

Christian Stetter und Johannes Sauer

Treibhausgasbilanz und Emissionsintensität landwirtschaftlicher Betriebe in Bayern

Die Landwirtschaft gilt als einer der größten Emittenten von Treibhausgasen (THG) sowohl in Deutschland als auch in Bayern und damit als ein treibender Faktor des Klimawandels. Aufgrund der zunehmend sichtbaren Konsequenzen der globalen Erderwärmung und dem damit verbundenen gesellschaftlichen Druck ist die Politik gefordert, Lösungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen anzubieten. Für Landwirt*innen und den Gesetzgeber stellt sich dabei die Frage, was betriebsindividuell getan werden kann, um aktiv zum Klimaschutz beizutragen und gleichzeitig wirtschaftlich erfolgreich zu sein. Um diese Fragestellung beantworten zu können, ist eine verlässliche Methodik zur betriebsindividuellen Erfassung von Treibhausgasen vonnöten. Wir präsentieren in dieser Studie einen neuartigen Ansatz zur Bestimmung der Treibhausgasbilanz bayerischer Betriebe basierend auf landwirtschaftlichen Buchführungsdaten und setzen diese ins Verhältnis zum wirtschaftlichen Erfolg. Unsere Ergebnisse zeigen ein heterogenes Bild über unterschiedliche Betriebsformen, -größen und andere betriebsindividuelle Merkmale hinweg. Daraus können wichtige Erkenntnisse zur potentiellen Reduzierung von THG-Emissionen in der bayerischen Landwirtschaft gewonnen werden.

Schlagwörter: **Bayerische Landwirtschaft, Klimawandel, Treibhausgasemissionen, Umsatzerlöse**

1 Einleitung und Zielsetzung

Eine der primären Funktionen der Landwirtschaft ist es, verlässlich hochwertige Lebensmittel und nachwachsende Rohstoffe zu erzeugen. Angesichts des fortschreitenden Klimawandels wird zunehmend deutlich, dass Landwirt*innen dies auf eine möglichst klima- und umweltschonende Art und Weise tun müssen. Die Konsequenzen des globalen Klimawandels werden zunehmend innerhalb und außerhalb der Landwirtschaft spürbar (DELLINK/LANZI/CHATEAU et al. 2019). Die Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) bezeichnet die Erderwärmung als eine der größten Herausforderungen, der die Landwirtschaft derzeit gegenübersteht (FAOSTAT 2017). Global betrachtet gilt der Agrarsektor mit einem Anteil von ca. 14% der Gesamttreibhausgasemissionen als einer der Haupttreiber des Klimawandels (European Environment Agency 2019). Dies gilt ebenso für Deutschland (7,3%, Umweltbundesamt 2019) als auch in besonderem Maße für Bayern (17,4%, AK UGRdL 2013). Als wichtigste Treibhausgase in der Landwirtschaft zählen vor allem Methan (CH_4 , entsteht vorwiegend in der Tierhaltung), Lachgas (N_2O , vor allem aus Stickstoffdüngern) und in geringerem Maße Kohlenstoffdioxid (CO_2).

Im Rahmen von internationalen Klimaschutzabkommen hat sich Deutschland dazu verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen deutlich zu reduzieren.

Das deutsche Klimaschutzpaket legt fest, dass bis 2030 mindestens eine 55-prozentige Minderung der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 erreicht werden soll. Das bedeutet für die Landwirtschaft eine Minderung von weiteren 5 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalenten bis 2030 (BMU 2016). Auch die gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union (GAP) orientiert sich zunehmend am Klimaschutz und versucht Landwirt*innen dazu zu bewegen, klimaschonende Praktiken zu implementieren (European Commission 2019). Konkret stellt sich die Frage, wie praktizierende Landwirt*innen aktiv auf ihren Betrieben zum Klimaschutz beitragen können und wie Politik (z.B. durch Anreizmechanismen, Regeln, Programme) diese bei der Vermeidung von THG-Emissionen unterstützen kann. Dabei spielt der betriebliche Kontext, wie z.B. Ertragspotential, Betriebsstruktur und -größe eine maßgebliche Rolle. Entsprechend ist die grundlegende Voraussetzung um Einsparungspotentiale zu erkennen, THG-Emissionen auf Betriebsebene zu modellieren und ins Verhältnis zu betriebspezifischen Größen zu setzen.

Wichtige methodologische Fortschritte in der Bestimmung von THG-Bilanzen über einen längeren Zeitraum hinweg und für eine Vielzahl von Betrieben lieferten unter anderem BALDONI/CODERONI/ESPOSTI (2017), BALDONI/CODERONI/ESPOSTI (2018) und CODERONI/ESPOSTI (2018), die landwirtschaftliche Betriebe in Italien untersuchten. ZEHETMEIER et al. (2017) bilanzierten die THG-Emissionen von ca. 100

bayerischen Milchviehbetriebe und konnten erste Erkenntnisse hinsichtlich Vermeidungspotentialen erschließen, z.B. könnte der effizientere Einsatz von mineralischen und organischen Düngemitteln zu einer Reduktion von Treibhausgasen führen.

Ziel dieser Studie ist die Berechnung einer Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz), die angibt, wie viele THG-Emissionen pro Betrieb und Jahr ausgestoßen werden. Dafür werden landwirtschaftliche Buchführungsdaten für Stichprobe ca. 3000 bayerischer landwirtschaftlicher Betriebe für einen Zeitraum von insgesamt neun Jahren ausgewertet. THG-Bilanz soll in einem zweiten Schritt im Verhältnis zum wirtschaftlichen Erfolg (Umsatzerlöse) betrachtet werden (Emissionsintensität, EI). Explorative Analysen bezogen auf die räumliche Lage sowie Betriebsgröße und -form sollen erste Aufschlüsse über mögliche THG-Reduktionspotentiale liefern.

2 Methoden und Material

2.1 Berechnung der THG-Bilanz und der Emissionsintensität auf Betriebsebene

THG-Emissionen gelten im Allgemeinen als diffuse Umweltverschmutzung aus Nicht-Punkt-Quellen (einzelne Quellen sind schwierig zuzuordnen, da sie verteilt und klein sind). Diese Tatsache macht es nahezu unmöglich, die Emissionen eines einzelnen landwirtschaftlichen Betriebes mit Messgeräten exakt zu ermitteln (PAUSTIAN et al. 2004; SMITH et al. 2007; DICK et al. 2008). Deswegen ist es üblich, auf indirekte Methoden zur Erfassung von Treibhausgasen zurückzugreifen, bei denen die THG-Emissionen als Resultat einer Kombination aus landwirtschaftlichen Aktivitäten und Managementpraktiken angesehen werden (BALDONI/CODERONI/ESPOSTI 2018). Ein weitverbreiteter Ansatz zur Erfassung der betriebspezifischen bzw. produktbezogenen THG-Emissionen und damit der THG-Bilanz auf Mikroebene ist die ISO-standardisierte Life Cycle Analyse (LCA). Bei diesem produktbezogenen Inventuransatz werden die mit jeder Produktionsebene assoziierten Treibhausgase schrittweise innerhalb festgelegter Systemgrenzen (z.B. vom Anbau bis zum Verzehr) detailliert erfasst (ISO 2006). Aufgrund der sehr zeit- und kostenintensiven Datenerhebung kann diese Methode jedoch nur für eine stark begrenzte Stichprobenanzahl ausgewählter Betriebe angewandt werden.

DICK et al. (2008) und CODERONI und ESPOSTI (2018) schlagen eine alternative Berechnung der THG-Bilanz basierend auf landwirtschaftlichen Buchführungsdaten, der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) und dem

Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) vor. Neben der Tatsache, dass diese Richtlinien einen international akzeptierten Standard darstellen, kann bei dieser Methode auf bereits erhobene Daten zurückgegriffen werden. Dies ermöglicht es, eine Vielzahl an landwirtschaftlichen Betrieben und über einen längeren Zeitraum hinweg zu analysieren, wie z.B. in DICK et al. (2008), ESPOSTI (2017) oder CODERONI und ESPOSTI (2018) demonstriert wird. Grundsätzlich basiert die Methode auf folgendem Zusammenhang:

$$Em_{it} = \sum_{l=1}^L AD_{itl} \times EF_{tl}$$

Em_{it} beschreibt die gesamten THG-Emissionen eines Betriebes k zum Zeitpunkt t . AD_{itl} entspricht der *Aktivität* (z.B. Anzahl gehaltener Tiere, ausgebrachte Düngermengen oder Kraftstoffverbrauch) von Betrieb i in t in Bezug auf die Emissionsquelle $l = 1, \dots, L$. EF_{tl} steht für regionsspezifische und jahresabhängige Emissionsfaktoren. Unter Emissionsfaktor versteht man einen Parameter, der angibt, wie groß eine Emission pro Einheit der emissionserzeugenden Größe (Aktivitätsgröße) ist, z.B. kg Methan pro Milchkuhhaltungsplatz oder kg Lachgas pro kg auf das Feld ausgebrachte Stickstoffdüngermenge (HAENEL et al. 2018).

Als Systemgrenze wird das *Hofstor* gewählt, d.h. ausschließlich solche Emissionen werden berücksichtigt, die unmittelbar durch das Wirtschaften des Betriebes entstehen, d.h. Folgeemissionen (z.B. Transport der Waren) fallen heraus. Damit soll der Fokus auf diejenigen THG-Emissionen gelegt werden, über die die Betriebsleiter*innen direkte Kontrolle haben und welche somit eindeutig dem landwirtschaftlichen Betrieb zugewiesen werden können (CODERONI/ESPOSTI, 2018). Bei der Festlegung der Emissionsquellen wird auf das einheitliche Berichterstattungsformat (CRF) der UNFCCC zurückgegriffen, das Landwirtschaft als eigenständige Kategorie auflistet (UNFCCC 2014). Darüber hinaus wird der Energieverbrauch, der bei landwirtschaftlichen Aktivitäten anfällt, eingerechnet. Eine Übersicht über die einzelnen Emissionsquellen und Aktivitätsdaten befindet sich in Tabelle 1. Zur möglichst exakten Bestimmung der THG-Emissionen wird die Tierhaltung in feingliedrige Kategorien unterteilt und bei den Lachgasemissionen im Pflanzenbau möglichst pflanzenspezifisch unterschieden.

Die Treibhausgasbilanz ergibt sich aus der Summe der Treibhausgasemissionen, wobei Lachgas und Methanmengen mit ihrem jeweiligen Treibhauspotenzial (34 bzw. 298) multipliziert in CO_2 -Äquivalente umgerechnet werden (IPCC 2013). Aus der THG-Bilanz ergibt sich die Emissionsintensität. Diese gibt an, welche Menge an Treibhausgasemissionen benötigt wird, um einen Euro Umsatz¹ zu erwirtschaften.

Tab. 1: Zusammenfassung der Treibhausgase Methan(CH₄), Lachgas(N₂O) und Kohlenstoffdioxid (CO₂), Emissionsquellen, Aktivitätsdaten (AD) und Emissionsfaktoren (EF).

THG	Emissionsquelle	AD (Buchführungsdaten)	EF
Tierhaltung^a			
CH ₄	Verdauung	Tierzahl	regional
CH ₄	Wirtschaftsdüngermanagement	Tierzahl	regional
N ₂ O	Wirtschaftsdüngermanagement (direkt and indirekt)	Tierzahl	regional
Pflanzenbau^b			
N ₂ O	Mineraldüngeranwendung	Düngerausgaben	regional
N ₂ O	Wirtschaftsdüngeranwendung	Tierzahl	regional
N ₂ O	Deposition von reaktivem Stickstoff	Tierzahl & Düngerausgaben	IPCC & regional
N ₂ O	Ausgewaschener und abgeflossener Stickstoff	Tierzahl & Düngerausgaben	IPPC & regional
N ₂ O	Ernterückstände	Fläche & Erträge	IPCC
CO ₂	Harnstoffanwendung	Düngerausgaben	regional
CO ₂	Kalkung	Düngerausgaben	regional
Energieverbrauch			
CO ₂	Kraftstoffverbrennung	Kraftstoffausgaben	IPCC

^a In Bezug auf die Stickstoffausscheidungsdaten sowie die enterischen Fermentationsraten wurde folgende Unterscheidung getroffen: (a) Pferde: schwere Pferde, Ponys und leichte Pferde (b) Rinder: Kälber, männliche Rinder, Färsen, männliche Rinder > 2 Jahre, Milchkühe und Mutterkühe (c) Schweine: Absetzer, Mastschweine, Eber, Sauen (d) Schafe (e) Geflügel: Legehennen, Junghennen, Broiler, anderes Geflügel.

^b Es wird zwischen mehr als 30 pflanzlichen Kulturen unterschieden.

Sie ist also der Quotient aus THG-Bilanz und Umsatzerlös eines Betriebes pro Jahr. Um Preiseffekte vernachlässigen zu können, werden die Erlöse aus den jeweiligen Aktivitäten mittels Preisindizes auf ein Basisjahr deflationiert.

2.2 Daten

Als wichtigste Datenquelle werden Buchführungsdaten von konventionellen bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben genutzt. Dabei handelt es sich um Daten aus dem Zeitraum von 2006 bis 2014, die im Rahmen des europäischen Testbetriebsnetzes (FADN) erfasst wurden. Die Daten werden jährlich für ca. 3000 Betriebe gesammelt, wobei die Teilnahme freiwillig erfolgt. Neben finanziellen Kennzahlen enthält der Datensatz auch quantitative Werte zu Tierhaltung und bewirtschafteter Flächen. Monetäre Erlöse werden in konstanten €, deflationiert auf das Jahr 2016, angegeben. Emissionsfaktoren wurden vorwiegend aus den Anlagen des deutschen UNFCCC Treibhausgasberichts entnommen (HAENEL et al. 2018). Weitere Datenquellen zur Ermittlung von Aktivitätsdaten umfassen den Marktbericht der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL 2020), das IPCC (2006) sowie das deutsche Umweltbundesamt (2019).

3 Ergebnisse und Diskussion

Im Mittel machte während des betrachteten Zeitraums (2006–2014) Methan ca. zwei Drittel des THG-Bilanz konventioneller Betriebe in Bayern aus, gefolgt von Lachgas (ca. ein Viertel) und Kohlenstoffdioxid mit knapp 10% (vgl. Abbildung 1). Wie anhand von Abbildung 1 zu erkennen ist, war die Tierhaltung im Durchschnitt die größte Quelle der THG-Emissionen, was auf den Methanausstoß während des Verdauungsprozesses von Wiederkäuern zurückzuführen ist. Pflanzenbauliche Faktoren sind für ca. 20% der betriebsspezifischen THG-Emissionen verantwortlich, wobei der Großteil durch Düngeanwendung entsteht. Knapp 10% der Emissionen entstehen beim Verbrauch von Energie.

Zur besseren Analyse der betriebsspezifischen THG-Emissionen wurden die Landwirt*innen in Quartile eingeordnet, die die Umsatzstärke der Betriebe widerspiegelt. So befinden sich z.B. im vierten Quartil die 25% umsatzstärksten Betriebe. Aus Tabelle 2 wird erkenntlich, dass umsatzstärkere und damit vorwiegend größere Betriebe eine deutlich höhere THG-Bilanz aufweisen als umsatzschwächere Betriebe, wenngleich die Variation innerhalb dieser Gruppen sehr hoch ist. Diese Variabilität gibt einen Hinweis darauf, dass die Betriebe sehr heterogen

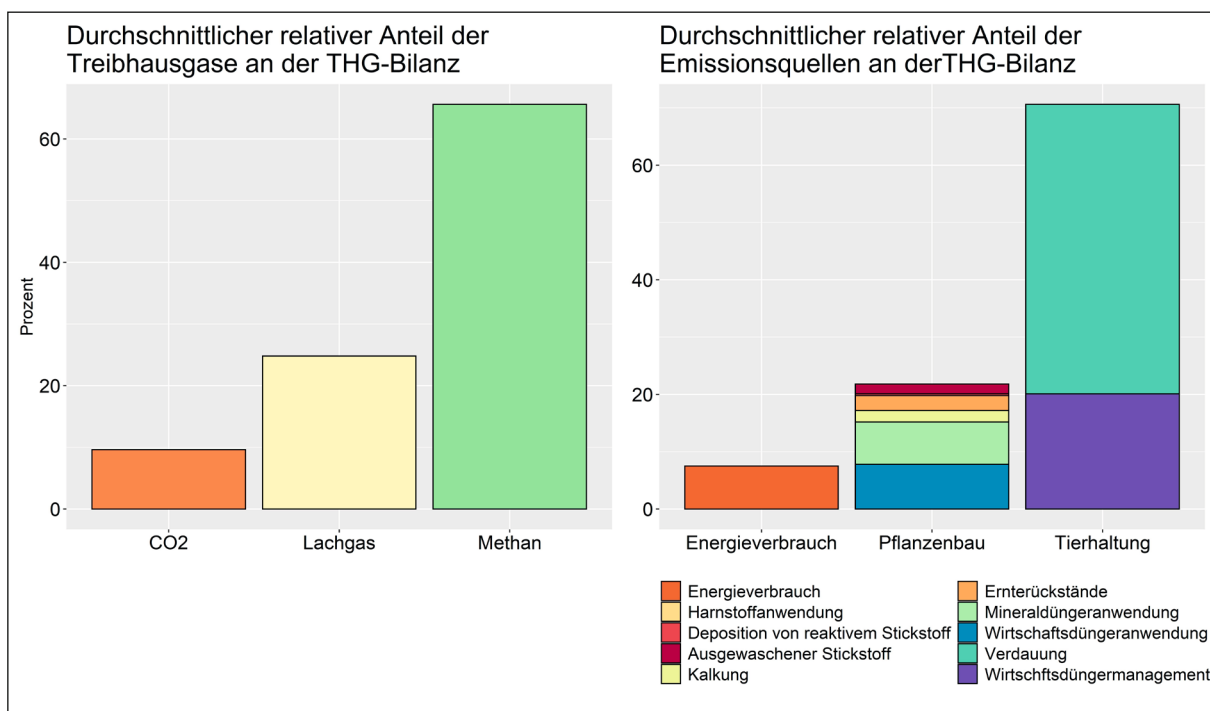


Abb. 1: Durchschnittlicher relativer Anteil der Treibhausgase (links) und Emissionsquellen (rechts) an der THG-Bilanz auf Betriebsebene.

innerhalb der Gruppen hinsichtlich ihres THG-Ausstoßes sind.

Mit durchschnittlich über 600 Tonnen CO_{2Äq} sind die THG-Emissionen der umsatzstärksten Betriebe erheblich und übersteigen die der umsatzschwächsten Betriebe (Q1) um ca. ein Vierfaches. Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn man eine Untergliederung

nach Flächenausstattung vornimmt. Kleine Betriebe bis 35ha stoßen mit 213t CO_{2Äq} drei Mal weniger THGs aus als Betriebe über 100ha. Weiterhin war die THG-Bilanz von kleinen Betrieben im betrachteten Zeitraum relativ konstant, während sie sich bei mittleren und großen Betrieben deutlich erhöht hat. Neben den Auswirkungen von Umsatz und genutzter Fläche

Tab. 2: Durchschnittliche Treibhausgasbilanz (und Standardabweichung) landwirtschaftlicher Betriebe in Bayern ausgedrückt in Tonnen CO_{2Äq} pro Betrieb und Jahr.

	2006	2008	2010	2012	2014	Arithm. Mittel (2006–2014)
Umsatz (Quartile)						
1. Quartil	152 (±107)	138 (±102)	153 (±119)	119 (±98)	120 (±100)	143
2. Quartil	322 (±148)	305 (±139)	343 (±168)	300 (±141)	290 (±148)	317
3. Quartil	440 (±214)	424 (±210)	472 (±250)	462 (±216)	445 (±218)	454
4. Quartil	505 (±308)	568 (±318)	563 (±360)	689 (±381)	708 (±412)	609
Lw. Fläche						
<34.99 ha	212 (±150)	211 (±152)	208 (±158)	210 (±171)	234 (±187)	214
35–99.99 ha	390 (±223)	400 (±236)	409 (±257)	452 (±290)	473 (±318)	423
>100 ha	552 (±324)	602 (±352)	616 (±389)	695 (±450)	745 (±488)	649
Betriebsform						
Milchvieh	491 (±209)	515 (±234)	557 (±265)	628 (±322)	676 (±355)	568
Ackerbau	97 (±87)	118 (±125)	103 (±103)	115 (±119)	127 (±132)	113
Gemischt	262 (±199)	296 (±224)	291 (±242)	310 (±259)	360 (±278)	308
Schweinmast	241 (±151)	257 (±156)	275 (±181)	301 (±179)	319 (±176)	278

auf THGs wurde auch der Einfluss der wichtigsten Betriebsformen in der bayerischen Landwirtschaft untersucht.² Es ist deutlich zu erkennen, dass Betriebe mit Nutztierhaltung im Mittel höhere THG-Emissionen haben als Ackerbaubetriebe. Besonders hoch sind dabei die Emissionen von Milchviehbetrieben.

Obwohl das absolute Maß an THGs pro Betrieb einen ersten Eindruck über die Klimafreundlichkeit von Betrieben geben kann, ist es wichtig diese Größe ins Verhältnis zur ökonomischen Leistungsfähigkeit (deflationierte Umsatzerlöse) zu setzen. Tabelle 3 gibt die durchschnittlichen Emissionsintensitäten der landwirtschaftlichen Betriebe an. Hinsichtlich der Größe der Betriebe zeigt sich hier ein grundsätzlich anderes

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Analyse der THG-Emissionen in Bezug auf die Flächenausstattung. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Treibhausgasemissionen pro ha Land. Hier zeigt sich, dass die umsatzschwächsten Betriebe mit ca. 5 t/ha bezogen auf die Landnutzung am klimafreundlichsten sind, während die mittleren 50 % mit über 8 t/ha am klimaschädlichsten zu sein scheinen. Interessanterweise verbesserte sich der Wert der THG-Ausstöße pro ha bei den unteren 50%, während er sich bei den oberen 50% deutlich verschlechterte. Hinsichtlich der Flächenausstattung der Betriebe ergibt sich ein deutliches Bild. Obwohl die Variabilität innerhalb der Betriebe mit weniger als 35 ha sehr groß ist, sind diese mit 8,6

Tab. 3: Arithmetisches Mittel (Standardabweichung) der Emissionsintensität landwirtschaftlicher Betriebe in Bayern ausgedrückt in Tonnen CO₂-Äq pro erwirtschafteten Euro pro Betrieb und Jahr.

	2006	2008	2010	2012	2014	Arithm. Mitte (2006–2014)
Umsatz (Quartile)						
1. Quartil	3 (±1.8)	3 (±6)	3.1 (±2.1)	2.8 (±5.9)	2.5 (±5.2)	3
2. Quartil	3 (±1.3)	2.8 (±1.2)	3.2 (±1.5)	2.8 (±1.3)	2.7 (±1.3)	2.9
3. Quartil	2.6 (±1.2)	2.5 (±1.2)	2.7 (±1.4)	2.7 (±1.2)	2.5 (±1.2)	2.6
4. Quartil	1.6 (±1.1)	1.8 (±1.1)	1.7 (±1.2)	2 (±1.2)	2 (±1.2)	1.8
Lw. Fläche						
< 34.99 ha	2.7 (±1.7)	2.8 (±5.1)	2.8 (±1.9)	2.7 (±5.2)	2.5 (±4.3)	2.7
35–99.99 ha	2.6 (±1.4)	2.5 (±1.3)	2.7 (±1.6)	2.6 (±1.4)	2.4 (±1.3)	2.6
> 100 ha	2.2 (±1.2)	2.1 (±1.3)	2.3 (±1.6)	2.2 (±1.3)	2 (±1.2)	2.2
Betriebsform						
Milchvieh	3.9 (±0.7)	3.6 (±0.7)	4.2 (±0.7)	3.6 (±0.9)	3.5 (±0.6)	3.8
Ackerbau	1.4 (±0.9)	1.6 (±6.8)	1.6 (±1.7)	1.6 (±1.4)	1.2 (±1.1)	1.5
Gemischt	2.1 (±1.2)	2 (±1.1)	2.1 (±1.2)	2.1 (±1.3)	1.9 (±0.8)	2
Schweinemast	1.1 (±0.4)	1.2 (±0.4)	1 (±0.4)	1.1 (±0.4)	0.9 (±0.3)	1.1

Bild als zuvor. Die umsatzstärksten Betriebe liegen mit 1,8kg CO₂Äq pro umgesetzten € deutlich unter umsatzschwächeren Betrieben mit ca. 3 kg CO₂Äq/€. Allerdings scheint es so, dass sich die Emissionsintensität im vierten Quartil über die Jahre hinweg deutlich verschlechtert hat während sie in den anderen Quartilen in etwa gleich blieb. Auch hinsichtlich der Flächengröße scheinen große Betriebe (>100ha) Emissionen besser in wirtschaftlichen Erfolg umzusetzen. Noch gravierendere Unterschiede gibt es in Bezug auf die Betriebsformen. Milchviehbetriebe stießen durchschnittlich 3,8 kg CO₂Äq/€ aus während Schweinemastbetriebe eine EI von lediglich 1,1 kg CO₂Äq/€ aufwiesen. Daraus lässt sich schließen, dass es wesentlich klimaschädlicher ist, Umsätze im Bereich der Milcherzeugung zu generieren als im Bereich Schweinefleischproduktion oder auch im Bereich Ackerbau.

t CO₂Äq/ha deutlich THG-intensiver als mittlere und große Betriebe. Deutliche Unterschiede gibt es auch hinsichtlich der Betriebsform. Milchviehbetriebe stoßen ca. 12t CO₂Äq/ha aus, während Ackerbaubetriebe lediglich bei knapp 2t/ha lagen. Weiterhin scheint sich diese Bilanz bei Tierhaltungs- und Gemischtbetrieben gegen Ende des Betrachtungszeitraumes verschlechtert zu haben, während sie bei Ackerbaubetrieben ungefähr konstant blieb.

Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die durchschnittlichen betriebsspezifischen Emissionsindikatoren pro Landkreis und reflektiert die vorangegangenen Ergebnisse. Hohe THG-Emission sind vor allem im südbayerischen Raum, dem Allgäu sowie entlang der tschechischen Grenzen zu beobachten. Trotz relativ kleinstrukturierter Landwirtschaft gibt es dort hohe Viehbestandsdichten. Hinsichtlich der

Tab. 4: Arithmetisches Mittel (Standardabweichung) der Emissionsintensität landwirtschaftlicher Betriebe in Bayern.

	2006	2008	2010	2012	2014	Arithm. Mittel (2006–2014)
Umsatz (Quartile)						
1. Quartil	5.9 (±4.7)	5.4 (±5.3)	5.4 (±4.7)	4.2 (±4)	4.2 (±4.3)	5.2
2. Quartil	8.4 (±4.7)	8.4 (±4.8)	8.6 (±5.1)	8.2 (±5.1)	8.3 (±5.5)	8.4
3. Quartil	8.3 (±5)	8.1 (±5)	8.5 (±5)	9.2 (±5.4)	9 (±5.6)	8.7
4. Quartil	6.4 (±3.6)	7.1 (±4.3)	6.7 (±4.1)	8.6 (±5.1)	9.1 (±5.7)	7.6
Lw. Fläche						
<34.99 ha	8.6 (±5.8)	8.6 (±6.3)	8.3 (±6)	8.4 (±6.5)	9.2 (±7)	8.6
35–99.99 ha	6.9 (±3.9)	7 (±4.1)	7.1 (±4.4)	7.7 (±4.8)	8.1 (±5.2)	7.4
>100 ha	4.2 (±2.6)	4.5 (±2.7)	4.6 (±3)	5.2 (±3.5)	5.5 (±3.6)	4.8
Betriebsform						
Milchvieh	12 (±3.8)	12.1 (±3.8)	12.4 (±3.8)	12.7 (±4.2)	13.6 (±4.5)	12.6
Ackerbau	1.8 (±0.8)	2 (±1)	1.7 (±0.8)	1.9 (±0.8)	2 (±0.7)	1.9
Gemischt	3.9 (±2.1)	4.2 (±2)	3.9 (±2)	4.2 (±2.2)	4.5 (±2.2)	4.2
Schweinemast	4.3 (±1.5)	4.5 (±1.6)	4.5 (±1.7)	4.7 (±1.8)	4.8 (±1.7)	4.6

Emissionsintensität bestätigt sich dieses Bild, kleinstrukturierte Rinder- und Milchviehhalter in Südbayern, dem bayerischen Wald und der fränkischen Schweiz setzen Emission sehr schlecht in wirtschaftlichen Erfolg um, d.h. in diesen Regionen hat jeder umgesetzte Euro besonders hohe *klimatische Kosten* von bis 5 kg CO_{2Äq}/€. Dahingegen ist die Emissionsintensität vor allem in Mittelbayern und Teilen Frankens aufgrund des hohen Ackerbauanteils deutlich geringer. Dieses Bild verstärkt sich zusätzlich hinsichtlich der Emissionen pro landwirtschaftlich genutzter Fläche. Im Allgäu, Südostbayern und dem Bayerischen Wald sind die Emissionen mit bis zu 16t/ha besonders hoch. Anders verhält es sich in Unterfranken. Dort betragen die durchschnittlichen Emissionen aufgrund der geringen Viehdichte nur 2 bis 6 t/ha.

Die Karten in Abbildung 2 verdeutlichen die Präsenz von Funktions- und Zielkonflikten in der bayerischen Landwirtschaft. Extensive kleinstrukturierte Betriebe, die vor allem grünlandbasiert wirtschaften und einen hohen Wert hinsichtlich Biodiversität und artgerechter Tierhaltung aufweisen, scheinen pro erwirtschaftetem Euro klimaschädlicher als intensive und großflächigere Ackerbaubetriebe zu sein. Ähnliche Ergebnisse wurden von CODERONI und ESPOSTI (2018), BERNARD et al. (2014) und OSTERBURG et al. (2013) gefunden. Diese Zielkonflikte sollten bei Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen stets einbezogen werden. Landwirtschaft, Gesetzgeber und Gesellschaft sind gefordert, Ziele zu priorisieren und entsprechend zu handeln. Daneben ist es wichtig, mögliche Synergien zwischen unterschiedlichen Funktionen und Zielen festzustellen und im Sinne

einer nachhaltigen Entwicklung der bayerischen Landwirtschaft zu fördern. Weiterhin ermöglicht die angewandte Methode, *Benchmarks* zu ermitteln, die gangbare Strategien zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) auch für andere Betriebe offenbaren.

Ein weiterer Faktor ist die gewählte Bezugsgröße, welche wiederum die Betrachtungsweise der Problemstellung reflektiert (ZEHETMEIER et al. 2017). Werden THG-Emissionen in Verbindung mit ökonomischen Größen evaluiert, ergibt sich häufig ein anderes Bild als bei isolierter Betrachtung. Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz müssen sich allerdings nicht ausschließen. Zum Beispiel zeigen OSTERBURG et al. (2013) und FINGER et al. (2019) Handlungsoptionen auf, wie Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit verbunden werden können. Dazu zählen unter anderem die Verbesserung der N-Produktivität der Düngung und die Reduzierung von N-Überschüssen z.B. durch *Precision Farming*, die Optimierung der Lagerung und Ausbringung von organischen Wirtschaftsdüngern oder auch eine stickstoffoptimierte Fütterung. Im Rahmen der Vielfalt bayerischer Landwirtschaft ist dabei jeweils auf den spezifischen Kontext der Betriebe zu achten. Politikmaßnahmen sollten möglichst auf die Umstände des jeweiligen landwirtschaftlichen Umfeldes angepasst sein.

Darüber hinaus müssen die Ergebnisse dieser Studie kritisch im Hinblick auf die bayerische Agrarstruktur betrachtet werden. Die bayerische Agrarpolitik hat sich zum Ziel gesetzt, vor allem kleine familiengeführte Betriebe zu fördern und somit den Strukturwandel zu verlangsamen (WUEPPER/WIMMER/SAUER 2020).

Unsere Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass sich die Strategie zur Verlangsamung des Strukturwandels unter gleichzeitiger Betrachtung von Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz nicht bezahlt macht. Ein weiterer kritischer Aspekt umfasst den Milchviehbestand in Bayern. Unter klimapolitischen Gesichtspunkten könnte eine Maßnahme der Länderregierung sein, den Milchviehbestand sukzessive zu verkleinern. So könnte zum Beispiel eine Ausstiegsprämie aus der Milchviehhaltung als ökonomisches Anreizinstrument dienen.³

4 Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Studie werden die betriebspezifischen Treibhausgasemissionen für eine große Anzahl an bayerischen landwirtschaftlichen Betriebe über einen Zeitraum von neun Jahren berechnet. Zu diesem Zweck wird auf eine neuartige Methodik zurückgegriffen, die sich mittels landwirtschaftlicher Buchführungsdaten und einer Vielzahl zusätzlicher Datenquellen der *THG-Bilanz* von landwirtschaftlichen Unternehmen annähert. Es zeigt sich ein breitgefächertes Bild in der bayerischen Landwirtschaft. Bezogen auf den einzelnen Betrieb stoßen große (Tierhaltungs-)betriebe am meisten Emissionen aus. Bezogen auf den erwirtschafteten Umsatz scheinen diese Betriebe allerdings durchschnittlich am

klimaeffizientesten zu sein. Bezogen auf die Landfläche zeigt sich ein uneinheitliches Bild, wobei Milchviehbetriebe in allen Kategorien die höchsten Werte aufweisen.

Die Studie zeigt, dass es große räumliche Unterschiede bezogen auf die THG-Emission gibt. Zielkonflikte bei der Vermeidung von THG-Emission sind unvermeidbar und müssen zur Erreichung der gesteckten Klimaziele diskutiert und geklärt werden. Bei der Implementierung von THG-Vermeidungsstrategien sollte auf den jeweiligen räumlich-strukturellen Kontext des landwirtschaftlichen Betriebes geachtet werden. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung nachhaltiger Landwirtschaft in Bayern gewinnen zunehmend weitere Aspekte wie die Biodiversität an Bedeutung, welche bei der Betrachtung der Ergebnisse nicht außen vorgelassen werden sollten.

Die Studie unterliegt einigen methodischen Limitationen, die bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden sollten. Zur Berechnung der betriebspezifischen Emissionen sind aufgrund von limitierter Datengrundlage vereinfachend regionale Emissionsfaktoren angenommen worden. Diese können von Betrieb zu Betrieb allerdings unterschiedlich sein, z.B. in Abhängigkeit der Fütterung und Haltungsform von Nutztieren. Für einzelne Betriebe könnten die ermittelten Indikatoren daher verzerrt sein. Im Mittel sollten die Indikatoren jedoch ein realistisches Maß für den betriebspezifischen THG-Ausstoß liefern. Weiterhin wurde davon abgesehen, kalkulatorische

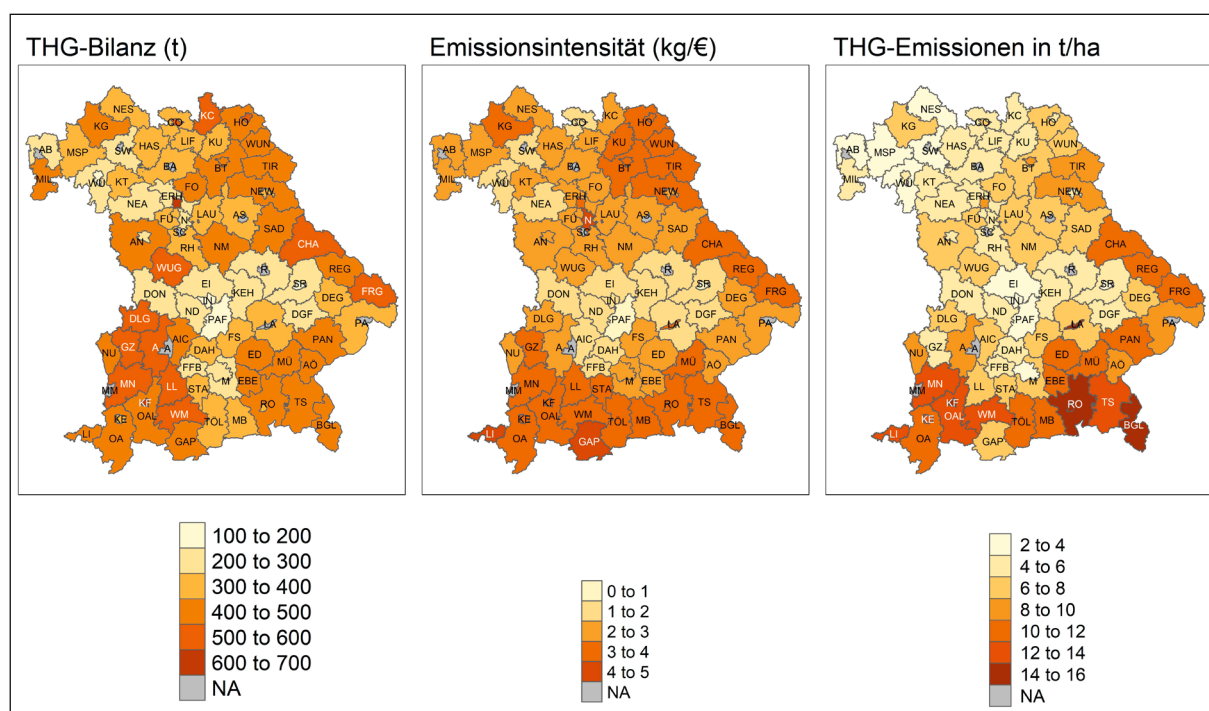


Abb. 2: Durchschnittliche THG-Bilanz (links), Emissionsintensität (Mitte) und THG-Emissionen pro Hektar (rechts) nach Landkreisen.

Unsicherheiten in die Berechnungen aufzunehmen. Zuletzt sollen Möglichkeiten zur zukünftigen Ausweitung der Ergebnisse aufgezeigt werden. Die Integration von Treibhausgasbilanz und Emissionsintensität in produktionsökonomische Modelle könnte ein interessanter Ansatz sein, um die zugrundeliegenden Mechanismen zwischen Produktion und THG-Ausstoß besser zu verstehen. Weiterhin wäre es interessant, die Ergebnisse für andere Bundesländer zu ermitteln, um Vergleiche tätigen zu können und Best-Practice-Fälle zu identifizieren. Außerdem wäre es interessant, kalkulatorische Unsicherheiten in die Berechnung der Emissionen aufzunehmen. Zu guter Letzt wäre es wünschenswert, eine ähnliche Bilanzierungsmethode im Bereich der Biodiversitätsforschung anzuwenden.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Anne Lewerentz, Prof. Dr. Juliano Sarmiento Cabral und Prof. Dr. Anja Rammig für ihre wertvollen Hinweise.

Außerdem danken wir dem Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst für die Finanzierung des BLIZ-Projekts im Rahmen des Bayerischen Netzwerks für Klimaforschung (bayklif).

Anmerkungen

- 1) Dabei werden Steuern und Subventionen nicht berücksichtigt.
- 2) Betriebsformen sind durch einen Umsatzanteil von zwei Drittel des betriebsformspezifischen Produktes am Gesamtumsatz des Betriebes definiert, z.B. machen Umsatzerlöse aus Milchverkäufen zwei Drittel des Umsatzes von Milchviehbetrieben aus. Bei gemischten Betrieben erreicht kein spezifisches Produkt einen Umsatzanteil von 66%.
- 3) Einschränkung bleibt festzustellen, dass die Milchviehhaltung z.B. in den (Vor-)Alpen eine wichtige landschaftspflegerische Aufgabe übernimmt und dass nicht allen Milchviehhaltungen alternative Einkommensquellen zu Verfügung stehen.

Literatur

AK UGRdL. 2013.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder: Gemeinschaftsveröffentlichung 2013. Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder.

BALDONI, E.; CODERONI, S.; ESPOSTI, R. 2018: The complex farm-level relationship between environmental performance and productivity: The case of carbon footprint of Lombardy farms. In: *Environmental Science and Policy* 89: 73–82.

BALDONI, E., CODERONI, S.; ESPOSTI, R. 2017: The productivity and environment nexus with farm-level data. The case of carbon footprint in lombardy FADN farms. In: *Bio-based and Applied Economics* 6: 119–137.

BERNARD, B. et al. 2014: Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen Zielkonflikte und Synergien mit dem Biodiversitätsschutz. In: *ISOE-Materialien Soziale Ökologie*. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH.

BMU. 2016: Klimaschutzplan 2050.

CODERONI, S.; ESPOSTI, R. 2018: CAP payments and agricultural GHG emissions in Italy. A farm-level assessment. In: *Science of the Total Environment* 627: 427–433.

DELLINK, R.; LANZI, E.; CHATEAU, J. 2019: The Sectoral and Regional Economic Consequences of Climate Change to 2060. In: *Environmental and Resource Economics* 72: 309–363.

DICK, J. et al. 2008: Calculating farm scale greenhouse gas emissions., pp. 0–29.

ESPOSTI, R. 2017: The empirics of decoupling: Alternative estimation approaches of the farm level production response. In: *European Review of Agricultural Economics* 44: 499–537.

European Commission. 2019: CAP Specific Objectives ...explained – Brief No 4. No. 1, Brussels.

European Environment Agency. 2019: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019: 962.

FAOSTAT. 2017: FAO Statistics.

FINGER, R. et al. 2019: Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. In: *Annual Review of Resource Economics* 11: 313–335

HAENEL, H.D. et al. 2018: Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2016: Report on methods and data (RMD) Submission 2018. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 57.

IPCC. 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: EGGLESTON H.S. et al. (Hg.) Japan: National Greenhouse Gas Inventories Programme.

ISO. 2006: ISO 14044. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. LfL. 2020: Marktberichte. Online: <https://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarkt/029150/>, (08.04.2020).

OSTERBURG, B. et al. 2013: Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 11.

PAUSTIAN, K. et al. 2004: Climate Change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture, vol. 141. Ames: Council for Agricultural Science and Technology.

SMITH, P. et al. 2007: Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 6–28.

Umweltbundesamt. 2019: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Working paper.

UNFCCC. 2014: Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual greenhouse gas inventories. Warsaw.

WUEPPER, D.; WIMMER, S.; SAUER, J. 2020: Is small family farming more environmentally sustainable? Evidence from a spatial regression discontinuity design in Germany. In: *Land Use Policy* 90: 104360.

ZEHETMEIER, M. et al. 2017: Treibhausgas-Emissionen in bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben: Verknüpfung von erhobenen Betriebsdaten, Modellen und Geodaten als Grundlage für die Bewertung von Treibhausgas-Vermeidungsoptionen. Working paper, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan.

Abstract: Greenhouse gas balance and emission intensity at farm level – the case of Bavaria

Agriculture is considered one of the largest emitters of greenhouse gases (GHG) both in Germany and in Bavaria and is therefore a driving factor in climate change. Due to the increasingly visible consequences of global warming and the associated social pressure, politicians are required to offer solutions to reduce greenhouse gas emissions. For both farmers and legislators, the question arises as to what can be done on a farm-specific basis to actively contribute to climate protection and at the same time be economically successful. In order to be able to answer this question, a reliable methodology for the individual recording of greenhouse gases is required. In this study, we present a novel approach for determining the greenhouse gas balance of Bavarian farms based on agricultural accounting data and put this in relation to economic success. Our results show a heterogeneous picture across different farm types, sizes and other farm-specific characteristics. From this, important knowledge about the potential reduction of GHG emissions in Bavarian agriculture can be gained.

Keywords: Bavarian agriculture, climate change, greenhouse gas emissions, revenues, farm-level indicator

Autoren: Christian Stetter, christian.stetter@tum.de, TUM School of Life Sciences, Technische Universität München; Prof. Dr. Johannes Sauer, TUM School of Life Sciences, Technische Universität München.

