

GESELLSCHAFT  
FÜR INFORMATIK



M. Gandorfer, A. Meyer-Aurich, H. Bernhardt,  
F. X. Maidl, G. Fröhlich, H. Floto (Hrsg.)

## **Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft**

**Fokus:**  
**Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier**

**Referate der 40. GIL-Jahrestagung**

**17. - 18. Februar 2020**  
**Campus Weihenstephan, Freising**

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

**Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings**

Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)

Volume P-299

ISBN 978-3-88579-693-0

ISSN 1617-5468

**Volume Editors**

Markus Gandorfer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung

85354 Freising, Germany

Email: markus.gandorfer@lfl.bayern.de

Andreas Meyer-Aurich

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.

14469 Potsdam, Germany

Email: ameyer@atb-potsdam.de

Heinz Bernhardt

Technische Universität München

85354 Freising, Germany

heinz.bernhardt@wzw.tum.de

Franz Xaver Maidl

Technische Universität München

85354 Freising, Germany

Email: maidl@wzw.tum.de

Georg Fröhlich

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung

85354 Freising, Germany

Email: georg.froehlich@lfl.bayern.de

Helga Floto

GIL-Geschäftsstelle

73730 Esslingen, Germany

Email: gil.floto@gmail.com

**Series Editorial Board**

Heinrich C. Mayr, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Austria  
(Chairman, mayr@ifit.uni-klu.ac.at)  
Torsten Brinda, Universität Duisburg-Essen, Germany  
Dieter Fellner, Technische Universität Darmstadt, Germany  
Ulrich Flegel, Infineon, Germany  
Ulrich Frank, Universität Duisburg-Essen, Germany  
Michael Goedicke, Universität Duisburg-Essen, Germany  
Ralf Hofestädt, Universität Bielefeld, Germany  
Wolfgang Karl, KIT Karlsruhe, Germany  
Michael Koch, Universität der Bundeswehr München, Germany  
Thomas Roth-Berghofer, University of West London, Great Britain  
Peter Sanders, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Germany  
Andreas Thor, HFT Leipzig, Germany  
Ingo Timm, Universität Trier, Germany  
Karin Vosseberg, Hochschule Bremerhaven, Germany  
Maria Wimmer, Universität Koblenz-Landau, Germany

**Dissertations**

Steffen Hölldobler, Technische Universität Dresden, Germany

**Thematics**

Andreas Oberweis, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Germany

© Gesellschaft für Informatik, Bonn 2020

printed by Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn



*This book is licensed under a Creative Commons BY-SA 4.0 licence.*

## Kosteneffizienz der THG-Minderung mit einer Stickstoffdüngersteuer unter Berücksichtigung der Risikoeinstellung von Landwirten

Yusuf Nadi Karatay<sup>1,2</sup>, Austra Nausediene<sup>1,3</sup> und Andreas Meyer-Aurich<sup>1</sup>

**Abstract:** Treibhausgasemissionen (THG) durch den Einsatz von Stickstoffdüngemitteln (N) tragen wesentlich zu den THG-Emissionen aus der Landwirtschaft in Deutschland bei. Darüber hinaus sind erhebliche THG-Emissionen mit der Herstellung von N-Düngemitteln verbunden. So kann eine Reduzierung des mineralischen N-Düngereinsatzes zu einer Reduzierung der THG-Emissionen aus dem Agrarsektor beitragen. Eine Düngemittelsteuer ist ein potenzielles Instrument, um Anreize zu schaffen, weniger Düngemittel einzusetzen und zur Minderung der THG-Emissionen beizutragen. Diese Studie liefert Modellergebnisse auf der Grundlage einer stochastischen Simulation mit Produktionsfunktionen aus Feldversuchen unter Berücksichtigung der Risikoeinstellung von Landwirten. Die Modellergebnisse wurden ausgewertet, um risikoeffiziente Strategien zu identifizieren und die Kosten der THG-Minderung mit einer N-Düngersteuer zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigen, dass moderate N-Düngersteuerniveaus mit moderaten Kosten für Roggen und Raps zu N-Düngerreduktionen und damit zu THG-Minderungen führen können. Weizen reagiert jedoch nur bedingt auf Preisänderungen bei N-Düngemitteln mit moderaten N-Düngersteuerniveaus aufgrund qualitätsspezifischer Preiszuschläge. Die Unterschiede in der Reaktion auf N-Dünger und damit die betriebswirtschaftliche Reaktion auf N-Düngersteuer sollten aus der Sicht der THG-Minderung für eine effektive Umsetzung einer möglichen Besteuerung von N-Düngern berücksichtigt werden.

**Keywords:** Treibhausgas, Vermeidungskosten, Düngereduktion, Risikoaversion, stochastische Simulation

### 1 Einleitung

Treibhausgasemissionen (THG) durch den Einsatz von Stickstoffdüngemitteln (N) in der Landwirtschaft tragen wesentlich zu den THG-Emissionen des Agrarsektors in Deutschland bei [UN18]. Darüber hinaus sind signifikante THG-Emissionen mit der Herstellung von N-Düngemitteln nach dem Haber-Bosch-Verfahren [BP08] verbunden. So kann eine Reduzierung des mineralischen N-Düngereinsatzes zu einer Reduzierung der THG-Emissionen aus dem Agrarsektor beitragen [KM18]. Eine Steuer auf Düngemittel ist ein potenzielles Instrument, um Anreize für den verminderten Einsatz

---

<sup>1</sup> Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie, Max-Eyth Allee 100, 14469 Potsdam, ykaratay@atb-potsdam.de; ameyer@atb-potsdam.de

<sup>2</sup> Thünen-Institut, Stabsstelle Klima, Bundesallee 49, 38116 Braunschweig, yusuf.karatay@thuenen.de

<sup>3</sup> Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Bioeconomy Development, Research Institute for Bioeconomy, Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., Lithuania, ausra.nausediene@vdu.lt

von Düngemitteln zu schaffen, die wiederum zur Minderung der THG-Emissionen beitragen [OE19]. Obwohl negative Einkommenseffekte einer Implementierung einer N-Düngersteuer entgegenstehen, hat sich gezeigt, dass die THG-Minderung durch N-Düngerreduktion zu geringen Kosten erreicht werden kann [KM18; Ka19]. Darüber hinaus sind Landwirte Mitverursacher der Nitratbelastung des Grundwassers [FB12]. Obwohl die Anwendung des Verursacherprinzips in der Landwirtschaft schwieriger ist als in anderen Sektoren, kann eine Vorsteuer auf N-Dünger mit unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Äquivalenzsteuersätzen (9,30 und 50 €/t CO<sub>2</sub>e) ökologische Mitvorteile bieten [OE19].

Die Risikoeinstellung des Landwirts kann Auswirkungen auf den Einsatz von N-Düngemitteln haben [Mo13; MK19], so dass unterschiedliche Opportunitätskosten in Abhängigkeit von der Risikoeinstellung auftreten können. Für Schweizer Produktionsbedingungen wurde am Beispiel der Düngung im Maisanbau gezeigt, dass risikoscheuen Landwirten geringere Vermeidungskosten entstehen, um einen reduzierten Düngemittleinsatz zu realisieren [Fi12]. Der Effekt einer N-Düngersteuer war in seiner Untersuchung bei risikoscheuen Landwirten etwas höher ist als bei risikoneutralen Landwirten [Fi12]. Es ist jedoch noch nicht klar, wie die Landwirte auf eine N-Düngersteuer in Deutschland reagieren würden und wie sich dies auf den komparativen Vorteil verschiedener Kulturen im Hinblick auf die Risikoaversion auswirken würde.

Diese Studie liefert Modellergebnisse auf der Grundlage einer Produktionsfunktionsanalyse aus Feldversuchen in Bezug auf die Risikoaversion durch Berechnung von Sicherheitsäquivalenten für verschiedene Stufen der Risikoaversion der Landwirte in einem N-Düngersteuerszenario. Die Modellrechnungen werden für Winterroggen, Winterweizen und Winterraps angewendet, wobei für Weizen spezifische Preisprämien entsprechend der Backqualität berücksichtigt wurden. Das Ziel dieser Studie ist es, die komparativen Vorteile der jeweiligen Kulturpflanzen aus einer kosten- und risikoeffizienten Perspektive der THG-Minderung zu identifizieren.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Schätzung der Produktionsfunktionen

Ertragswirkungsdaten zu verschiedenen N-Düngerstufen aus Feldversuchen wurden verwendet, um die Produktionsfunktionen für Roggen, Weizen und Raps für fünf Jahre (2012-2016) im Land Brandenburg zu schätzen [La17]. Für Weizen wurden zusätzlich Daten über die Proteinwirkung auf N-Düngung aus den gleichen Experimenten verwendet, um die Proteinwirkungsfunktionen zu schätzen. Drei Weizenpreise wurden nach drei Weizenqualitäten basierend auf der Proteinkonzentration berechnet; A-Qualität (>13,5 %), Backqualität (13-13,5 %) und Futterqualität (<13 %). Für die wirtschaftliche Analyse wurden die in neun Jahren beobachteten Preise verwendet [Ba19].

## 2.2 Optimale Intensität und Wirtschaftlichkeit der N-Düngung

Die Gesamtleistung wurde für jede Kultur unter Berücksichtigung der Kosten und Erlöse für alle geschätzten Produktionsfunktionen und Kulturpreise gerechnet. Basierend auf der Vielzahl möglicher Ergebnisse wurden spezifische optimale N-Gaben mit einem Erwartungsnutzenansatz für verschiedene Stufen der Risikoaversion nach [MK19] berechnet. Die Berechnung aller möglichen Gewinnsituationen erfolgte mit einer stochastischen Simulation unter Berücksichtigung einer Kombination jeweils fünf möglicher Ertrags- und Proteinfunktionen und neun möglicher Preise. Die nutzenmaximierenden N-Gaben wurden auf der Grundlage des maximalen Gewinns bzw. maximalen Sicherheitsäquivalents einer niedrigen und einer hohen Risikoaversionseinstellung errechnet. Hierzu wurden alle möglichen ganzzahligen N-Düngemengen für die ausgewählten Kulturarten im relevanten Bereich modelliert. Die Risikoeinstellungen wurden mit absoluten Risikoaversionskoeffizienten von 0,001 bzw. 0,004 modelliert. Die Brutto-Opportunitätskosten wurden als Veränderung des betriebswirtschaftlichen Gewinns oder des Sicherheitsäquivalents als Reaktion auf die angepasste optimale N-Gabe berechnet. Die Ausgaben für die N-Düngersteuer sind nicht als volkswirtschaftliche Kosten zu betrachten, sondern als Allokationseffekt, der an die Landwirte zurückgegeben werden könnte. So wurden für die Berechnung der THG-Vermeidungskosten die durch die N-Düngersteuer bedingten Abgaben der Landwirte von den Brutto-Opportunitätskosten abgezogen und für die weitere Berechnung nur die Opportunitätskosten durch die geringere Düngung herangezogen.

## 2.3 Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten

Für den Einsatz von mineralischen N-Düngemitteln wurde eine Teilbilanzierung der THG unter der Annahme von Emissionen von 9,91 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kg N-Dünger durchgeführt [KM18]. Dieser Emissionsfaktor beinhaltet düngedingte Emissionen von N<sub>2</sub>O aus dem Boden und THG durch die Herstellung von N-Dünger. Die Vermeidungskosten drücken den wirtschaftlichen Verlust pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent aus, der durch den reduzierten Düngemitelesatz bestimmt wird.

## 2.4 Implementierung der N-Düngersteuer

Die wirtschaftlichen und THG-Emissionen relevanten Auswirkungen wurden für eine N-Düngersteuer von 0,20 €/kg N untersucht. Umgerechnet ergibt sich damit auf der Basis des oben angenommenen Emissionskoeffizienten eine CO<sub>2</sub>-Steuer von 20 Euro pro t CO<sub>2</sub>, was sich am unteren Ende einer zurzeit diskutierten möglichen Bepreisung des CO<sub>2</sub> befindet [Ke19].

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Eine N-Düngersteuer in Höhe von 0,20 €/kg N führte zu einer Düngereduktion bei Winterroggen und Winterraps in Höhe von 6 kg N/ha unabhängig von der Risikoeinstellung. Bei Winterweizen führte sie lediglich bei einer moderat risikoaversen Einstellung zu einer Reduktion der Düngung um 14 kg N/ha (Abb. 1). Aufgrund der Auswirkungen auf die Backqualität führte bei risikoneutralen und stark risikoaversen Landwirten die N-Düngersteuer nicht zu einer reduzierten Düngung. Die Risikoeinstellung führte zu einer stärkeren Düngereduktion als die N-Düngersteuer bei einer Höhe von 0,20 €/kg N. Die berechneten THG-Minderungen sind direkt proportional zur Düngereduktion und liegen bei 59 kg CO<sub>2</sub>e/ha bei Winterraps und Winterroggen und bei 139 kg CO<sub>2</sub>e/ha bei Winterweizen mit moderater Risikoaversion.

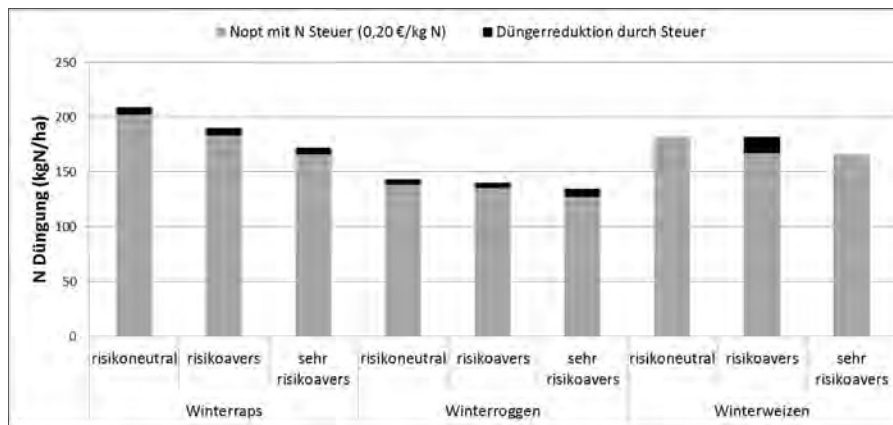


Abb. 1: Effekt einer N-Düngersteuer (0,20 €/kg N) auf optimale N-Düngung in Abhängigkeit von der Risikoeinstellung

Die Einkommenseinbußen für Landwirte durch eine N-Düngersteuer sind in erster Linie durch die steuerliche Abgabe bedingt (Tab. 1). Die Opportunitätskosten aufgrund niedrigerer N-Düngung und damit niedrigerer Erträge lagen zwischen 0,50 und 4,80 €/ha. Auf der Basis der THG-Vermeidung durch die verminderte N-Düngung ergeben sich THG-Vermeidungskosten zwischen 8,91 und 21,- €/t CO<sub>2</sub> (Tab. 1). Damit liegen die THG-Vermeidungskosten im unteren Bereich der von [Sm08] ausgewiesenen THG-Vermeidungskosten. Die steuerliche Belastung von 25,- bis 40,- €/ha ist vergleichsweise hoch. Da das Ziel einer N-Besteuerung in der Reduktion der N-Düngung und nicht im Einkommenstransfer liegt, müssten hier Mechanismen einer Umverteilung oder Rückübertragung angedacht werden, um den landwirtschaftlichen Sektor nicht in starkem Umfang zu belasten. Ein solches System ist mit Transaktionskosten verbunden, die in eine Berechnung von THG-Vermeidungskosten in einem weiteren Schritt berücksichtigt werden müssten.



Die Modellergebnisse zeigen eine differenzierte Wirkung einer N-Düngersteuer, je nach Kultur und in Abhängigkeit der Risikoeinstellung der Landwirte. Insbesondere bei Winterweizen wurde eine begrenzte Wirksamkeit einer N-Düngersteuer bei Weizen aufgrund qualitätsbedingter Prämien gefunden. Eine N-Düngersteuer würde über den Effekt auf die optimale spezielle Intensität sicher auch Auswirkungen auf den Anbauumfang verschiedener Kulturpflanzen haben, da diese in unterschiedlichem Maße betroffen sind. Hier ergibt sich weiterer Forschungsbedarf.

Kulturart	Risiko- einstellung	Einkommens- einbußen durch N Steuer	davon Steuer	THG- Vermeidungs- kosten (ohne Steuer)
Winterraps		€/ha	€/ha	€/t CO <sub>2</sub> e
	risikoneutral	41,02	40,40	8,97
	riskoavers	37,29	36,60	9,93
	sehr risikoavers	33,83	33,20	10,54
Winterroggen				
	risikoneutral	28,08	27,60	9,60 €
	riskoavers	27,51	27,00	10,25 €
	sehr risikoavers	26,08	25,40	9,85 €
Winterweizen				
	risikoneutral	36,40	36,40	-
	riskoavers	38,19	33,40	21,00 €
	sehr risikoavers	33,20	33,20	-

Tab. 1: Einkommenseinbußen, Steuer und THG-Vermeidungskosten bei einer N-Düngersteuer von 0,20 €/kg N

#### 4 Schlussfolgerungen

Eine N-Düngersteuer könnte THG-Emissionen mindern, indem sie den Einsatz von N-Dünger zu THG-Vermeidungskosten weit unter 100 €/t CO<sub>2</sub> reduziert. Bei der Effizienzbewertung der N-Düngersteuer auf die THG-Minderung sollte neben den eher niedrigen THG-Vermeidungskosten oft auch das begrenzte THG-Vermeidungspotenzial berücksichtigt werden. Je nach Kulturart ist eine Steuer ggf. nicht wirksam. Es muss weiter untersucht werden, wie das gesammelte Steuereinkommen verwendet werden könnte, d.h. an Landwirte, die weniger N-Dünger verwenden, oder wie die Steuer so angewendet werden könnte, dass nicht (nur) die Landwirte die Opportunitätskosten tragen, die sich aus der Umsetzung einer N-Düngersteuer ergeben. Vor diesem

Hintergrund sind natürlich auch Transaktions- und Verwaltungskosten sowie möglicherweise auftretende Verzerrungen im Anbauspektrum der Landwirte zu berücksichtigen.

#### Literaturverzeichnis

- [Ba19] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Available at. <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>.
- [BP08] Brentrup, F.; Pallière, C.: Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emissions in European Nitrogen Fertilizer Production and Use; Reproduced and updated by kind permission of the International Fertiliser Society [[www.fertilisersociety.org](http://www.fertilisersociety.org)] from its Proceedings 639 (2008); International Fertiliser Society: Colchester, UK, 2008.
- [FBS12] Fishman, Y.; Becker, N; Shechter, M.: The Polluter Pays Principle as a policy tool in an externality model for nitrogen fertilizer pollution. *Water Policy* 14(3), pp. 470-489, 2012.
- [Fi12] Finger, R.: Nitrogen use and the effects of nitrogen taxation under consideration of production and price risks. *Agricultural Systems* 107, pp. 13-20, 2012.
- [Ke19] Kemfert, C. et al.: CO<sub>2</sub>-Steuer oder Ausweitung des Emissionshandels: Wie sich die Klimaziele besser erreichen lassen, DIW aktuell, No. 20, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, 2019.
- [KM18] Karatay, Y. N., Meyer-Aurich, A.: A Model Approach for Yield-Zone-Specific Cost Estimation of Greenhouse Gas Mitigation by Nitrogen Fertilizer Reduction. *Sustainability* 10(3), 710, 2018.
- [Ka19] Karatay, Y. N. et al.: Kosteneffiziente Vermeidung von Treibhausgasemissionen durch Düngereduktion: standortspezifische Analyse mit simulierten Ertragsfunktionen. 39. GI Lecture Notes in Informatics 117, 107-112, 2019.
- [La17] Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft, Potsdam.
- [MK19] Meyer-Aurich, A.; Karatay, Y. N.: Effects of uncertainty and farmers' risk aversion on optimal N fertilizer supply in wheat production in Germany. *Agricultural Systems* 173, 130-139, 2019.
- [Mo13] Monjardino, M. et al.: Are farmers in low rainfall cropping regions under-fertilising with nitrogen? A risk analysis. *Agricultural Systems* 116, 37-51, 2013.
- [OE19] OECD: Enhancing Climate Change Mitigation through Agriculture, OECD Publishing, Paris, 2019.
- [Sm08] Smith, P.; et al.: Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 789-813, 2008.
- [UN18] United Nations Framework Convention on Climate Change: National Inventory Submission 2018, Germany.