

# Reduktion von Ammoniak und Partikeln in der deutschen Landwirtschaft: Kosten und Nutzen und Wechselwirkungen mit Treibhausgasen

S. Wagner, O. Beletskaya, E. Angenendt und J. Zeddies<sup>1</sup>

**Abstract** - In dieser Studie wurden die Potentiale und Kosten von Reduktionsmaßnahmen für Ammoniak und Partikel und deren Wechselwirkungen mit Treibhausgasen mit einem ökonomisch-ökologischen Betriebsmodell und der monetäre Nutzen für Gesundheit, Biodiversität und Klima mit einem integrierten Bewertungsmodell analysiert. Reduzierte Bodenbearbeitung erzielte einen Nutzen durch Reduktion von Partikeln sowie auch - vor allem durch Kohlenstoffspeicherung - von Treibhausgasen und erhöhte den Deckungsbeitrag der Landwirte. In der Tierhaltung übertraf der Nutzen von Abluftreinigungssystemen, Gülleinjektoren, Güllelagerabdeckungen und stickstoffangepasster Schweinefütterung deren Kosten. Bei letzterer Maßnahme war der Nutzen durch die Reduktion von Treibhausgasen doppelt so hoch wie von Ammoniak und der Deckungsbeitrag stieg an. Für Schleppschlauch, Biofilter und stickstoffangepasste Geflügelfütterung übertrafen die Kosten jedoch deren Nutzen. Der Nutzen der Maßnahmen und ihre Kosteneffizienz wurden durch Wechselwirkungen mit Treibhausgasen und durch regionale Unterschiede beeinflusst. Diese Aspekte sollten in die Bewertung von Reduktionsmaßnahmen und in die Gestaltung von Luftreinhaltings- und Klimapolitiken einfließen.

## EINFÜHRUNG

Ammoniakemissionen ( $\text{NH}_3$ ) beeinträchtigen die Biodiversität und nach ihrer teilweisen Umwandlung in sekundäre Partikel – ebenso wie primäre Partikel ( $\text{PM}$ , hier  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$ ) – auch die menschliche Gesundheit (Krupa, 2003; Brunekreef und Holgate, 2002). Die Landwirtschaft ist in Deutschland Hauptverursacher von  $\text{NH}_3$ -Emissionen und trägt auch zu den Emissionen von  $\text{PM}$  und Treibhausgasen bei (Haenel et al. 2012). Einige Studien analysierten bereits Potentiale und Kosten von  $\text{NH}_3$ -Reduktionsmaßnahmen (Döhler et al., 2011) oder Wechselwirkungen zwischen der Reduktion von  $\text{NH}_3$  und Treibhausgasen (Brink et al., 2005; Oenema et al., 2009; Winiwarer und Klimont, 2011). Bislang wurden weder der Nutzen der Maßnahmen abgeschätzt noch  $\text{PM}$ -Emissionen in die Analyse miteinbezogen. Diese Studie untersuchte Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Reduktion von  $\text{NH}_3$ - und  $\text{PM}$ -Emissionen

unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit Treibhausgasen in der Landwirtschaft. Hypothese war, dass der Nutzen für die Gesellschaft die Kosten für die Landwirte übertrifft und Synergien mit der Reduktion von Treibhausgasen bestehen.

## METHODE

Die Emissionsreduktionen und Kosten wurden mit dem ökonomisch-ökologischen Betriebsmodell EFEM (Economic Farm Emission Model) ermittelt. Dies ist ein auf statisch-linearer Programmierung basierendes Angebotsmodell, bei dem Betriebsmittel- und Erzeugerpreise sowie Kapazitätsgrenzen der modellierten Betriebe exogen vorgegeben sind. Es beruht auf einem Bottom-up-Ansatz und kann auf einzelbetrieblicher und regionaler Ebene eingesetzt werden. Es bildet alle relevanten Verfahren der Tier- und Pflanzenproduktion mit regional unterschiedlichen Erträgen, Intensitäten und Kosten ab. An diese Verfahren sind die Komponenten zur prozessbasierten Ermittlung der Emissionen gekoppelt. Analysiert wurden Maßnahmen der stickstoffangepassten Fütterung, Güllelagerung und -ausbringung und Abluftreinigung sowie der Bodenbearbeitung.

Der Nutzen für Gesundheit, Biodiversität und Klima wurde mit dem integrierten Bewertungsmodell EcoSense berechnet. Es verfolgt Emissionen vom Entstehungsort über ihre Ausbreitung und Umwandlung in der Atmosphäre bis zur physischen Wirkung auf Rezeptoren und bewertet diese Schäden monetär. Dazu enthält es Daten der Meteorologie, Bevölkerung, Landnutzung, Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen sowie monetäre Werte für Schäden an Gesundheit, Biodiversität und durch Klimawandel. Die durch Emissionsreduktionen vermiedenen Schadenskosten ergeben den Nutzen einer Maßnahme. Das Untersuchungsgebiet umfasste für Maßnahmen aus der Pflanzenproduktion die Bundesländer Baden-Württemberg mit einem großen Anteil an Gemischtbetrieben und Brandenburg mit spezialisierten Ackerbaubetrieben und für Maßnahmen aus der Tierproduktion Niedersachsen mit spezialisierten intensiven Tierproduktionsbetrieben.

## ERGEBNISSE

Die Reduktionspotenziale bei 100%iger Umsetzung der Maßnahmen wurden gegenüber den Emissionen in der Referenz, die deren aktuellen Implementierungsgrad berücksichtigen, abgeschätzt (Tabelle 1).

<sup>1</sup> Susanne Wagner war Mitarbeiterin an der Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart, Deutschland (info@susannewagner.eu).

Olga Beletskaya, Elisabeth Angenendt und Jürgen Zeddies sind jetzige bzw. ehemalige Mitarbeiter an der Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Stuttgart, Deutschland (elisabeth.angenendt@uni-hohenheim.de).

**Tabelle 1.** Berechnete landwirtschaftliche Emissionen in der Referenz (in Gigagramm, THG = Treibhausgase in CO<sub>2</sub>äq.).

	NH <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	THG
Baden-Württemberg	n.a.	10,5	2,0	6.611
Brandenburg	n.a.	12,9	2,9	5.526
Niedersachsen	104,7	31,1	4,7	15.222

Reduzierte Bodenbearbeitung auf Ackerflächen in Baden-Württemberg und Brandenburg minderte bis zu 43% der PM-Emissionen und bis zu 18% der Treibhausgase, hauptsächlich durch Kohlenstoffspeicherung im Boden. Diese war in Baden-Württemberg auf lehmigen Böden höher als in Brandenburg auf sandigen Böden. Deshalb übertraf in Baden-Württemberg der Nutzen der Reduktion von Treibhausgasen den Nutzen der Reduktion von PM-Emissionen (Tabelle 2). In beiden Bundesländern erhöhte die Maßnahme die Deckungsbeiträge durch geringeren Einsatz von Arbeitszeit und Betriebsmitteln. In der Tierproduktion in Niedersachsen erhöhte die stickstoffangepasste Fütterung von Schweinen den Deckungsbeitrag durch geringere Futterkosten und reduzierte die NH<sub>3</sub>-Emissionen um 2% und die Treibhausgase um 0,1%. Dabei war der Nutzen der Reduktion von Treibhausgasen etwa doppelt so hoch wie der von NH<sub>3</sub>. Güllelagerabdeckungen reduzierten NH<sub>3</sub>-Emissionen um bis zu 8%, erhöhten jedoch die Treibhausgase und damit deren Schadenskosten. Die Maßnahmen waren kosteneffizient, d.h. der Nutzen übertraf die Kosten, wobei Betondecken den höchsten Nettonutzen erzielten. Die Maßnahmen zur Gülleausbringung reduzierten NH<sub>3</sub>-Emissionen um bis zu 14% und Treibhausgase um bis zu 2,4%. Injektoren und Grubber erzielten hier den höchsten Nettonutzen. Einstufige und dreistufige Abluftreinigungssysteme reduzierten Emissionen von NH<sub>3</sub> um 13%, von PM<sub>10</sub> um 8% und von PM<sub>2,5</sub> um 5%. Wegen der geringeren Kosten erzielten einstufige Systeme den höchsten Nettonutzen. Biofilter reduzierten zwar PM-Emissionen und deren Schadenskosten, erhöhten jedoch die Schadenskosten von NH<sub>3</sub>-Emissionen und Treibhausgasen und waren nicht kosteneffizient.

**Tabelle 2.** Landwirtschaftliche Kosten und gesellschaftlicher Nutzen der Maßnahmen gegenüber der Referenz (in Millionen Euro, THG = Treibhausgase).

Maßnahmen	Kosten	Nutzen		
		NH <sub>3</sub>	PM*	THG
Red. Bodenbearbeitung				
Baden-Württemberg	-62 <sup>a</sup>		49	85
Brandenburg	-28 <sup>a</sup>		60	13
Schweinefütterung	-32 <sup>a</sup>	36		70
Geflügelfütterung	106	60		-46 <sup>b</sup>
Granulatdecke	16	137		-17 <sup>b</sup>
Foliendecke	45	123		-17 <sup>b</sup>
Betondecke	37	203		-10 <sup>b</sup>
Schleppschlauch	54	47		1
Schleppschuh	80	247		7
Injektor/Grubber	89	324		27
Abluftreinigung				
einstufig	76	313	20	30
dreistufig	148	299	20	4
Biofilter	49	-27 <sup>b</sup>	20	-2 <sup>b</sup>

\*PM umfasst PM<sub>2,5</sub> und die Differenz aus PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>

<sup>a</sup>Zunahme Deckungsbeitrag, <sup>b</sup>Zunahme Schadenskosten

## DISKUSSION

Unsere Ergebnisse zeigen bei fast allen Maßnahmen Synergien zwischen der Reduktion von NH<sub>3</sub>- und PM-Emissionen und Treibhausgasen auf. Auch Brink et al. (2005), Oenema et al. (2009) und Winiwarter und Klimont (2011) stellten Synergien fest. Die Ergebnisse stellen eine Umsetzung der Maßnahmen im Rahmen eines modellbasierten Optimierungsansatzes dar. Dadurch werden i.d.R. die Kosten unterschätzt und die Anpassungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe überschätzt. Die Unsicherheit bei PM-Emissionsfaktoren in der Pflanzenproduktion ist hoch, so dass das PM-Reduktionspotential der reduzierten Bodenbearbeitung überschätzt werden könnte. Die Umsetzung stickstoffangepasster Schweinefütterung und effektiver Gülleausbringung wird durch die Düngeverordnung gefördert. Abluftreinigungen wurden möglicherweise wegen hoher Investitionskosten bislang kaum implementiert.

Diese Studie verdeutlicht, dass Maßnahmen sowohl nach ihren Kosten als auch nach ihrem Nutzen bewertet werden sollten. Sie bestätigt Wechselwirkungen zwischen der Reduktion von NH<sub>3</sub> und PM mit Treibhausgasen und deren Einfluss auf die Kosteneffizienz und zeigt dabei auch regionale Unterschiede auf. Diese Zusammenhänge sollten in die Bewertung von Reduktionsmaßnahmen und in die Gestaltung von Luftreinigungs- und Klimapolitiken einfließen.

## ACKNOWLEDGEMENT

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Finanzierung dieses Projekts.

## LITERATUR

- Brink, C., van Ierland, E., Hordijk, L. und Kroeze, C. (2005). Cost-effective emission abatement in agriculture in the presence of interrelations: cases for the Netherlands and Europe. *Ecological Economics* 53(1):59–74.
- Brunekreef, B. und Holgate, S.T. (2002). Air pollution and health. *Lancet* 360(9341):1233–1242.
- Döhler, H., Eurich-Menden, B., Rößler, R., Vandr , R. und Wulf, S. (2011). Systematic cost-benefit analysis of reduction measures for ammonia emissions in agriculture for national cost estimates. Dessau-Ro blau: Umweltbundesamt.
- Haenel, D. et al. (2012). Berechnung von gas- und partikelf rmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2010. Landbauforschung, Sonderheft 356. Braunschweig: von Th nen-Institut.
- Krupa, S.V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution* 124(2):179–221.
- Oenema, O., Witzke, H.P., Klimont, Z., Lesschen, J.P. und Velthof, G.L. (2009). Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133(3-4):280–288.
- Winiwarter, W. und Klimont, Z. (2011). The role of N-gases (N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>) in cost-effective strategies to reduce greenhouse gas emissions and air pollution in Europe. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3(5):438–445.