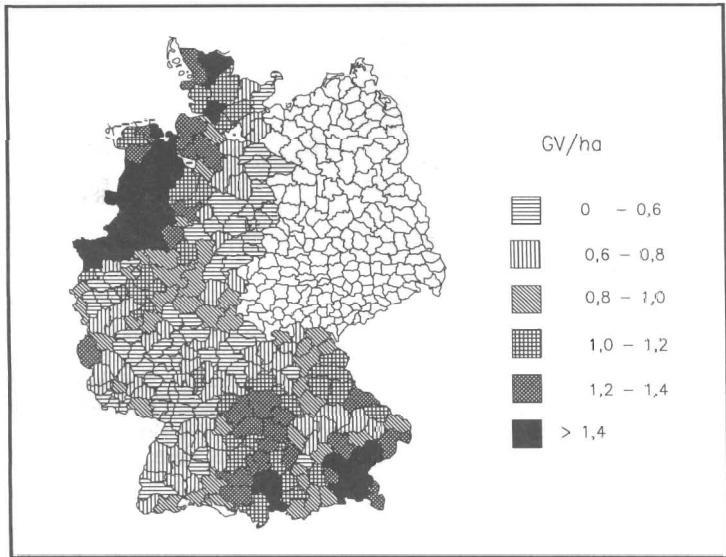
4 Erste empirische Fundierung der Externalitätenfunktion

Für die Bestimmung der progressiven Steuer auf der Basis der Viehbestandsdichte ist eine empirische Erfassung der Grunddaten für die Parameter des obigen Modells erforderlich. Insbesondere muß die Beziehung zwischen der Nitrifizierung und der Tierbestandsdichte quanti-

fiziert werden. Hinzu kommen Schätzungen der Parameter in der Zielfunktion. In diesem Beitrag soll zunächst die Restriktion für den Kostenausgleich von Landwirtschaft und Wasseraufbereitung als zentraler Bestandteil des Modells bestimmt werden.

Abbildung 5 zeigt die Tierbestandskonzentration in den alten Bundesländern. Die jeweiligen Tierarten sind nach dem Großvieheinheitenschlüssel in GV umgerechnet worden. Die Abbildung zeigt, daß Tierbestandskonzentrationen vornehmlich in Nordwestdeutschland und Bayern auftreten. Dabei handelt es sich in Bayern und einigen weiteren Regionen vornehmlich um Rindviehhaltung. Die Schweinehaltung konzentriert sich dagegen im Nord-Westen der alten Bundesländer.

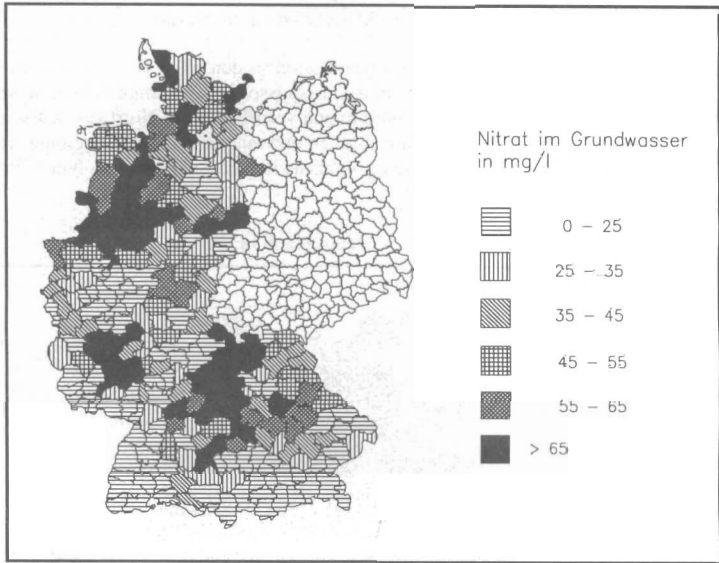
Abbildung 5: Viehbestandsdichten in Deutschland in GV/ha



Quelle: Eigene Erstellung auf der Basis der Viehbestandsdichten und Daten über die Landwirtschaft des Statistischen Bundesamtes

Folgend sollen nun einige Überlegungen zur inhaltlichen Ausgestaltung der Variablen in Gleichungen (6), (6') bzw. (6'') angestellt werden. Die Abbildung 6 zeigt die Nitratbelastung im Grundwasser für die Kreise der alten Bundesländer. Beim Vergleich der beiden Abbildungen wird bereits deutlich, daß ein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen existiert. Allerdings fällt auch auf, daß sich insbesondere in bayerischen Regionen mit hoher Viehbestandsdichte weniger Probleme mit Nitrat im Grundwasser ergeben. Letzteres ist vermutlich auf den hohen Grünlandanteil zurückzuführen, der Stickstoff leichter in Form von Biomasse bindet. Die Berechnung der funktionalen Beziehung zwischen Nitrat im Grundwasser und Viehbestandsdichte wird daher um die Hypothese ergänzt, daß der Grünlandanteil die Auswaschung reduziert. Ferner wird getestet, ob der Marktfruchtbau einen Einfluß auf die Nitratwerte im Grundwasser ausübt. Die Hypothese lautet, daß erhöhte Einsätze von mineralischem Stickstoff insbesondere in der Weizenproduktion die Nitratwerte beeinflussen, d.h. der Einfluß der Viehbestandsdichte auf die Nitrat auswaschung um den Effekt des intensiven Ackerbaus zu korrigieren ist. Weiterhin wurde die Boden-Klima-Zahl in die Berechnung eingeführt, für intensive Sonderkulturregionen eine Dummy-Variable berücksichtigt und der Einfluß der Betriebsgröße getestet.

Abbildung 6: Nitrat im Grundwasser in Deutschland in mg/l



Quelle: Institut für wassergefährdende Stoffe an der Technischen Universität Berlin

Für die Etablierung der für das Kontrollproblem relevanten, funktionalen Beziehung in den Gleichungen (5), (6), (6'') oder (6''') ist außerdem die Einbeziehung des ökonomischen Wertes einer Großvieheinheit wichtig. Hierzu wurden die von BAUERSACHS (1972) ermittelten, regionalen Kapitalwerte einer Färsen um den hochgerechneten Wert eines Stallplatzes für Schweine ergänzt³.

Die Berechnung der Funktion (5) erfolgt zweistufig. Zunächst wird auf der ersten Stufe eine Funktion geschätzt, bei der nur die GV/ha-Werte nicht logarithmiert sind. Alle anderen Werte sind doppel-logarithmisch, um eine Basis mit isoelastischen Parametern zu erhalten. Es ergibt sich eine exponentielle, funktionale Beziehung für die Intensität. Auf der zweiten Stufe wird die unerklärte Differenz aus tatsächlichem Wert und der zuvor ermittelten Intensität nochmals linear auf die übrigen Variablen regressiert, um die gewünschte Gleichungsform zu erhalten. Nachfolgend sind die Ergebnisse dieser Berechnungen dargestellt:

Schätzergebnis der 1. Stufe:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Nitrat}) = & 0,989 \text{ GV/ha} & - 0,652 \ln(\text{Ant. Grünl.}) & + 0,246 \ln(\text{A. } >30) \\ & (0,113) & (0,066) & (0,051) \\ & + 0,754 \ln(\text{GV-Wert}) & + 0,117 \ln(\text{Ant. Weiz.}) & - 0,238 \ln(\text{Bd.pkt.}) & - 0,139 \text{ D} \\ & (0,113) & (0,065) & (0,219) & (0,185) \end{aligned}$$

$R^2 = 0,40$; 287 Landkreise der alten Bundesländer; (Standardabweichungen).

³ Für Schweine berechnet sich der Kapitalwert aus den regionalen Preisabstufungen für Schweinefleisch und Gerste (BAUERSACHS, 1972), einer Futtermittelverwertung von 3,3, einem Ferkelpreis von einem Drittel des Schweinepreises, 2,4 Umtrieben pro Jahr, 3,3 Stallplätzen bei einem Stallplatz pro Färsen und einer Nutzungsdauer pro Färsen von 6 Jahren. Der Gesamtwert der GV errechnet sich aus den regional gewichteten Anteilen der Kapitalwerte von Färsen und Schweinen.

mit ln(.):	natürlicher Logarithmus;
Nitrat:	mg/l Nitrat im Grundwasser;
GV/ha:	Großvieheinheiten pro Hektar (von 0 bis 2,3 Einheiten auf Kreisebene);
Ant. Grünl.:	Grünlandanteil in v. H. der landwirtschaftlichen Nutzfläche;
A. >30:	Anteil von Betrieben größer als 30 Hektar in %;
Bd.pkt.	Bodenklimapunkte nach der Reichsbodenschätzung;
GV-Wert:	monetärer Wert einer Großvieheinheit, bestehend aus dem anteiligen Wert einer Färsen und dem äquivalenten, anteiligen Wert einer Großvieheinheit auf der Basis der Schweinehaltung in DM/GV;
Ant. Weiz.:	Anteil von Weizen an der Ackerfläche in %;
D:	Dummy Variable mit 1 für Sonderkulturen (insb. Weinbau), sonst 0.

Schätzergebnis der 2. Stufe:

Nitrat=	2,343 exp(0,989 GV/ha)	-0,675 Ant.Grünl.	+ 0,23756 A.>30	
		(0,083)	(0,1185)	
	+ 0,0173 GV-Wert	+ 0,737 Ant.Weiz.	- 0,3614 ln(Bd.pkt.)	+ 18,28 D
	(0,0064)	(0,205)	(0,1965)	(8,33)

$R^2 = 0,36$; 287 Landkreise der alten Bundesländer; (Standardabweichungen).

Die Schätzergebnisse sind als erste Quantifizierungsversuche zur empirischen Bestimmung der Besteuerungshöhe in Abhängigkeit von der Tierbestandsdichte zu interpretieren. Sie quantifizieren die für das Kontrollproblem relevante funktionale Beziehung in den Gleichungen (5), (6), (6') oder (6''), d.h. die „verhaltenstheoretischen“ Externalitätenfunktion. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse entsprechen den hypothesierten Erwartungen. Dies gilt besonders für den exponentiellen Einfluß der Intensität (GV/ha) und den Kapitalwert einer Großvieheinheit. Beide Variablen haben einen positiven Einfluß auf die Höhe der Nitratgehalte. Aber auch die anderen Variablen zeigen die erwarteten Vorzeichen: So verringert sich der Nitratgehalt mit steigendem Grünlandanteil und steigender Bodengüte bzw. steigt mit zunehmendem Anteil des Weizenanbaus, d.h. mit zunehmender Intensität der Mineraldüngung. Der positive Einfluß von Regionen mit Sonderkulturen (speziell Weinbau sowie Obst- und Gemüse im Rhein-Main-Gebiet) ist evident. Überraschenderweise hat der Flächenanteil von Betrieben mit mehr als 30 Hektar einen positiven Einfluß auf die Höhe der Externalität.

Nichtsdestoweniger ist es erforderlich, die Verläufe der oben postulierten Nebenbedingungen auf eine fundiertere empirische Basis zu stellen. Zur Schätzung der Parameter in der Zielfunktion und damit zur quantitativen Bestimmung der progressiven Steuer sind weitere Forschungsschritte erforderlich.

5 Schlußfolgerungen

In diesem Beitrag ist das Problem der Nitratbelastung des Grundwassers in den Zusammenhang eines erhöhten Anfalls an organischem Dünger in Folge erhöhter Viehbestandskonzentrationen gestellt worden. Gleichzeitig ist die aus ökonomischer Sicht schwer zu rechtfertigende Praxis von Bestandsobergrenzen kritisiert worden und alternativ ein Konzept für eine differenzierte Pigou-Steuer auf der Basis der Viehbestandskonzentration (GV/ha) vorgeschlagen worden. Für diesen Vorschlag ist ein mathematischer Ansatz zur Bestimmung der Steuer entwickelt worden. Als komplex und für weitere Forschung offen erweist sich die Bestimmung der im Modellansatz erforderlichen Parameter. Hierzu ist als erste Gleichung die Beziehung zwischen Nitrat im Grundwasser und der Viehbestandsdichte unter Einbezug weiterer Einflußgrößen empirisch ermittelt worden. Für die weitere Quantifizierung der Parameter, insbesondere der Zielfunktion, sind disziplinübergreifende Forschungsaktivitäten notwendig. Auf eine vollständige, numerische Berechnung der Steuer muß in diesem Papier verzichtet werden.

6 Zusammenfassung

In den hochentwickelten Industrieländern Westeuropas wird in der letzten Zeit vielfach das Problem der Überversorgung der Landwirtschaft mit organischem Dünger diskutiert. Insbesondere in den Beneluxstaaten, Nordwestdeutschland und auch Teilen Süddeutschlands konzentriert sich die umwelt- und agrarpolitische Debatte auf die Einführung von Bestandsobergrenzen, um die Belastung des Grundwassers mit Nitrat über eine Reduzierung der Viehbestandsdichte zu verringern. Unter umweltökonomischen Aspekten stellen globale Viehbestandsobergrenzen keine effiziente Lösung dar. Sie vernachlässigen zum Beispiel, daß die individuellen Kosten der Auflagen betrieblich und regional sehr unterschiedlich ausfallen können. In diesem Beitrag wird daher das Instrument einer progressiven Besteuerung (Pigou-Steuer) auf der Basis der Viehbestandsdichte mit Hilfe eines kontrolltheoretischen Ansatzes entwickelt. Dieses Instrument soll regional sowohl die Nitrifizierung des Grundwassers verringern als auch die Kosten der Wasseraufbereitung effizienter zwischen Landwirtschaft und Wasserwerken verteilen.

Summary

The oversupply of organic manure has become an issue of public interest. Especially in North-West Europe the public debate on nitrification of groundwater focuses on restrictions on the number of cattle and pigs per hectare. From an environmental economics point of view, quantitative restrictions are not an efficient policy measure. Hence, this paper suggests a more specific measure of internalizing neagitive externalities. It focuses on the perception that a flexible Pigouvian tax, which progressively taxes farmers or regions with higher livestock concentration, would result in less nitrogen contamination and in a more efficient redistribution of costs between agriculture and water resource management. The paper develops the control theoretical framework necessary to derive a flexible tax on livestock concentration.

Literaturverzeichnis

- BAUERSACHS, F. (1972): *Quantitative Untersuchungen zum langfristigen räumlichen Gleichgewicht der landwirtschaftlichen Produktion in der Bundesrepublik Deutschland*. In: *Agrarwirtschaft*, Sonderheft 47
- CHAMBERS, R. G. (1988): *Applied Production Economics*. Cambridge: University Press
- FUCHS, C. (1994): *Kosten der Vermeidung und Entfernung von Nitrat im Grundwasser*. In: *Agrarwirtschaft* 43, Nr. 2, S. 105-115
- ISERMAYER, F. (1988): *Produktionsstrukturen, Produktionskosten und Wettbewerbsstellung der Milcherzeugung in Nordamerika, Neuseeland und der EG*. Kiel: Vauk
- O'HARA, S. (1984): *Externe Effekte der Stickstoffdüngung: Probleme ihrer Bewertung und Ansätze zu ihrer Verminderung aus ökonomischer und ökologischer Sicht*. Kiel: Vauk (Landwirtschaft und Umwelt, Schriften zur Umweltökonomik 1)
- TU, P. N. V. (1984): *Introductory Optimization Dynamics*. Berlin: Springer
- ZILBERMANN, D.; MARRA, M. (1993): *Agricultural Externalities*. In: Carlson, G. A.; Zilberman, D.; Miranowsky, J. A. (Hrsg.): *Agricultural and Environmental Resource Economics*. New York: Oxford University Press