

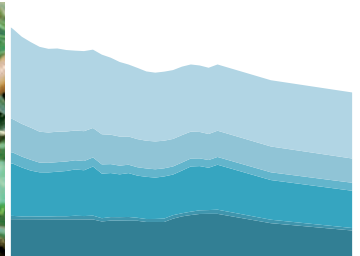


LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Landwirtschaft im Klimawandel Lösungen, die Geld sparen

15. Kulturlandschaftstag



Schriftenreihe

5
2017
ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 71-3640

1. Auflage: November 2017

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhäusen

Schutzgebühr: 10,00 Euro

© LfL



**Landwirtschaft im Klimawandel
Lösungen, die Geld sparen
15. Kulturlandschaftstag**

Tagungsband

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Tagungsprogramm	7
Von Bonn nach Bayern: Klimawandel in der bayerischen Landwirtschaft	11
Dr. Annette Freibauer	
Klimaschutz durch Humusaufbau – Umsetzungsmöglichkeiten der 4 Promille-Initiative in Bayern.....	21
Martin Wiesmeier, Johannes Burmeister, Melanie Treisch, Robert Brandhuber	
Die Leistungen der Regenwürmer trotz Klimawandel erhalten.....	31
Roswitha Walter, Johannes Burmeister, Sebastian Wolfrum, Robert Brandhuber	
Erosions- und Hochwasserschutz: Chancen durch Ökolandbau.....	45
Karin Levin, Robert Brandhuber, Klaus Wiesinger, Annette Freibauer	
Nasse Moornutzung für Klimaschutz und -anpassung.....	51
Prof. Dr. Matthias Drösler	
Nährstoffe effizient nutzen: Bodennahe Wirtschaftsdüngerausbringung – was bringt's?	57
Konrad Offenberger, Christian Sperger, Dr. Matthias Wendland	
Sparen klimafreundliche Betriebe Geld?	65
Monika Zehetmeier, Bianca Zerhusen	
Einzelbetriebliche Klimaschutzberatung - Erfahrungen aus Niedersachsen	71
Ansgar Lasar	
Klimafreundlich bauen in regionalen Kreisläufen.....	77
Jochen Simon, Peter Stötzel, Hannes Dietl, Sabine Helm, Christel Lubenau, Klaus Richter und Gabriele Weber-Blaschke	
Nachhaltiges Wirtschaften – Baustein moderner Unternehmensführung.....	85
Dieter Pfab	

Tagungsprogramm

- Ab 09:00 **Anmeldung und Kaffee**
- 10:00 **Einführung**
Ludwig Wanner
Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- 10:15 **Von Bonn nach Bayern: Klimawandel in der bayerischen Landwirtschaft**
Dr. Annette Freibauer
LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
- 10:30 **Wieviel Humusaufbau ist in Bayern möglich?**
Dr. Martin Wiesmeier
LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
- 10:55 **Die Leistungen der Regenwürmer trotz Klimawandel erhalten**
Roswitha Walter
LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
- 11:20 **Erosions- und Hochwasserschutz: Chancen durch Ökolandbau**
Karin Levin
LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
- 11:45-13:00 **Mittagspause**
- 13:00 **Nasse Moornutzung für Klimaschutz und –anpassung**
Prof. Dr. Matthias Drösler
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Lehrstuhl für Vegetationsökologie
- 13:25 **Nährstoffe effizient nutzen: Bodennahe Wirtschaftsdüngerausbringung - was bringt´s?**
Konrad Offenberger
LfL, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
- 13:50 **Sparen klimafreundliche Milchviehbetriebe Geld?**
Dr. Monika Zehetmeier
LfL, Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur
- 14:15 **Einzelbetriebliche Klimaschutz-beratung – Erfahrungen aus Niedersachsen**
Ansgar Lasar
Klimabeauftragter der Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- 15:00-15:30 **Kaffee**
- 15:30 **Klimafreundlich bauen in regionalen Kreisläufen**
Jochen Simon
LfL, Institut für Landtechnik und Tierhaltung
- 15:55 **Klimafreundlich investieren: Chancen für landwirtschaftliche Betriebe**
Dieter Pfab
Umweltreferent des Landesverbands der steuerberatenden und wirtschaftsprüfenden Berufe in Bayern
- 16:20 **„Klima-Check: Win-win-Optionen“ und Abschlussdiskussion**
Dr. Annette Freibauer
LfL, Institut für Agrarökologie
- 17:00 **Ende**

Vorwort

Bei der 23. Weltklimakonferenz (COP 23) vom 6. bis 17. November 2017 in Bonn beraten Politiker und Fachleute über die konkrete Umsetzung des Paris-Abkommens von 2015. Die Weltöffentlichkeit blickt stets besonders genau auf das Gastland, das als Leiter der Verhandlungen eine besondere Verantwortung für den Erfolg von COP 23 hat.

Die erste Weltklimakonferenz 1995 fand ebenfalls in Deutschland statt. Damals gelang es der damaligen Bundesumweltministerin Angela Merkel, mit dem „Berlin-Mandat“ den weltweiten Verhandlungsprozess für Klimaschutz und -anpassung zu starten. Deutschland ging damals freiwillig mit einem ambitionierten Klimaschutzplan voraus – ein Meilenstein in der internationalen Vertrauensbildung.

Anlässlich der deutschen Präsidentschaft von COP23 lud die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zur Standortbestimmung, zum Dialog und Aufbruch ein: Denn der unabwendbare Klimawandel fordert Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen von der Landwirtschaft. Maßnahmen zum Klimaschutz können aber auch helfen, landwirtschaftliche Betriebe zukunftsfähig zu machen. Investitionen von heute prägen die betrieblichen Chancen für Jahrzehnte. Daher lohnt es sich, dem Klimawandel bei Entscheidungen bewusst zu begegnen.

Die bayerische Landwirtschaft hat seit 1990 etwa 20 % ihrer Treibhausgasemissionen reduziert. Handlungsbeispiele einzelner landwirtschaftlicher Betriebe zeigen, dass die Emissionen um weitere 10 % gesenkt werden können, ohne die Produktion einzuschränken. Oft führen organisatorische Maßnahmen, Bewusstsein für Energie- und Ressourceneffizienz und viele kleine Stellschrauben zum Erfolg. Solche Maßnahmen schützen nicht nur das Klima, sondern ermöglichen auch ein stabiles Wirtschaften in Zeiten zunehmender Überraschungen durch Witterungsextreme und Märkte. Viele Maßnahmen können sogar kurz- oder mittelfristig Geld sparen.

Win-win-Maßnahmen – Schritte, die Vorsorge und Klimaschutz vereinen und kosteneffizient sind, stehen im Mittelpunkt dieses Tagungsbandes. Sie sollen Anregungen geben, die Chancen im Klimawandel zu erkennen: Beim Boden, bei effizienten Nährstoffkreisläufen und bei Investitionen in Ställe und Erneuerbare Energien. Denn je eher Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel im landwirtschaftlichen Alltag gelebt werden, desto einfacher wird der Übergang zu den notwendigen ehrgeizigen Schritten der Zukunft gelingen.



Dr. Annette Freibauer

Institutsleiterin

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft,
Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

Von Bonn nach Bayern: Klimawandel in der bayerischen Landwirtschaft

Dr. Annette Freibauer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau,
Bodenkultur und Ressourcenschutz

Zusammenfassung

Der Klimawandel ist mittlerweile immer wieder in regional unterschiedlichen Formen in der bayerischen Landwirtschaft spürbar. Die Landwirtschaft muss sich durch eine gezielte Vorsorge gegen Ertragseinbußen und -risiken wappnen, hat sich aber bereits auch an die positiven Folgen wie längere Vegetationsperioden angepasst. Ein verstärkter vorsorgender Bodenschutz ist im Pflanzenbau unabdingbar, um langfristig die wichtigste Produktionsgrundlage zu erhalten.

Klimaschutzmaßnahmen in landwirtschaftlichen Betrieben umfassen häufig viele kleine organisatorische Schritte oder Anstrengungen, die sich aus neuen Anforderungen im Gewässerschutz oder im Hinblick auf Ammoniakreduktion ergeben. Viele Maßnahmen sind mit einem effizienteren Einsatz von Nährstoffen, Energie oder anderen Produktionsmitteln verbunden. Die Menüliste von Handlungsoptionen ist lang, so dass Maßnahmen gezielt auf die einzelbetriebliche Situation abgestimmt werden können. Um die besten Maßnahmen zu identifizieren und umzusetzen, ist ein intensiver Beratungsbedarf vorhanden.

1 Einleitung

Im Paris-Abkommen von 2015 bekräftigte die Weltgemeinschaft ihr gemeinsames Ziel, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter zu begrenzen. Klimaschutz und die Anpassung an den unvermeidbaren Klimawandel stehen seither als untrennbare, gleichberechtigte Ziele gemeinsam auf der Handlungsagenda.

Die Landwirtschaft hat als Verursacherin von Treibhausgasen, Betroffene des Klimawandels und Teil der Lösung durch die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen und Energieträgern eine einzigartige dreifache Rolle im Klimawandel. Diese „Dreieinigkeit“ bietet Synergien, aber auch Konflikte, die eine jeweils am Standort und Einzelbetrieb orientierte Lösung brauchen. Diese gelingt nicht ohne klare, langfristige politische Rahmenbedingungen und gesellschaftliche Prioritäten, z.B. für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe im stofflichen oder energetischen Bereich, heimisches pflanzliches Eiweiß, Fleischkonsum und eine angemessene finanzielle Begleitung der notwendigen landwirtschaftlichen Transformation.

Dieser Textbeitrag zeigt die internationalen und nationalen Entwicklungen auf und ordnet die Herausforderungen für die Landwirtschaft in einen größeren Kontext ein.

2 Klimawandel: Was die bayerische Landwirtschaft erwartet

Der deutsche Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes (DWD) dokumentiert die bisherigen klimatischen Änderungen und prognostiziert den Klimawandel in Szenarien von bis zu 21 Klimamodellen bis 2100 [1]. Dabei treten deutliche regionale Unterschiede zu Tage. Extreme Jahre zeigen aber bereits, wie das Klima der Zukunft sein könnte [1], (Abb. 1):

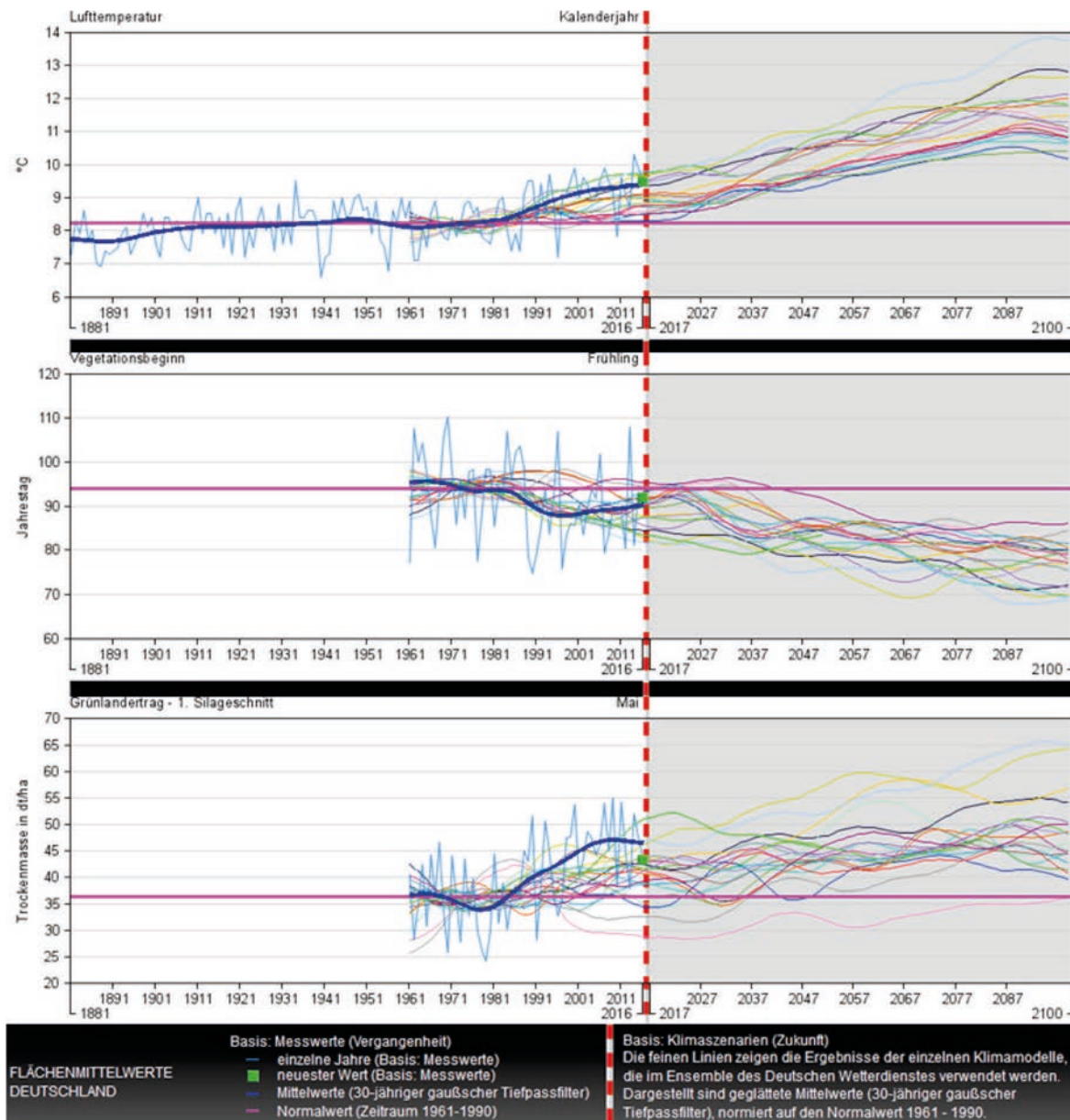


Abb. 1: Trends meteorologischer Kenngrößen in Deutschland: oben: Lufttemperatur, Mitte: Vegetationsbeginn, unten: Grünlandertrag – erster Silageschnitt [1]

- 2015 lag in Bayern die durchschnittliche Lufttemperatur bei 9,4°C, knapp 2°C über der Jahresmitteltemperatur der Referenzperiode 1961-1990. Dies entspricht durchschnittlichen Bedingungen um 2050.
- 2015 lag die nutzbare Feldkapazität unter Wintergetreide (leichter Boden) in Bayern bei 71 % statt 80 % in der Referenzperiode 1961-1990, mit regionalen Extremen bis 63 %. Die Klimamodelle lassen auch zukünftig trockenere Bedingungen erwarten.
- 2017 lag der Vegetationsbeginn in Bayern zwei Wochen früher als in der Referenzperiode 1961-1990. Dies entspricht durchschnittlichen Bedingungen um 2050.
- 2017 gab es aber auch bis zu eine Woche mehr Wechselfrost nach sehr warmen Frühjahrstagen, mit starken regionalen Unterschieden. Vor allem die Obstbauregionen waren betroffen.
- 2017 gab es in Bayern beim Grünlandertrag des ersten Schnitts bis zu 8 dt ha⁻¹ Mehrerträge, ein typischer Wert für 2040. Die Klimamodelle zeigen für Deutschland bereits seit 1980 steigende Erträge und prognostizieren zukünftig bis 10 dt ha⁻¹ Mehrerträge.

Die Beispiele und weitere Untersuchungen [2] zeigen: Die Anbaubedingungen verbessern sich im mittleren Trend, die Erträge können gesteigert werden und der Anbau von wärme liebenden Kulturen wie Soja und neuen Rebsorten ist in Bayern erfolgreich gestartet. Die Risiken durch Trockenheit, Spätfröste und Extremereignisse steigen aber auch [2], wenn auch regional unterschiedlich.

3 Anpassung an den Klimawandel

Die Landwirtschaft musste sich seit jeher an Witterung und Klima anpassen und Risikomanagement in der Außenwirtschaft betreiben. Insofern sind die aktuellen Herausforderungen durch den Klimawandel nichts grundsätzlich Neues, aber die Dimension und Geschwindigkeit der Änderungen könnte größer sein als in der Vergangenheit. Zudem werden in manchen Regionen kritische Grenzen, z.B. in der Wasserverfügbarkeit erreicht, die deutliche Auswirkungen auf die Menge oder Qualität wichtiger Kulturen haben.

Innerbetriebliches Risikomanagement setzt v.a. auf ertragsstabile, standortangepasste Kulturen, Diversifizierung und Risikopuffer. Im Bereich des außerbetrieblichen Risikomanagements gibt es im Wesentlichen Versicherungen [2]. Deren Ausbau und verschiedene Versicherungssysteme werden zunehmend diskutiert. Die klimatische Variabilität und Extremwetterereignisse sind nicht die einzigen Risiken, denen die Landwirtschaft ausgesetzt ist. Andere Risiken, v.a. Marktschwankungen, sind von mindestens ebenso großer Bedeutung.

Die Landwirtschaft verfügt über vielfältige Anpassungsmöglichkeiten. Daher besteht nach einer deutsche Studie zu agrarrelevanten Extremwetterlagen „keine unmittelbare Notwendigkeit, Risikomanagementsysteme staatlich verstärkt zu unterstützen“ [2].

4 Klimaschutz: Ambitionen nach dem Paris-Abkommen

Deutschland hat in der ersten Phase des Kyoto-Protokolls (1990 – 2012) sein Ziel, die Treibhausgas-Emissionen um 21 % zu senken, erreicht. Nun hat die Bundesregierung gemäß eigener Selbstverpflichtung, innerhalb des europäischen Klimaschutzrahmens in der zweiten Phase des Kyoto-Protokolls (2013 – 2020) die Verpflichtung, die Treibhaus-

gas-Emissionen um 40 % gegenüber 1990 zu senken. Derzeit liegt die Emissionsminderung erst bei 27 %, so dass bis 2020 noch eine erhebliche Handlungslücke besteht. Das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 soll zusätzliche Anstrengungen mobilisieren. Im Bereich der Landwirtschaft sollen vor allem die Novelle der Düngeverordnung die Verpflichtung und die Stärkung des ökologischen Landbaus einen Beitrag liefern.

Im Nationalen Klimaschutzplan 2050 ist für die Landwirtschaft ein sektorales Emissionsminderungsziel um 31-34 % unterstellt, bei insgesamt 55 % Emissionsminderung in den Sektoren außerhalb des europäischen Emissionshandels [3]. Dabei wird anerkannt, dass die biologischen Treibhausgasquellen aus der Landwirtschaft nicht auf Null reduziert werden können. Das Ziel bezieht sich auf die CH₄- und N₂O-Emissionen aus der Landwirtschaft, also im Wesentlichen Emissionen aus der Tierhaltung, aus der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, Biogasgärresten und Mineraldüngern, N₂O-Emissionen aus drainierten Moorböden sowie CO₂-Emissionen aus der Kalkung und Harnstoffdüngung.

CO₂- und CH₄-Emissionen aus drainierten Moorböden sind ebenfalls eine sehr relevante Treibhausgasquelle der Landwirtschaft. In Bayern machen sie ca. ein Drittel der landwirtschaftlichen Emissionen aus. Sie fallen nicht unter das sektorale Emissionsminderungsziel. Für diese Quellen gibt es im Nationalen Klimaschutzplan 2050 noch kein quantitatives Ziel, da noch auf notwendige Forschung und Pilotprojekte verwiesen wird. Aber bereits bis 2030 sollen erste Fortschritte bei der Anhebung der Wasserstände in Moorböden erreicht werden [3]. Nach eigenen Berechnungen kann die bayerische Landwirtschaft bei entsprechenden politischen Rahmen- und Förderbedingungen die Treibhausgasemissionen aus Moorböden bis 2050 dritteln, ohne die Nutzung aufzugeben. Dazu sind aber erhebliche Anpassungen der Technik und teilweise der Produktionsziele und die Entwicklung entsprechender Rohstoffmärkte erforderlich.

Die Landwirtschaft wird bei zunehmender Umsetzung ehrgeiziger Reduktionsziele zur wichtigsten verbleibenden Treibhausgas-Quelle, da die anderen Sektoren überproportional stark Emissionen reduzieren. Effizienzsteigerungen im Hinblick auf Treibhausgase sind unausweichlich, so dass sich die Landwirtschaft langfristig bereits auf weitere Maßnahmen einstellen kann.

Neben den Klimaschutzzielen setzen die Nitrat- und Wasserrahmenrichtlinie sowie die NERC-Richtlinie zur Luftreinhaltung Ziele, die die Landwirtschaft zu mehr Stickstoff- und Phosphoreffizienz treiben. Kurz- und mittelfristig werden die Stickstoffmaßnahmen unter der Wasserrahmenrichtlinie und der NERC-Richtlinie stärker wirken als die Klimaschutzziele. Eine entsprechende Minderung der N₂O-Emissionen aus der Landwirtschaft entsteht hier gratis durch Synergieeffekte.

Die bayerische Landwirtschaft hat 20 Prozent ihrer Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 reduziert (*Abb. 2*). Dies liegt wesentlich an der gesteigerten Milchleistung und Nährstoffeffizienz in der Düngung. So produziert Bayern heute die gleiche Menge Milch wie 1990 mit zwei Dritteln der Rinder von 1990.

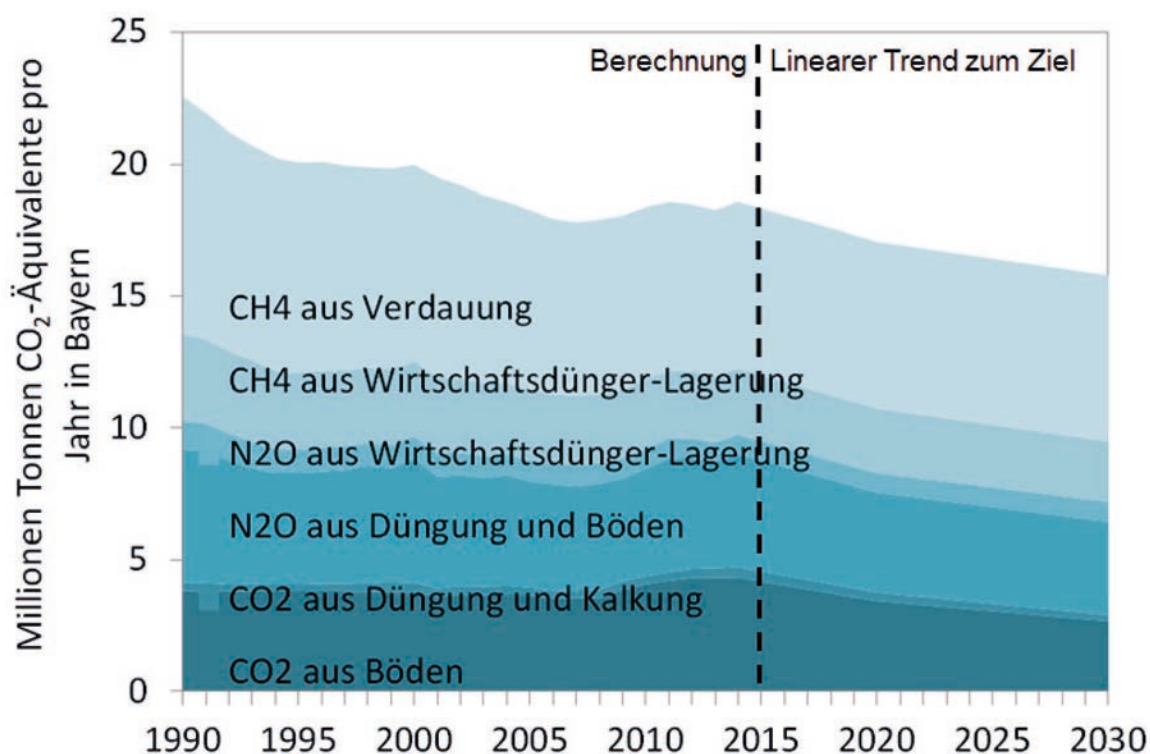


Abb. 2: Treibhausgasemissionen der bayerischen Landwirtschaft. Quelle bis 2015 [4], danach Annahme einer linearen proportionalen Emissionsminderung bis 30 % gegenüber 1990 (eigene Berechnung) gemäß dem nationalen Emissionsminderungsziel außerhalb des Emissionshandels.

Will man Maßnahmen zum Klimaschutz bewerten, sind verschiedene Maßstäbe und Systemgrenzen zu beachten. Einerseits geht es um die absolute Menge an Treibhausgasen, z.B: bei der Einhaltung der internationalen Klimaschutzverpflichtungen: führen die Maßnahmen insgesamt auf nationaler Ebene zu einer Treibhausgasminderung? Andererseits muss verhindert werden, dass emissionsintensive Produktionsschritte nur anderswohin verlagert werden, beispielsweise Futtermittel importiert statt in Deutschland produziert werden. Daher ist als zweiter Bewertungsmaßstab die Treibhausgasminderung pro Produkteinheit zu berücksichtigen. Dies wird anhand von Lebensweganalysen oder "footprint"-Analysen gemacht, die alle Emissionen eines Produkts entlang seines Lebenswegs „von der Wiege bis zur Bahre“ bilanzieren, einschließlich der Emissionen im Herstellungsprozess wichtiger Betriebsmittel. Nur wenn auch die Emissionsintensität je Produkt sinkt, kann von einer sicheren Klimaschutzmaßnahme gesprochen werden.

5 Klimaschutz und Anpassung: Handlungsoptionen für landwirtschaftliche Betriebe

Landwirtschaftliche Betriebe haben vielfältige Handlungsoptionen für den Klimaschutz und die Anpassung an den unvermeidbaren Klimawandel. Oft sind es viele kleine Dinge, die in der Summe Betriebe stabil und effizient machen und so gleichzeitig Treibhausgase sparen. Inzwischen gibt es verschiedene Berechnungsinstrumente oder Treibhausgasrechner, mit denen betriebliche Treibhausgasbilanzen berechnet werden können und die wirkungsvolle, oft sogar gleichzeitig kostensparende oder sehr preiswerte Maßnahmen vorschlagen. Die elf international am weitesten verbreiteten Treibhausgasrechner wurden von

Kätsch und Osterburg [5] verglichen. Sie unterscheiden sich in ihren Zielen und ihrer Komplexität, gemeinsames Ziel ist aber die Berechnung der aktuellen Treibhausgasemissionen aus landwirtschaftlichen Betrieben. Häufig sind sie mit Maßnahmen und Kostenangaben verbunden oder haben interne Optimierungsalgorithmen, die gleich die effizientesten Maßnahmen für einen bestimmten Betrieb vorschlagen.

Die folgenden Treibhausgasrechner könnten sich auch für einzelbetriebliche Tests auf bayerischen Betrieben eignen, da sie unter relativ gut vergleichbaren Rahmenbedingungen entwickelt wurden:

- ACCT (AgriClimateChange Tool):
<https://extranet.solagro.org/extranet/modules/ghgprofile.php>
- Energie- und Klimacheck für Landwirte Schweiz: <http://www.energie-klimacheck.ch/>

Genauere Analysen für bayerische Betriebe werden an der LfL durchgeführt (siehe Beitrag von Monika Zehetmeier in diesem Heft).

Unabhängig von der Komplexität lassen sich die Maßnahmen in einer Liste von Handlungsoptionen pro Betriebszweig zusammenfassen, die in quasi allen Treibhausgasrechnern verwendet werden. Diese Liste umfasst sichere Win-Win Optionen, die sowohl Klimaschutz bewirken, als auch Kosten sparen oder mit kurzfristig amortisierten überschaubaren Investitionen verbunden sind. Die Kunst ist, die betriebstypischen Optimierungspotenziale zu finden, die oft eher organisatorischer als technischer Natur sind. So lassen sich Kosten und Treibhausgase reduzieren. Praxiserfahrungen in der einzelbetrieblichen Beratung in der Schweiz und im europäischen Projekt AgriClimateChange (<https://agriadapt.eu/mitigation-farming-sector/?lang=de>) berichten von betrieblichen Emissionsminderungen zwischen 10 und 40 Prozent durch diese Maßnahmen. Diese Potenziale lassen sich am besten durch gemeinsame Diskussionen in Akteursgruppen oder gezielte einzelbetriebliche Beratung mobilisieren, die in verschiedenen Bundesländern wie Niedersachsen (siehe Beitrag von Ansgar Lasar in diesem Heft) bereits gefördert werden.

Eine einzelbetriebliche Beratung zur Anpassung an den Klimawandel ist noch nicht auf dem Markt, wird aber derzeit im Projekt AgriAdapt (<https://agriadapt.eu/?lang=de>) entwickelt.

Tab. 1 listet die wichtigsten Maßnahmen auf, die in verschiedenen europäischen Treibhausgasrechnern genannt werden und ordnet sie im Hinblick auf Klimaschutz und Anpassung ein. Die Tabelle ist keinesfalls so gedacht, dass alle Maßnahmen gleichzeitig durchgeführt werden können – vielmehr gibt es Doppelungen in der Wirkung. Die Tabelle soll die Breite und Vielfalt der Ansatzpunkte im Sinne einer Menüauswahl demonstrieren.

Tab. 1: Betriebliche Maßnahmenoptionen für Klimaschutz und Klimaanpassung in europäischen Treibhausgasrechnern

Acker- und Futterbau, Grünland		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
Mineraldüngung: Detaillierte NPK Düngeplanung, mindestens jährliche Nährstoffanalysen, realistische Ertragsserwartungen	Minderung von N ₂ O und NH ₃ aus der Düngung, Minderung von Nitratausträgen durch erhöhte N-Effizienz, weniger Energieverbrauch durch geringere Mineraldüngerherstellung	Kostenersparnis bei Ertragsrisiken
Organische Düngung mit Nährstoffanalysen, Injektion/sofortige Einarbeitung oder Schleppschuh	Minderung von N ₂ O und NH ₃ aus der Düngung, Minderung von Nitratausträgen durch erhöhte N-Effizienz, Kostenersparnis durch geringeren Mineraldüngungsbedarf	Anpassung an mögliche Starkregen: Dünger bleibt im Boden und wird nicht abgeschwemmt
Agroforst (Mehrzweck), Hecken, Landschaftselemente	Kohlenstoffspeicherung	Windschutz, verringert Verdunstung
Standortangepasste, stressresistente Kulturen und Sorten	Nährstoffeffizienz durch stabile Erträge	Stabile Erträge trotz häufigerer ungünstiger Witterung
Wasserspeicherung im Boden und in der Fläche durch gute Bodenstruktur und Bodenbedeckung (z.B. Mulch)	Nährstoffeffizienz durch stabile Erträge	Stabile Erträge trotz häufigerer ungünstiger Witterung
Humusaufbau (z.B. Kompost) bei gleichzeitig jährlichen Nährstoffuntersuchungen im Boden	Kohlenstoffspeicherung	Bodenverbesserung, reduzierte Verdunstung
Teilschlagspezifische Düngung/Precision farming	Erhöhte Düngeeffizienz	
Luzerne/Kleegras in der Fruchtfolge	Emissionsarme Stickstoffdüngung durch biologische N-Fixierung	Bodenverbesserung, weniger Abhängigkeit von volatilen Mineraldüngermärkten, Erosionsschutz
Permakultur/ganzjährige Bodenbedeckung mit Untersaaten etc.	Kohlenstoffspeicherung	Bodenverbesserung, reduzierte Verdunstung, Erosionsschutz
Tiefwurzler	Kohlenstoffspeicherung im Unterboden, wo er besonders lange bleibt	Bodenverbesserung, Trockenstressresistenz
Direktsaat	reduzierter Kraftstoffeinsatz	Bodenverbesserung, reduzierte Verdunstung
Mehrkulturensysteme: Mischungen, lange Fruchtfolgen	Nährstoffeffizienz durch stabile Erträge	geringeres Ertragsrisiko
Mehrjährige Kulturen	Kohlenstoffspeicherung	Bodenschutz
Zwischenfrüchte ohne N-Düngung	reduziert N-Auswaschung	Erosionsschutz, speichert Wasser, verbessert Boden
Reduzierte Saatkichte im Getreide	reduziert Saatgut, Fungizide, N-Dünger	höhere Trockenstresstoleranz?

Acker- und Futterbau, Grünland		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
Effiziente Bewässerung: Sensor-Steuerung, Fokus auf wenig bewässerungsbedürftige Kulturen, Unterflur-, Tropfenbewässerung	nur, wenn der Energie- und Wassereinsatz pro Ertrag geringer ist als ohne Bewässerung	Ertragssicherheit

Wirtschaftsdünger		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
Wirtschaftsdüngermanagement: bodennahe Ausbringung, bei kühlen, windstillen Verhältnissen auf saugfähige Böden	Nährstoffeffizienz, geringe NH ₃ -Emissionen	
Güllegrube abdecken	Geringe NH ₃ , N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen, Nährstoffeffizienz	

Gebäude		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
Holzstall	Nachwachsende Rohstoffe	Gutes Stallklima
Smarte Solarnutzung (Strom, Wärme)	Erneuerbare Energien	Einkommensdiversifizierung, stabiles Nebeneinkommen
Biogas oder sonstige Fermentation nur aus Wirtschaftsdüngern und Reststoffen	Erneuerbare Energien	
Photovoltaik-Anlage	Erneuerbare Energien	
eigene Holzenergie	Erneuerbare Energien	
Gründach	Gute Isolation, geringerer Energiebedarf	Kühlung im Sommer, natürliche Klimatisierung
Smarte Konzepte für Solar-PV und Solarthermie, betriebliche Energiespar- und Erneuerbare-Konzepte	Erneuerbare Energien	Einkommensdiversifizierung, Unabhängigkeit von volatilen Energiepreisen
LED Lichter	Energieeffizienz	

Maschinen		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
Eco-Drive: Kraftstoff in Maschinen sparen durch Technik, Fahrtraining, Wartung	Energieeffizienz	
Eco-Drive: treibstoffsparende Bodenbearbeitung		

Moorstandorte		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
Nasse Nutzung von Moorböden/Paludikulturen	Hoher Klimaschutz durch verringerten Torfschwund	Dauerhafte Nutzbarkeit der Fläche, Wasserspeicherung für trockene Phasen
Geregeltes Wassermanagement mit moorschonenden Stauzielen		
Nässe-angepasste Kulturen/Sorten/Grünland und Technik		

Rinder		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
Sehr hohe Tiergesundheit, geringe Mortalität	Treibhausgas-effiziente Produktion durch relativ geringe CH ₄ -Emissionen für Nachzucht und Erhaltungsbedarf	Gute Leistung auch bei Hitze
Hohe Leistung aus Gras bei Rindern (Milch, Gewichtszunahme)		
Lebenstagesleistung Milchkühe		
Lebensleistung Mutterkühe		
Lebensleistung Mastrinder		
Frühes Erstkalbealter		
hohe Abkalbungsrate		
Standortangepasste, stressresistente Tierarten und Rassen		
Nährstoffanalysen in Heu und Silage	Nährstoffeffizienz	
Lange Weidezeit, möglichst Vollweide	Nährstoffeffizienz, keine Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager	
Winterabkalbung für frühe Weide		
Kurzrasenweide		
Wärmenutzung Milchkühlung	Energieeffizienz	
Energieeffiziente Kühlung		
N-Überschuss-Kontrolle, z.B. Milchharnstoff als N-Indikator	Nährstoffeffizienz in der Fütterung	
N-reduzierte Fütterung mit Eigenmischung		

Schweine und Geflügel		
Maßnahme	Klimaschutzwirkung	Anpassungswirkung
N-optimierte Phasenfütterung	Nährstoffeffizienz	
Energieeffizienz in geschlossenen Ställen	Energieeffizienz	
Isolierung der Ferkelnester		

Für viele der in Tab. 1 aufgezählten Handlungsoptionen stehen Fördergelder zur Verfügung.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Wetterdienst (2017) Deutscher Klimaatlas.
<http://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklimaatlas/deutscherklimaatlas.html>,
 bzw. http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html,
 aufgerufen am 09.10.2017
- [2] Gömann, H., Bender, A., Bolte, A., Dirksmeyer, W., Englert, H., Feil, J.-H., Frühauf, C., Hauschild, M., Kregel, S., Lilienthal, H., Löpmeier, F.-J., Müller, J., Mußhoff, O., Natkhin, M., Offermann, F., Seidel, P., Schmidt, M., Seintsch, B., Steidl, J., Strohm, K., Zimmer, Y. (2015) Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Thünen-Report 30.
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016): Klimaschutzplan 2050. Kabinettsbeschluss vom 14. November 2016.
<https://www.bmub.bund.de/publikation/klimaschutzplan-2050-klimaschutzpolitische-grundsätze-und-ziele-der-bundesregierung/>
- [4] Umweltbundesamt (2017): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015. Climate Change 13/2017, April 2017.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-2>
- [5] Kätsch S., Osterburg, B. (2016): Treibhausgasrechner in der Landwirtschaft – Erfahrungen und Perspektiven. Landbauforschung Appl Agric Forestry Res 1 2016 (66): 29-44, DOI:10.3220/LBF1456905354000.

Klimaschutz durch Humusaufbau – Umsetzungsmöglichkeiten der 4 Promille-Initiative in Bayern

Martin Wiesmeier, Johannes Burmeister, Melanie Treisch, Robert Brandhuber

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau,
Bodenkultur und Ressourcenschutz

Zusammenfassung

Humusaufbau in landwirtschaftlich genutzten Böden könnte einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Im Zuge der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 wurde ein globales Programm zum Humusaufbau gestartet, die 4-Promille-Initiative, die eine jährliche Erhöhung der globalen Bodenkohlenstoff-Vorräte (SOC) um 4 Promille vorsieht, wodurch anthropogene CO₂-Emissionen nahezu ausgeglichen werden könnten. In dieser Studie wurde das Gesamtpotential des Humusaufbaus in landwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns analysiert. Eine Abschätzung des SOC-Speicherpotentials zeigte, dass die Böden Bayerns nur zu 50 % gesättigt sind und daher ein großes C-Speicherpotential besitzen. Um die 4-Promille-Zielvorgabe für Bayern abzuleiten, wurde anhand von 786 Bodenprofilen eine SOC-Karte für Bayern erstellt. Derzeit sind in landwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns etwa 276 Mt C festgelegt, womit sich ein Zielwert eines jährlichen Humusaufbaus von 1,1 Mt C ergibt. Eine Analyse des Potentials verschiedener Maßnahmen zum Humusaufbau basierend auf Literatur- und InVeKoS-Daten für das Bezugsjahr 2015 zeigte jedoch, dass das 4-Promille-Ziel nicht erreicht werden kann. Das geschätzte Gesamtpotential der untersuchten Szenarien (Zwischenfruchtanbau, verbesserte Fruchtfolgen, Ökolandbau, Agroforstwirtschaft, Umwandlung Acker- zu Grünland) von jährlich 0,37 Mt C entspricht nur etwa 30 % der Zielvorgabe. Das geschätzte Humusaufbaupotential ist trotzdem beträchtlich und kann über Jahrzehnte einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz leisten. Zudem ist ein Anstieg der Humusvorräte auch mit anderen Vorteilen verbunden wie einer erhöhten Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherkapazität, einer verbesserten Bodenstruktur, eines verringerten Erosionsrisikos, verringerten Dünge- und Treibstoffkosten und letztendlich einer erhöhten Agrarproduktivität.

1 Das 4 Promille-Konzept: Ein globale Initiative zum Humusaufbau

Die organische Bodensubstanz (Humus) ist nicht nur eine entscheidende Komponente für die Fruchtbarkeit und Produktivität von Böden, sondern als größter terrestrischer Kohlenstoff (C)-Pool auch im Kontext des Klimawandels von herausragender Bedeutung. Die Böden der Welt speichern gegenwärtig ca. 1.460 Milliarden Tonnen organischen Kohlenstoff (SOC) und übertreffen damit die C-Menge der Atmosphäre um das Doppelte [1]. Landwirtschaftlich genutzte Böden besitzen aufgrund beträchtlicher bewirtschaftungsbedingter C-Verluste ein großes Potential zum gezielten Aufbau von Humus durch ein verbessertes Bodenmanagement. Die dabei festgelegte Menge atmosphärischen Kohlenstoffs (C-Sequestrierung) könnte einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Vielverspre-

chende Maßnahmen bezüglich eines Humusaufbaus in landwirtschaftlich genutzten Böden sind eine verstärkte Einarbeitung von Ernterückständen, optimierte Fruchtfolgen, angepasste Bodenbearbeitung, ökologischer Landbau, Dauerkulturen, Agroforstwirtschaft, Einsatz von Biokohle, ein verbessertes Management bzw. die Wiedervernässung von Mooren, ein verbessertes Weidemanagement und die Umwandlung von Acker- zu Grünland [2, 3].

Angesichts des potentiell großen Beitrags eines Humusaufbaus zum Klimaschutz wurde bei der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 ein globales Programm zum Humusaufbau gestartet, die 4-Promille-Initiative (www.4p1000.org). Die Initiative beruht auf der Annahme, dass durch eine jährliche Erhöhung der globalen SOC-Vorräte in den obersten 40 cm der Böden um 4 Promille durch ein verbessertes Bodenmanagement die anthropogenen CO₂-Emissionen ausgeglichen werden könnten. Für eine praktische Umsetzung dieses ambitionierten Vorhabens sind Machbarkeitsstudien auf regionaler Ebene notwendig [4, 5]. In dieser Studie wurde das Gesamtpotential des Humusaufbaus in landwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns analysiert. Ausgehend von einer Abschätzung des C-Speicherpotentials der Böden Bayerns erfolgte zunächst eine Quantifizierung der vorhandenen SOC-Vorräte der obersten 40 cm zur Ableitung der 4-Promille-Zielvorgabe für Bayern. Anhand von InVeKoS- und Literaturdaten erfolgte darauf eine Abschätzung des C-Sequestrierungspotentials durch verschiedene Maßnahmen mit einem konkreten Flächenbezug.

2 Speicherpotential für Bodenkohlenstoff in Bayern

Das Potential von Böden, Kohlenstoff langfristig zu speichern, ist begrenzt. Zahlreiche Studien zeigten, dass ein Anstieg der SOC-Vorräte infolge eines verbesserten Managements nach einem gewissen Zeitraum ein neues Gleichgewicht erreicht und somit eine potentielle C-Sättigung von Böden existiert [6, 7]. Dies geht auf das begrenzte Potential von Böden zurück, Humus gegenüber dem mikrobiellen Abbau zu stabilisieren [8]. In Böden der gemäßigten Breiten ist der quantitativ wichtigste Stabilisierungsprozess die Assoziation der organischen Substanz mit mineralischen Oberflächen (Ton-Humus-Komplexe), worauf ein starker Zusammenhang zwischen den SOC-Vorräten und dem Schluff- und Tongehalt hindeutet [9]. Auf Grundlage eines globalen Datensatzes wurde ein Modell zur Ableitung der SOC-Speicherkapazität von Böden entwickelt, das auf den Anteil von Schluff- und Tonpartikeln (Fraktion <20 µm) beruht [10]. Die Differenz zwischen der potentiellen OC-Sättigung der Fraktion <20 µm und dem aktuell gemessenen C-Gehalt dieser Fraktion entspricht dem C-Sequestrierungspotential (C-Sättigungsdefizit) eines Bodens.

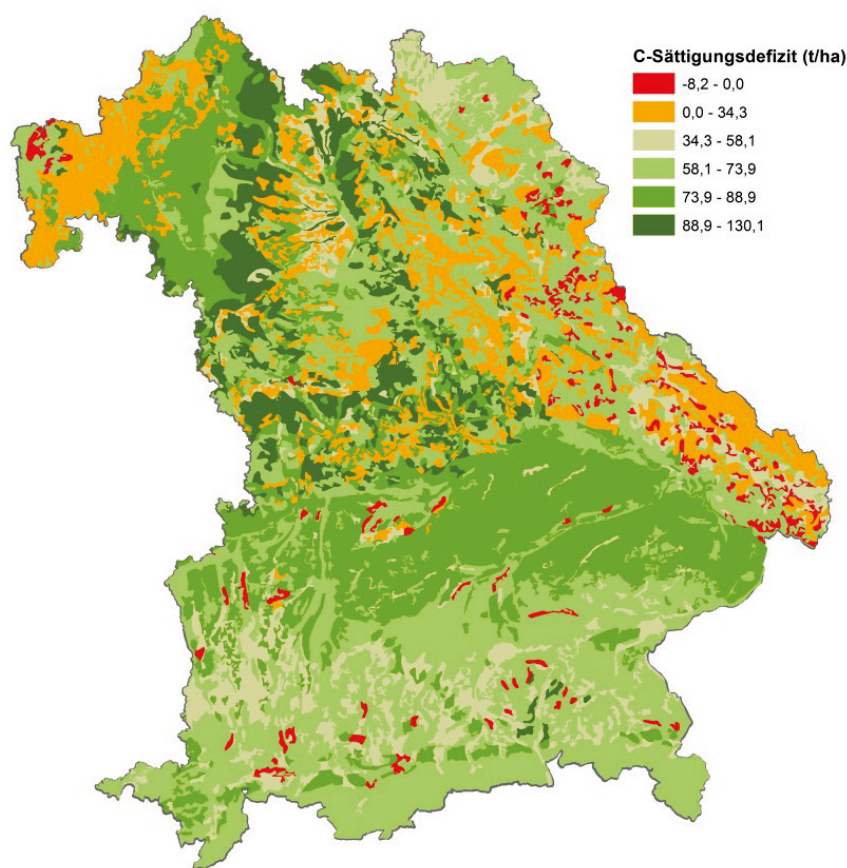


Abb. 1: Das C-Speicherpotential der Böden Bayerns

Für eine Abschätzung, wieviel C die Böden Bayerns zusätzlich zu den vorhandenen SOC-Vorräten speichern können, wurde das C-Sättigungsdefizit für 95 ausgewählte Standorte bestimmt, die die wichtigsten Bodenformen in Bayern unter den jeweiligen Hauptlandnutzungen repräsentieren (Abb. 1); für weitere Informationen siehe [11]). Die Ergebnisse zeigten, dass Ackerböden im Mittel nur zu 50 % C-gesättigt sind, für Grünlandböden ergab sich eine deutlich höhere mittlere C-Sättigung von 73 %. Das C-Sättigungsdefizit ist dabei stark vom Schluff- und Tonanteil abhängig: sandige Böden wie beispielsweise in Unterfranken besitzen ein weitaus geringeres C-Speicherpotential als Böden mit höherem Feinanteil. Grundsätzlich besteht allerdings in nahezu allen Regionen Bayerns ein relativ hohes C-Speicherpotential in Ackerböden, so dass vermutlich über viele Jahrzehnte hinweg Humus effizient aufgebaut werden könnte. Insgesamt könnten landwirtschaftlich genutzte Böden Bayerns zusätzlich 108 Mt SOC speichern, was 395 Mt CO₂-Äquivalenten entspricht, mehr als der vierfachen Menge der jährlichen Treibhausgasemissionen Bayerns von 97,6 Mt CO₂-Äquivalenten (Stand 2013, [12]). Bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche Bayerns könnten im Mittel etwa 35 t C pro Hektar gespeichert werden, was die jährlichen C-Akkumulationsraten verschiedener Maßnahmen zum Humusaufbau um einen Faktor von 50-220 übersteigt (siehe Tab. 3). Allerdings ist anzunehmen, dass sich bereits vor Erreichen des maximalen C-Speicherpotentials ein neues SOC-Gleichgewicht einstellt.

3 Wieviel Kohlenstoff ist vorhanden? Eine Humuskarte für Bayern

Für die Berechnung des 4-Promille-Ziels in Bayern wurde eine Karte der SOC-Vorräte in landwirtschaftlich genutzten Böden für die am stärksten durch Bewirtschaftung beeinflussbaren oberen 40 cm des Bodens im Raster von einem Hektar erstellt (Abb. 2). Als Grundlage diente ein Datensatz aus Klimadaten, topographischen Daten und Bodenkarten (verwendete Merkmale siehe Tab. 1).

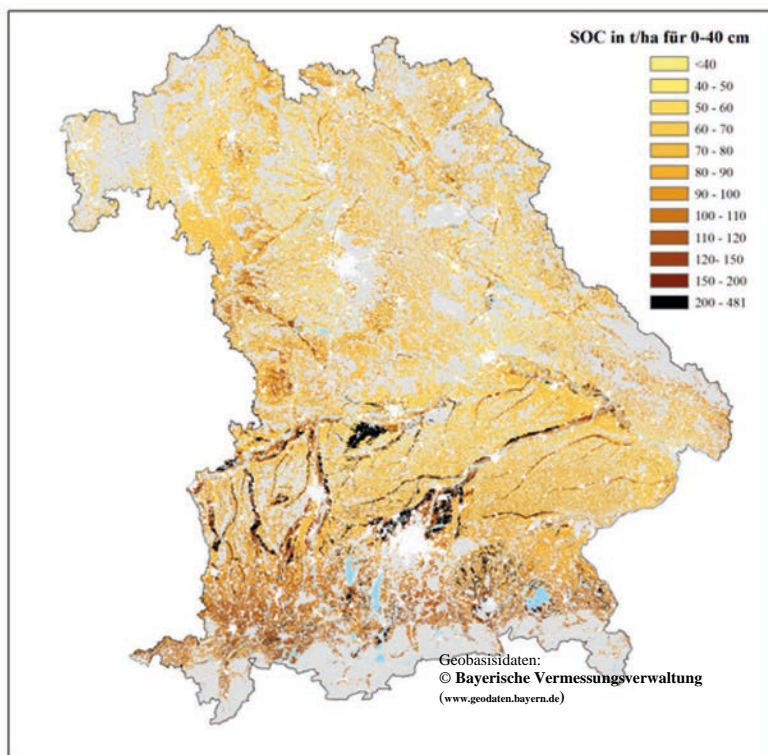


Abb. 2: SOC-Vorräte (0-40 cm) in landwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns

Zur Modellbildung wurden die organischen Kohlenstoffvorräte von 786 Bodenprofilen aus Bayern verwendet. Der Großteil (637 Profile) stammte hierbei aus dem GRABEN-Projekt des Bayerischen Landesamts für Umwelt [13]. Mit Hilfe von einer Vielzahl von Entscheidungsbäumen, die hinsichtlich des verwendeten Datensatzes und Erklärungsvariablen unterschiedlich aufgebaut sind (Random Forest für Mittelwert-Vorhersage), wurden die Kohlenstoffvorräte als Grundlage zur Abschätzung des 4-Promille-Ziels für Bayern berechnet.

Tab. 2: Parameter für die Modellbildung (geordnet nach Reduktion der mittleren quadratischen Abweichung)

Parameter	Quelle/Grundlage
Bodenart	Bodenschätzung (Bayerische Vermessungsverwaltung)
Bodentyp	Übersichtsbodenkarte - ÜBK 25 (Bayerisches Landesamt für Umwelt)
Kulturart (naturgemäße Nutzung)	Bodenschätzung (Bayerische Vermessungsverwaltung)
Höhe ü. NN	DGM25 (Bayerische Vermessungsverwaltung)
Mittlerer Jahresniederschlag	Deutscher Wetterdienst
Klimatische Wasserbilanz	Deutscher Wetterdienst
Topographischer Feuchte Index	DGM25 (Bayerische Vermessungsverwaltung)
Hangneigung	DGM25 (Bayerische Vermessungsverwaltung)
Mittlere Jahrestemperatur	Deutscher Wetterdienst
Physiologische Gründigkeit	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Länge der Vegetationszeit	Deutscher Wetterdienst
Anzahl Frosttage	Deutscher Wetterdienst
Nutzung aktuell	Tatsächliche Nutzung (Bayerische Vermessungsverwaltung)
Boden- bzw. Grünlandgrundzahl	Bodenschätzung (Bayerische Vermessungsverwaltung)

In Bayern speichern landwirtschaftlich genutzte Böden in den oberen 40 cm etwa 276 Mt SOC (siehe Tab. 2). Hierbei spielen Moor-, Auen- und Gleyböden mit etwa 84 Mt bei einem Flächenanteil von 18 % eine wichtige Rolle. Allerdings sind hier auch die Unsicherheiten des Modells am größten. Neben den Niedermooren im Bereich der Münchener Schotterebene, der Donau, dem Voralpenland, den Niederungen der Isar und anderer Flüsse, fallen höhere mittlere Vorräte im Grünlandgürtel Südbayerns auf. Eher geringere SOC-Vorräte sind für die Böden im äußersten Nordwesten Bayerns zu erwarten. Für Bayern ergibt sich anhand dieser Abschätzung ein 4-Promille-Zielwert bezüglich der festzulegenden C-Gesamtmenge von 1,1 Mt ($0,36 \text{ t ha}^{-1}$) pro Jahr.

Tab. 3: Geschätzte SOC-Vorräte in den oberen 40 cm nach Nutzungstypen für Bayern

	Acker	Grünland	Dauerkultur
Vorrat für Bayern (Mt)	158	117	1,5
Mittlerer Vorrat (t/ha)	78	111	71
Fläche (km ²)	20.135	10.596	214

4 Möglichkeiten und Potentiale des Humusaufbaus

Schlaggenaue Informationen zum aktuellen Management landwirtschaftlich genutzter Böden sind eine Grundvoraussetzung, um verschiedene Szenarien hinsichtlich des Humusaufbaupotentials für Bayern zu entwickeln. Dabei wurden folgende vielversprechende

Maßnahmen für einen effizienten Humusaufbau integriert: Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus, verbesserte Fruchtfolgen, Ausweitung des Ökolandbaus, Implementierung von Agroforstsystemen und Umwandlung von Acker- zu Grünland. Für eine Abschätzung des Humusaufbaupotentials dieser Maßnahmen wurden Literaturdaten herangezogen und mittlere jährliche C-Sequestrierungsraten errechnet (siehe Tab. 3). Diese lagen im Mittel bei $0,43 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ und damit über dem für Bayern ermittelten 4-Promille-Zielwert von $0,36 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Tab. 4: Mittlere C-Sequestrierungsraten für verschiedene Maßnahmen zum Humusaufbau in landwirtschaftlich genutzten Böden (\pm Standardabweichung)

Maßnahme	C-Sequestrierungsrate ^a ($\text{t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)
Zwischenfrucht	$0,32 \pm 0,08$
Verbesserte Fruchtfolge	$0,16 \pm 0,05$
Ökolandbau	$0,27 \pm 0,37$
Umwandlung Acker- zu Grünland	$0,73 \pm 0,17$
Agroforstwirtschaft	$0,68 \pm 0,30$

^aDaten aus: [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]

Mit Hilfe von InVeKoS-Daten aus den Jahren 2012 bis 2015 wurde schlaggenau für Bayern die Acker- und Grünlandfläche, Flächen unter konventionellem und ökologischem Landbau, Flächen mit und ohne Winterzwischenfrucht sowie Flächen mit engen und weiten Fruchtfolgen identifiziert (für Details der GIS-Analysen siehe [24]). Auf Grundlage dieser Informationen wurde für das Bezugsjahr 2015 das C-Sequestrierungspotential folgender Szenarien berechnet:

1. *Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus:* im Jahr 2015 wiesen 12 % der Ackerfläche Bayerns (247.677 ha) eine Winterzwischenfrucht auf. Unter Berücksichtigung der Fruchtfolgen mit Winterkulturen und späten Kulturen könnte der Zwischenfruchtanbau auf zusätzliche 559.000 ha der Ackerfläche (29 %) ausgeweitet und damit insgesamt jährlich $0,18 \pm 0,04$ Mt C festgelegt werden.
2. *Verbesserte Fruchtfolgen:* zwischen 2012 und 2015 wiesen 18 % der Ackerfläche Bayerns (341.609 ha) relativ einseitige Fruchtfolgen auf. Eine Verbesserung dieser Fruchtfolgen durch Integration von humusmehrenden Kulturen wäre mit einer C-Festlegung von $0,05 \pm 0,02$ Mt verbunden.
3. *Ausweitung des Ökolandbaus:* eine Ausweitung von ökologisch bewirtschafteten Flächen von 7 % (Stand 2015) auf 12 %, wie es das Programm „BioRegio Bayern 2020“ vorsieht, würde zu einer jährlichen C-Sequestrierung von $0,04 \pm 0,06$ Mt C in Bayern führen.
4. *Einführung von Agroforstsystemen:* mit einem Umbau zu Agroforstsystemen auf 5 % der Ackerfläche Bayerns (95723 ha) könnten insgesamt $0,07 \pm 0,03$ Mt C pro Jahr aufgebaut werden.

5. *Umwandlung von Acker- zu Grünland*: ein Landnutzungswechsel zu Dauergrünland von 33,96% (Stand 2015) auf 35,63% (Referenzjahr 2003) würde zu einer C-Sequestrierung von jährlich $0,04 \pm 0,01$ Mt führen.

Unter der Annahme, dass sich nur Szenario 5 (Umwandlung zu Grünland) mit den anderen Szenarien auf Ackerflächen gegenseitig ausschließen, könnten in den Böden Bayerns insgesamt etwa $0,37 \pm 0,05$ Mt C pro Jahr festgelegt werden. Dies entspricht lediglich ca. 30 % des 4-Promille-Ziels von 1,1 Mt C. Je nach standortspezifischem C-Speicherpotential (*Abb. 1*) könnten diese Festlegungsraten über mehrere Jahrzehnte aufrechterhalten werden, bevor sich ein neues SOC-Gleichgewicht einstellt

5 Fazit

Landwirtschaftlich genutzte Böden in Bayern besitzen ein großes Potential zusätzlichen Humus langfristig zu speichern, da die Böden im Mittel nur zu etwa 50 % mit C gesättigt sind. Insbesondere schluff- und tonreiche Böden können große C-Mengen aufnehmen, in sandreichen Böden ist das Aufbaupotential deutlich geringer. Bezüglich der 4-Promille-Initiative ergibt sich für Bayern ein Zielwert für einen Humusaufbau von jährlich 1,1 Mt C, was bezogen auf die Fläche $0,35 \text{ t C ha}^{-1}$ entspricht. Eine Analyse des Potentials verschiedener Maßnahmen zum Humusaufbau basierend auf Literatur- und InVeKoS-Daten für das Bezugsjahr 2015 zeigte jedoch, dass das 4-Promille-Ziel nicht erreicht werden kann. Das geschätzte Gesamtpotential der untersuchten Szenarien (Zwischenfruchtanbau, verbesserte Fruchtfolgen, Ökolandbau, Agroforstwirtschaft, Umwandlung Acker- zu Grünland) von jährlich 0,37 Mt C entspricht nur etwa 30 % der Zielvorgabe. Allerdings wurden aufgrund nicht vorhandener belastbarer Datengrundlagen einige potentielle Maßnahmen zum Humusaufbau nicht berücksichtigt, wie z.B. die Ausbringung von Biokohle, eine verstärkte Belassung von Ernterückständen auf Ackerböden und ein verbessertes Management von Grünland und Mooren. Es besteht der Bedarf an weiteren Studien mit für Bayern spezifischen C-Sequestrierungsraten für verschiedene Maßnahmen zum Humusaufbau sowie einer Analyse weiterer (sozio-ökonomischer) Aspekte, wie notwendige Investitionen und Kosten, Konformität und notwendige Anpassungen von Anreizsystemen etc. Ferner gilt es zu beachten, dass vor allem landwirtschaftlich genutzte organische Böden eine Quelle für Treibhausgase darstellen und die diskutierten Maßnahmen hier nur bedingt wirksam sind. Zudem gibt es Hinweise darauf, dass auch mineralische Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im Zuge des Klimawandels einem Humusabbau unterliegen könnten [25]. Trotz der vielen Unsicherheiten dieser Abschätzung scheint ein Humusaufbau, wie er in der 4-Promille –Initiative angestrebt wird, nach der derzeitigen Datenlage als nicht umsetzbar für Bayern. Das geschätzte Humusaufbaupotential ist trotzdem beträchtlich und kann vermutlich über Jahrzehnte einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Zudem ist ein Anstieg der Humusvorräte auch mit anderen Vorteilen verbunden wie einer erhöhten Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherkapazität, einer verbesserten Bodenstruktur, eines verringerten Erosionsrisikos, verringerten Düng- und Treibstoffkosten und letztendlich einer erhöhten Agrarproduktivität.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Scharlemann, J.P.W., Tanner, E.V.J., Hiederer, R., Kapos, V. (2014): Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1), 81-91.
- [2] Freibauer, A., Rounsevell, M.D.A., Smith, P., Verhagen, J. (2004). Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122(1), 1-23.
- [3] Vleeshouwers, L.M. & Verhagen, A., (2002): Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*, 8(6), 519-530.
- [4] Lal, R. (2016): Beyond COP21: Potential and challenges of the "4 per Thousand" initiative. *Journal of Soil and Water Conservation* 71, 20A-25A.
- [5] Minasny, B. et al. (2017): Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292, 59-86.
- [6] Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K.(2002): Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241, 155-176.
- [7] Stewart, C.E., Paustian, K., Conant, R.T., Plante, A.F., Six, J. (2007): Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry* 86, 19-31.
- [8] Baldock, J., Skjemstad, J. (2000): Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry* 31, 697-710.
- [9] von Lützow, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B., Flessa, H. (2006): Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. *European Journal of Soil Science* 57, 426-445.
- [10] Hassink, J. (1997): The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191, 77-87.
- [11] Wiesmeier, M., Hübner, R., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützow, M., Kögel-Knabner, I.(2014): Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Global Change Biology* 20, 653-665.
- [12] Glauber, S.(2016): Treibhausgasemissionen in Bayern. In: *Bayern in Zahlen* 05/2017, 298-308.
- [13] Wiesmeier, M., Spörlein, P., Geuss, U., Hangen, E., Haug, S., Reischl, A., Schilling, B., von Lützow, M., Kögel-Knabner, I. (2012): Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology* 18, 2233-2245.
- [14] Upson, M.A. & Burgess, P.J. (2013): Soil organic carbon and root distribution in a temperate arable agroforestry system. *Plant & Soil*, 373(1-2), 43-58.
- [15] Wotherspoon, A., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Voroney, R.P. (2014): Carbon sequestration potential of five tree species in a 25-year-old temperate

- tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 88(4), 631-643.
- [16] Winans, K.S., Tardif, A.S., Lteif, A.E., Whalen, J.K. (2015): Carbon sequestration potential and cost-benefit analysis of hybrid poplar, grain corn and hay cultivation in southern Quebec, Canada. *Agroforestry Systems*, 89(3), 421-433.
- [17] Cardinael, R., Chevalliera, T., Camboua, A., Berale, C., Barthesa, B.G., Dupraz, C., Duranda, C., Kouakouaa, E., Chenu, C. (2017): Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 236, 243-255.
- [18] Poeplau, C., Don, A. (2015): Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment* 200, 33-41.
- [19] West, T.O., Post, W.M. (2002): Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. *Soil Science Society of America Journal* 66, 1930-1946.
- [20] Lugato, E., Panagos, P., Bampa, F., Jones, A., Montanarella, L. (2014): A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach. *Global Change Biology* 20, 313-326.
- [21] Conant, R.T., Paustian, K., Elliott, E.T. (2001): Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11(2), 343-355.
- [22] Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17, 2415-2427.
- [23] Gattinger, A., Müller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Niggli, U. (2012): Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(44), 18226-18231.
- [24] Sakamoto H, 2017. Carbon sequestration in agricultural soils to mitigate climate change: Potential to implement the 4 per 1000 initiative in Bavaria. Masterarbeit, Technische Universität München.
- [25] Wiesmeier, M., Poeplau, C., Sierra, C., Maier, H., Frühauf, C., Hübner, R., Kühnel, A., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Schilling, B., von Lützow, M., Kögel-Knabner, I. (2016): Projected changes of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. *Scientific Reports*, 6, 32525.

Die Leistungen der Regenwürmer trotz Klimawandel erhalten

Roswitha Walter, Johannes Burmeister, Sebastian Wolfrum, Robert Brandhuber

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau,
Bodenkultur und Ressourcenschutz

Zusammenfassung

Regenwürmer unterstützen viele wichtige Funktionen des Bodens wie eine intakte Bodenstruktur, die Wasserversickerung und den Nährstoffkreislauf. Durch längere und häufigere Trockenperioden können im Zuge des Klimawandels Rückgänge des Regenwurmbestandes und damit auch ihrer Leistungen im Boden auftreten. Um einen funktionsfähigen, biologisch aktiven Boden zu erhalten, bedarf es deshalb im Rahmen des Klimawandels einer verstärkten Anwendung von bodenschonenden Bewirtschaftungsmaßnahmen, die gute Regenwurmpopulationen erhalten, z.B. eine geringere Pflughäufigkeit, eine regelmäßige organische Düngung und den Anbau humusmehrender Kulturen. Ergänzend ist durch innovative Anbausysteme (z.B. Dauerkulturen) und ungenutzte Begleitstrukturen (z.B. Blühflächen) die Vielfalt in der Agrarlandschaft zu erhöhen und das Risiko zu streuen.

1 Leistungen der Regenwürmer und ihr Bestand im Boden landwirtschaftlicher Nutzflächen

Regenwürmer sind besonders für die Landwirtschaft wichtige Nützlinge im Boden, da sie durch ihre vielseitigen Leistungen die Bodenfruchtbarkeit verbessern [1] [2] [3] [4]. Ihre Aktivität fördert die Durchmischung von abgestorbenem organischem Material mit dem Mineralboden, den Aufbau eines stabilen Bodengefüges und leistet einen wichtigen Beitrag zum luft- und wasserführenden Porensystem (*Abb. 1*). Durch die Zerkleinerung und Einmischung von organischer Substanz in den Boden wirken sie zudem positiv auf die Nährstoffnachlieferung ein. Ein guter Regenwurmbestand weist auf einen funktionsfähigen, biologisch aktiven Boden hin. Regenwürmer gelten deshalb als Indikatoren für den Zustand des Ökosystems Boden.

Der Regenwurmbestand von bayerischen Äckern liegt im Mittel bei ca. 124 (Median) Individuen pro Quadratmeter mit 4 bis 5 verschiedenen Arten (*Abb. 2*). Im Grünland ist die Individuendichte der Regenwürmer im Mittel doppelt so hoch und ihre Biomasse etwa dreimal höher als im Acker. Auch die Artenvielfalt ist mit durchschnittlich 6 Regenwurmarten etwas höher.

Verringert sich der Regenwurmbestand im Boden landwirtschaftlicher Nutzflächen durch ein verändertes Klima, z.B. aufgrund häufigerer Hitze- und Trockenperioden, würde sich dies unter Umständen ungünstig auf ihre Leistungen für die Bodenfruchtbarkeit auswirken und könnte schließlich langfristig zu Ertragseinbußen bzw. zu einer geringeren Ertragsstabilität in der Landwirtschaft führen [5]. Somit gilt es frühzeitig durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen mögliche negative Folgen für die Bodenfruchtbarkeit abzumildern bzw. ihnen entgegenzuwirken.



Abb. 1: Leistungen der Regenwürmer am Beispiel zweier gleichermaßen mit Boden, Gülle und Stroh befüllter Terrarien (links mit, rechts ohne Regenwürmer. Nach fünf Monaten war durch die Aktivität von 10 Regenwürmern (anezische und endogäische Arten) das an der Oberfläche ausgebrachte organische Material weitgehend in den Boden eingezogen und luft- und dränfähige Regenwurmröhren geschaffen)

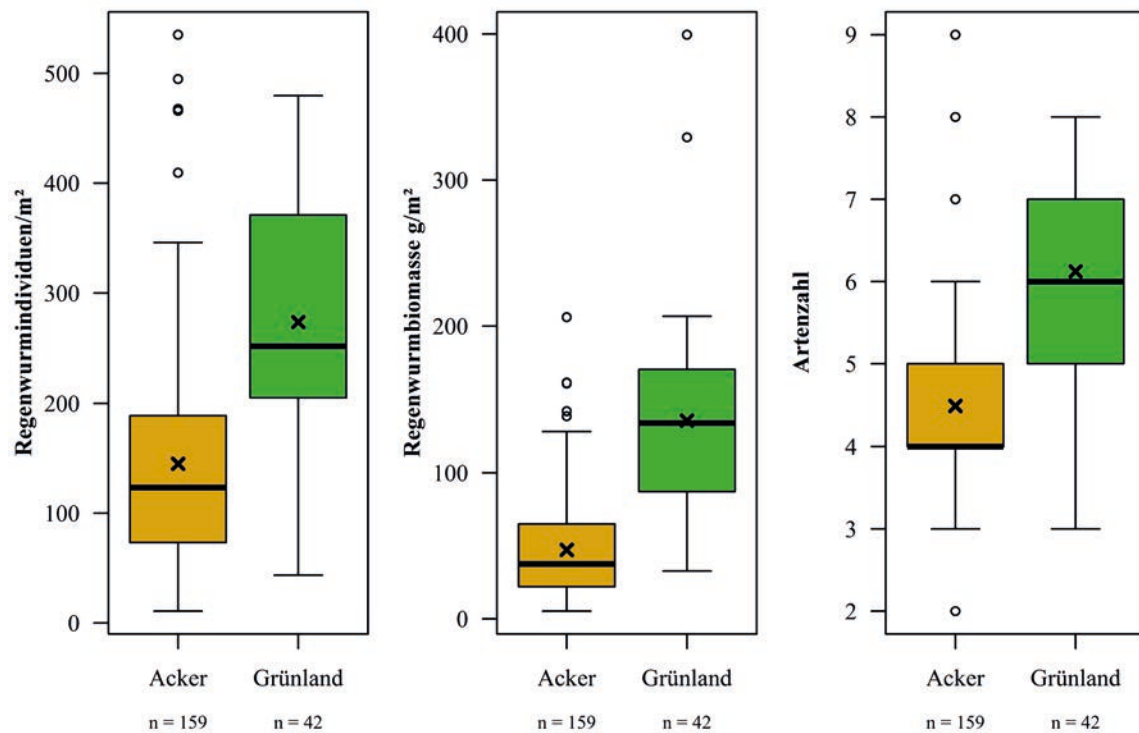





Abb. 2: Durchschnittliche Individuendichte, Biomasse und Artenzahl der Regenwürmer von Acker und Grünland in Bayern (Untersuchungen von 2010 bis 2016, überwiegend Boden-Dauerbeobachtungsflächen, ohne Extremstandorte)

Nicht zu vernachlässigen ist zudem der positive Einfluss eines guten Regenwurmbestandes auf die Biodiversität, da für zahlreiche Tiere in der Agrarlandschaft Regenwürmer eine wichtige Nahrungsgrundlage darstellen. Beispielsweise ernähren sich Laufkäfer (v.a. *Carabus* Arten), Säugetiere (Spitzmäuse, Igel etc.), Vögel (Drosseln, Kiebitze, Weißstörche etc.) und Amphibien von Regenwürmern [6] [7] [3]. Reduziert sich durch den Klimawandel die Regenwurmsiedlungsdichte, würde sich dies auch ungünstig auf die trophisch nachgelagerte Fauna und die oberirdische Biodiversität auswirken.

2 Vielfalt der Regenwürmer und zwei für Deutschland neue Regenwurmart in Bayern entdeckt - Folgen eines Klimawandels?

In Deutschland waren bis vor kurzem 47 Regenwurmart bekannt [8], die entsprechend ihrer Lebensweise meist in streubewohnende, flachgrabende Mineralschichtbewohner und tiefgrabende Arten eingeteilt werden (Tab. 1). Erst vor kurzem gelang bei Kirchweidach im Landkreis Altötting auf landwirtschaftlichen Nutzflächen der Erstdnachweis von zwei weiteren Regenwurmart für Deutschland. Es handelt sich bei *Octodrilus pseudolissaensioides* und *Proctodrilus ophistoductus* um zwei mineralschichtbewohnende Arten. Das nächste bekannte Vorkommen von *Octodrilus pseudolissaensioides* liegt ca. 60 km entfernt in Österreich. Von *Proctodrilus ophistoductus* ist es wahrscheinlich das nordwestlichste, bislang bekannte Vorkommen in Europa (mündl. Mitteilung Norbert Höser). Durch diese Erstfunde erhöht sich die Anzahl der Regenwurmart in Deutschland auf 49.

Tab. 1: Ökologische Gruppen der Regenwürmer ([3], verändert)

 <p style="text-align: center;"><i>Lumbricus castaneus</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Aporrectodea caliginosa</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Lumbricus terrestris</i></p>
<p>Streubewohner epigäische Arten</p>	<p>Flachgräber/ Mineralschichtbewohner endogäische Arten</p>	<p>Tiefgräber anezische Arten</p>
<ul style="list-style-type: none"> • leben oberflächennah in der Streu und Humusauflage • bilden keine oder nur temporäre Röhren 	<ul style="list-style-type: none"> • leben im Mineralboden bis ca. 60 cm Tiefe und graben ständig neue auch horizontale Röhren • tragen zur Feindurchmischung von organischer Substanz mit dem Mineralboden bei 	<ul style="list-style-type: none"> • legen nahezu senkrechte, tief in den Unterboden reichende stabile Röhren an • sammeln organisches Material an der Oberfläche ein, das sie in ihre Röhren ziehen

Sind diese Erstdnachweise eine Folge des Klimawandels? Dies ist letztendlich nicht eindeutig zu beantworten. Die natürliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Regenwürmern ist allerdings gering, durchschnittlich legen sie nur fünf bis zehn Meter pro Jahr zurück [9]. Dies bedeutet, eine Neubesiedlung von Flächen als Reaktion auf sich verändernde Klimabedingungen ist bei dieser Artengruppe ein sehr langsamer Prozess. Zu berücksich-

tigen ist zudem, dass aufgrund der versteckten Lebensweise der Regenwürmer im Boden meist zu wenig über ihre Verbreitung und ihre Ökologie bekannt ist. Daten und Karten zu ihrer aktuellen oder gar historischen Verbreitung existieren nicht.

3 Wie reagieren Regenwürmer auf Klimawandel - welche Anpassungsstrategien besitzen sie?

Die Hauptaktivitätszeit der Regenwürmer liegt im Frühjahr und Herbst bei mäßigen Bodentemperaturen und feuchten Bodenbedingungen. Da sehr langanhaltende kalte Winter zu großen Bestandsverlusten und Populationsschwankungen bei Regenwürmern führen [10], können milde, wärmere Winter als Folge des Klimawandels durchaus positive Auswirkungen auf Regenwürmer haben. Ihre Aktivitätszeit und auch ihr Fortpflanzungszeitraum würden sich mehr in den Winter hinein verschieben. Ob dadurch allerdings ungünstige Folgen durch eine Verkürzung der Übergangsjahreszeiten (Frühjahr und Herbst) aufgefangen werden können ist unklar. Besonders ungünstig für Regenwürmer wären die beim Klimawandel auftretenden sehr langanhaltenden trockenen, heißen Sommer [5]. Dabei würden die Bestandsverluste wahrscheinlich im bereits schon trockenen Franken drastischer ausfallen als in Klimaräumen mit hohen Niederschlagssummen wie im Alpenvorland und im Bayerischen Wald. Somit sind regional unterschiedliche Auswirkungen des Klimawandels wahrscheinlich.

Um unwirtliche Phasen wie z.B. Trocken- und Kälteperioden zu überstehen, besitzen Regenwürmer zahlreiche Anpassungsstrategien. So wandern beispielsweise einige vertikal tiefer in den Boden ab (z.B. tiefgrabende Arten), aber auch physiologische Anpassungsmöglichkeiten sind vorhanden. Das widerstandsfähigste Stadium der Regenwürmer ist das Kokonstadium (*Abb. 3*). Insbesondere die Streubewohner (epigäische Arten) überstehen unwirtliche Phasen in diesem Stadium. Die im Wurzelbereich des Oberbodens lebenden Flachgräber (endogäische Arten) sind in der Lage, bei ungünstigen Bedingungen ihren Stoffwechsel zu drosseln, wozu sich die Tiere in tiefere Bodenschichten zurückziehen, einkringeln und in ein Ruhestadium begeben (*Abb. 4*).



Abb. 3: Aus einem Kokon schlüpfender Regenwurm



Abb. 4: Einkringelter Regenwurm in Diapause

Die Anpassungsstrategien der Regenwürmer sind auch zum Überleben von katastrophalen Ereignissen wichtig, die unter zukünftigen Klimaszenarien vermehrt auftreten können, so

z.B. Überflutungen durch Starkregenereignisse. Beim Junihochwasser 2013 im Raum Deggendorf wiesen bei gleicher Bewirtschaftung vier von fünf überflutete Ackerflächen nach vier Monaten keinen geringeren Regenwurmbestand als nicht überflutete Äcker auf [11]. Regenwürmer überstanden dabei eine einwöchige Überstauung bis zu 2,5 m Höhe. Die über die Haut atmenden Regenwürmer besitzen ein Atmungspigment mit hoher Sauerstoffaffinität, um Sauerstoff auch aus dem Wasser aufnehmen zu können. Besonders kritisch sind dennoch tiefere Mulden, wo das Wasser nicht abfließen kann, sich erwärmt und längere Zeit steht (Abb. 5). Überflutungen können deshalb insbesondere im Sommer, wenn Sauerstoffmangel eintritt, für Regenwürmer daher sehr ungünstig werden [12]. Zu frühzeitiges Befahren von noch nicht ausreichend nach einem Hochwasser abgetrockneten Böden drückt luft- und wasserführende Bodenporen zusammen und verschlechtert ebenfalls die Lebensbedingungen für Bodentiere.



Abb. 5: Gefahren für Regenwürmer nach Überflutungen: Senken und Mulden (links), in denen das Wasser länger steht und Bodenverdichtungen (rechts) durch zu frühes Befahren von feuchten Böden (Junihochwasser 2013, Fotos: H. Heuwinkel)

Generell ist trotz der zahlreichen Anpassungsstrategien der Regenwürmer die Dauer, Häufigkeit und Intensität des Auftretens von ungünstigen Bedingungen entscheidend, die die Überlebenschancen von Bodenorganismen bestimmen. So führte der extrem trockene und heiße Sommer im Jahr 2003 zu starken Populationseinbrüchen der Regenwürmer [5]. Die Regenerationsphase zum Populationsaufbau ist für viele Regenwurmartenspezies ein längerer Prozess, der sich über Jahre hinstreckt. Nur die streubewohnenden Arten können ihren ohnehin schon vergleichsweise kurzen Lebenszyklus durch eine schnellere Reifeentwicklung noch verkürzen [13]. Für viele andere Regenwurmartenspezies würden zwei aufeinanderfolgende extrem heiße und trockene Sommer wie 2003 katastrophale Auswirkungen haben [5].

4 Aufbau stabiler Regenwurmpopulationen – Maßnahmen zur Abpufferung ungünstiger Effekte des Klimawandels

Um ungünstige Auswirkungen des Klimawandels auf Regenwürmer und damit auf die Bodenfruchtbarkeit vorsorglich ab zu puffern, gilt es vermehrt bodenschonende und humusmehrende Bewirtschaftungsweisen in der Praxis anzuwenden. Diese dienen auch dem Aufbau guter und stabiler Regenwurmpopulationen im Boden. Welche Möglichkeiten der Landwirt dabei vor allem im Ackerbau hat, zeigen zahlreiche Untersuchungen.

4.1 Nahrungsangebot steigern – durch organische Düngung und Fruchtfolgegestaltung

Eine wesentliche Voraussetzung, um einen guten Regenwurmbestand im Boden zu erhalten, ist ein gutes Nahrungsangebot mit reichlich abgestorbenem organischen Material. Viele Studien belegen, dass eine organische Düngung im Vergleich zu einer rein mineralischen Düngung den Regenwurmbesatz im Boden fördert (z.B. [14], [15]). In einem Großparzellenversuch in Puch hatten alle organisch gedüngten Varianten nach 3 Jahren eine höhere Siedlungsdichte der Regenwürmer als die rein mineralisch gedüngte Kontrolle (Abb. 6). Die mit Gärrest behandelte Fläche wies eine deutlich geringere Individuendichte auf als die mit Landschaftspflegematerial und Rindergülle gedüngten Flächen. Dies deutet darauf hin, dass auch die Qualität des organischen Düngers eine wichtige Rolle spielt, wie beispielsweise der Gehalt an leicht verfügbaren Kohlenhydraten, der im Gärrest durch den Fermentationsprozess in der Biogasanlage, aber auch im Kompost durch die Humifizierung in der Regel geringer ist als bei Rindergülle oder Landschaftspflegematerial. Wenngleich Kompost für Regenwürmer eine nicht mehr optimale Nahrungsquelle darstellt, verbessert dieser u.a. durch eine hohe Humusreproduktionsleistung das Wasserspeichervermögen der Böden und damit die Lebensbedingungen für Regenwürmer.

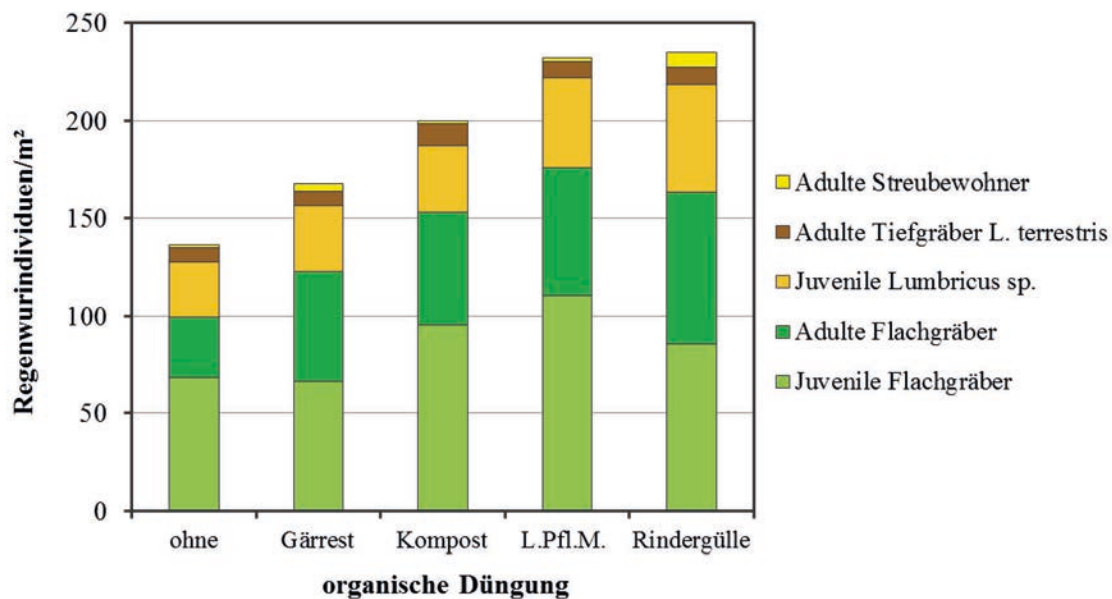


Abb. 6: Siedlungsdichte der Regenwürmer bei unterschiedlicher organischer Düngung auf einem Großparzellenversuch in Puch im Jahr 2014 (Fruchtfolge: Winterweizen/Wintergerste/Raps; L.Pfl.M.: Landschaftspflegematerial)

Der Anbau humusmehrender Kulturen wie Gras-Leguminosen-Gemenge (Klee gras) in einer Fruchtfolge kann die Regenwurmpopulationen aufbauen. Sie führen zur erhöhten Reproduktion bei Regenwürmern, die meist noch deutlich in der Folgekultur zu erkennen ist. So war in einem ökologisch bewirtschafteten Dauerversuch die Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer im Winterweizen nach Klee gras um Faktor 2 signifikant höher als im Winterweizen mit Kartoffel als Vorfrucht (Abb. 7).

Gras-Leguminosengemenge wirken sich nicht nur in Hauptfruchtstellung, sondern auch als Zwischenfrucht günstig auf Regenwürmer aus. Wesentlich ist insgesamt den Regenwürmern ein ausreichendes Nahrungsangebot zur Verfügung zu stellen, z.B. durch eine organische Düngung sowie durch eine reichhaltige, humusmehrende Fruchtfolgegestaltung

und Zwischenfruchtanbau. Vor allem in trockeneren Klimaräumen und auf sandigen Standorten ist dies zum Aufbau stabiler Regenwurmbestände besonders wichtig.

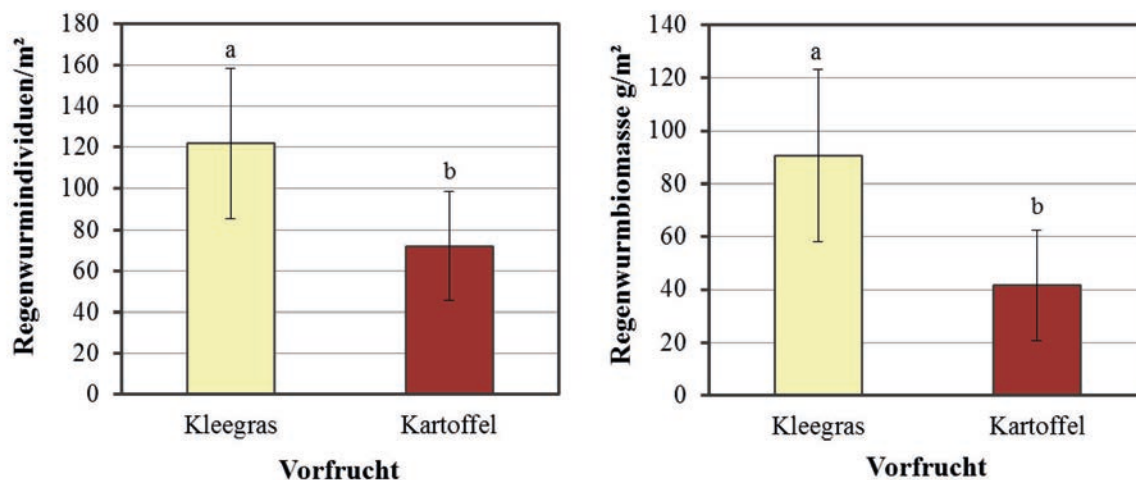


Abb. 7: Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer im Winterweizen in Abhängigkeit unterschiedlicher Vorfrüchte (Kleegrass oder Kartoffel) in einem Dauerversuch in Viehhausen im Mai 2017 (Mittelwerte, $n=6$ mit Standardabweichung, T-Test, $p=0,016$), [16]

4.2 Bodenschonende Bodenbearbeitung durch geringeren Pflugesatz

Die positiven Wirkungen einer nicht wendenden Bodenbearbeitung auf Regenwürmer sind bekannt [17], [18], [19]. Welche Effekte eine teilweise pfluglose Bewirtschaftung hat, zeigen zwei Bodenbearbeitungsversuche bei Donauwörth in einer Körnermais-Winterweizen-Fruchtfolge. Nach 10 Jahren Laufzeit wurden die Bodenbearbeitungsvarianten jährlich pflügen (100 % Pflug), jedes zweite Jahr pflügen (50 % Pflug) und pfluglos (Grubber) verglichen. In einem zweiten, nach 15 jähriger Laufzeit beprobten Versuch, wurde eine Pflugvariante im Abstand von 4 Jahren (25 % Pflug) untersucht.

Während die endogäischen, flachgrabenden Regenwurmarten keine eindeutigen Differenzierungen zwischen einer Bodenbearbeitung mit oder ohne Pflug zeigten, profitierte die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* (Tauwurm) eindeutig von einer pfluglosen Bewirtschaftung mit signifikant höheren Werten sowohl in der Individuenanzahl als auch in ihrer Biomasse (Abb. 8). Wurde nur alle 4 Jahre gepflügt, erreichte die Art Werte wie bei einer pfluglosen Bewirtschaftung. Da die Regenwurmbiomasse ein Indikator für die Leistungen der Regenwürmer im Boden ist, liefert sie wertvolle Hinweise über Bodenstruktur und das luft- und wasserführende Porensystem und damit über wichtige Funktionen des Bodens. Bereits den Abstand des Pflügens auf 2 Jahre auszudehnen, kann wahrscheinlich schon einen Beitrag zur Verbesserung der Bodenfunktionen leisten.

Noch stärker als von einer praxisüblichen Mulchsaat profitieren Regenwürmer von einer Streifenbodenbearbeitung, dem Strip-Till Verfahren, das eine noch geringere Bodenbearbeitungsintensität sowie einen höheren Bodenbedeckungsgrad durch Streu- und Rottematerial aufweist. Daraufhin deutet die im Mittel höhere Individuenanzahl der juvenilen Tiere bei Strip-Till von Praxisversuchen der Südzucker AG in Unterfranken (Abb. 9).

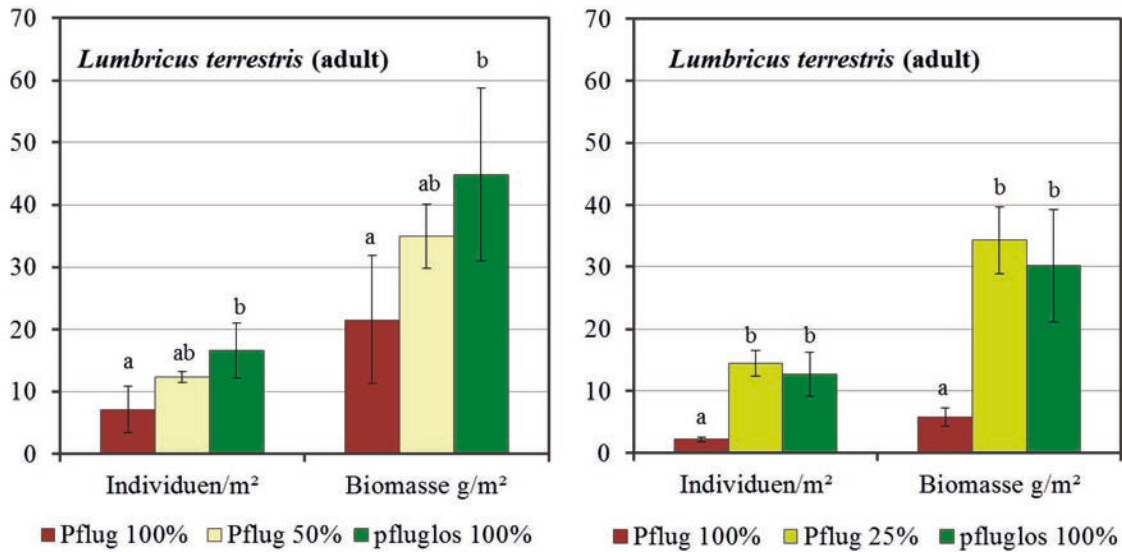


Abb. 8: Durchschnittliche Individuenanzahl und Biomasse der adulten Tiere von *Lumbricus terrestris* im März 2012 in zwei Bodenbearbeitungsversuchen bei Donauwörth mit unterschiedlicher Düngung und Pflughäufigkeit, Grafik links: mit organischer Düngung und Pflugeinsatz jedes 2. Jahr (50 % Pflug), Grafik rechts: ohne organische Düngung und Pflugeinsatz jedes 4. Jahr (25 % Pflug). (Mittelwerte, $n=3$, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Bodenbearbeitungsvarianten, SNK-Test, $\alpha = 0,05$)

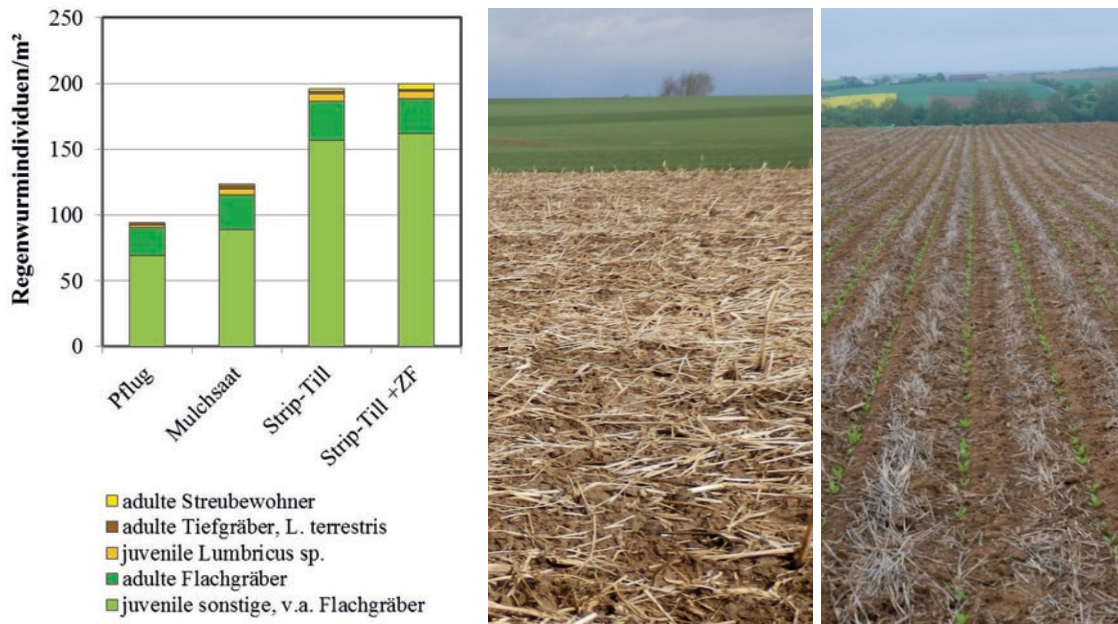


Abb. 9: Durchschnittliche Regenwurmsiedlungsdichte unterschiedlicher Bodenbearbeitungsvarianten von vier Praxisflächen der Südzucker AG (links, + ZF: mit Zwischenfruchtanbau); Mulchsaatverfahren, abgefrorene Zwischenfrucht März 2015 (Mitte); Streifenbodenbearbeitung bei Zuckerrübe Mai 2013 (rechts)

In trockenen Klimaräumen wie in Franken profitieren auch die endogäischen Arten von einer pfluglosen Bodenbearbeitung, wahrscheinlich weil dadurch die Bodenfeuchte- und somit ihre Lebensbedingungen verbessert werden. Um bei einer praxisüblichen Mulchsaat den Regenwurmbestand optimal zu steigern, gilt es insbesondere bei ihrer Ausführung auf einen hohen Anteil an Mulchmaterial an der Bodenoberfläche zu achten.

Unter anderem als Folge einer gezielten Förderung von Mulchsaatverfahren zu Reihenkulturen für den Erosionsschutz ging in Bayern der Einsatz des Pfluges zur Grundbodenbearbeitung in den letzten 30 Jahren zurück. Diese zunehmende pfluglose Bodenbearbeitung führte auch zu einem Anstieg der Individuendichte des tiefgrabenden Tauwurms *Lumbricus terrestris* in Äckern [20]. Für den Bodenschutz wurden also bereits einige positive Erfolge erzielt. Hervorzuheben ist, dass die Häufigkeit der pfluglosen Bodenbearbeitung in Bayern große regionale Unterschiede aufweist. Im trockenen Unterfranken war 2009/2010 der Anteil nicht gepflügter Böden mit 46 % am größten, während in den feuchteren Klimaräumen wie Schwaben, Oberbayern, Niederbayern und in der Oberpfalz weniger als 20 % der Äcker pfluglos bewirtschaftet wurden. Somit wird in Unterfranken, um Wasserverluste aus dem Boden zu vermeiden, bereits vermehrt eine pfluglose Bewirtschaftung angewendet und damit auch ein guter Regenwurmbestand erhalten. Durch eine weitere Reduktion der Pflughäufigkeit kann auf zukünftig auftretende ungünstige Effekte des Klimawandels reagiert und evtl. negative Folgen abgemildert werden.

4.3 Vielfalt in der Agrarlandschaft durch innovative Anbausysteme und ungenutzte Begleitstrukturen erhöhen

Um sich den Herausforderungen des Klimawandels zu stellen, gilt es auch verstärkt innovative Anbauverfahren zu nutzen und durch Diversifizierung das Risiko zu streuen. Beispielsweise können mehrjährige Kulturen wie die Durchwachsene Silphie eine Alternative zu Mais als Energiepflanze sein. Fünf und sieben Jahre alte Flächen mit Durchwachsener Silphie wiesen durch die Bodenruhe und ständige Bodenbedeckung einen höheren Regenwurmbestand als regelmäßig bearbeitete Ackerflächen auf (Abb. 10).

Insbesondere in einer ackerdominierten Agrarlandschaft können ungenutzte Begleitflächen wie mehrere Meter breite Ackerrandstreifen und Säume für Regenwürmer günstige Lebensbedingungen bieten und deren Dichte steigern [9] [21]. Auch eingesäte Blühflächen können diese positive Wirkung erzielen. Eine faunistische Evaluierung von zweijährigen Blühflächen ergab im Mittel über acht Untersuchungsstandorte eine um den Faktor drei höhere Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer in Blühflächen als im Boden der jeweils in praxisüblicher Bewirtschaftung fortgeführten, meist regelmäßig gepflügten, Ackerfläche [22]. Eine permanente Bodenbedeckung durch Dauerkulturen oder ungenutzte Begleitstrukturen bieten den Regenwürmern wahrscheinlich besseren Schutz vor Trockenperioden. So waren in trockenen Sommer die Populationsschwankungen bei Regenwürmern in einer Dauerbrache geringer als im Acker [5]. Vor allem in trockenen Gebieten von Franken sind auch kleinflächig feuchte Senken (evtl. Rückbau von Drainagen) wichtige Rückzugs- und Überlebensinseln bei Trockenstress, die es zu erhalten gilt.

Hervorzuheben ist, dass die höheren Individuendichten von Regenwürmern in Begleitstrukturen wie z.B. in Säumen und Grasstreifen teilweise auch noch mehrere Meter in die angrenzenden Äcker hinein zu beobachten sind [21], [23] und die Regenwürmer somit dort ihren positiven Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit leisten können. Im Rahmen des Klimawandels mit langanhaltenden Trockenperioden kann somit eine Diversifizierung von Anbauverfahren als auch eine reichhaltige Ausstattung der Agrarlandschaft, z.B. mit Feld-

rainen, Grasstreifen, Blühflächen, feuchten Senken zur Erhaltung eines aktiven Bodenlebens in Agrarökosystemen beitragen bzw. ist wahrscheinlich unerlässlich.

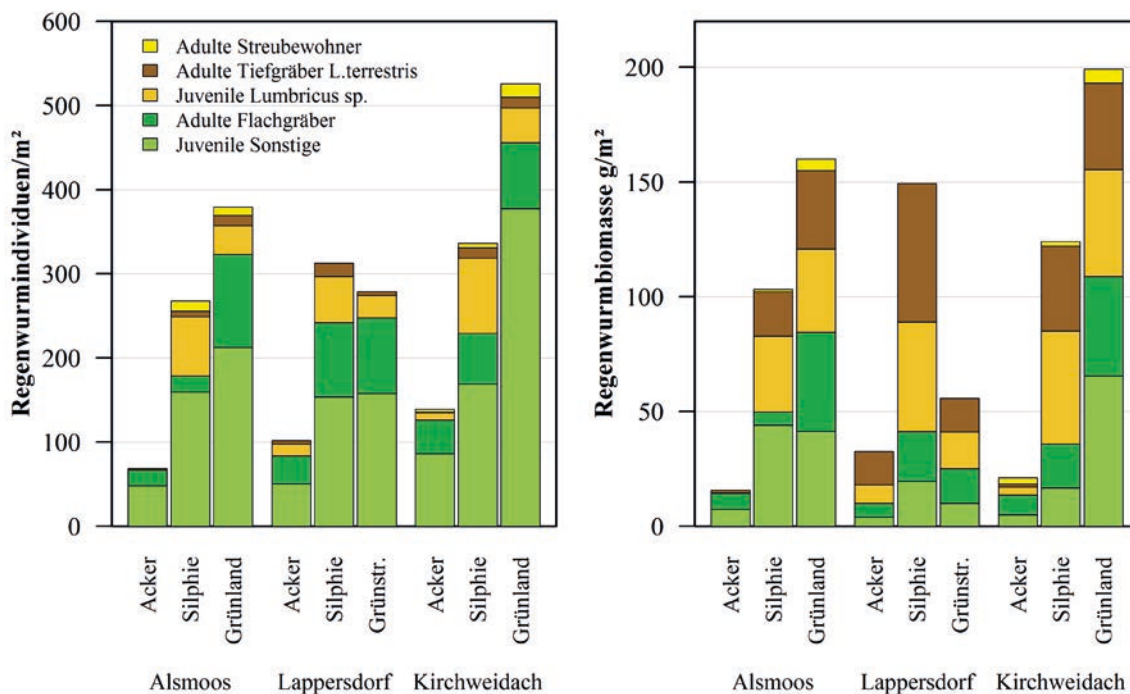


Abb. 10: Siedlungsdichte (links) und Biomasse (rechts) der Regenwürmer auf Flächen von Praxisbetrieben mit Silphie im Vergleich zu Acker und Grünland (in Lappersdorf Grünstreifen für Erosionsschutz)

5 Monitoring des Regenwurmbestandes von Äckern - eine einfache Schnellansprache für den Landwirt

Eine einfache Schnellansprache kann näherungsweise die Regenwurmsiedlungsdichte von Äckern wiedergeben, allerdings nicht ausreichend tiefgrabende Arten und die Artenvielfalt erfassen. Obwohl sie keine exakte Probenahme ersetzt, liefert sie erste Anhaltspunkte über den Zustand des Bodenlebens. So kann der Landwirt die Wirkung unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Regenwürmer in einer ersten Näherung erkennen. Zudem sind ungünstige Entwicklungen im Rahmen eines Klimawandels rechtzeitig feststellbar, um ggf. mit geeigneten Maßnahmen gegensteuern zu können.

Voraussetzungen für die Schnellansprache sind: feuchter Boden, Bodentemperatur zwischen 5 und 15°C, keine raue Furche und 6 Wochen Wartezeit nach der letzten Bodenbearbeitung. Im Frühjahr oder Herbst wird ein Bodenblock von der Länge und Breite eines Spatenblattes (etwa 18 x 18 cm) bis zur Untergrenze des Ap-Horizontes (= Pflugtiefe, meist ca. 30 cm) ausgehoben (Abb. 11). Das Bodenmaterial wird anschließend von Hand zerkrümelt und die darin gefundenen Regenwürmer werden gezählt. Innerhalb einer homogenen Ackerfläche ist diese Spatenmethode ca. 6- bis 10-mal zu wiederholen. Multipliziert man den aus diesen Stichproben gewonnenen Mittelwert mit 30, erhält man die ungefähre Besiedlungsdichte auf einem Quadratmeter. Um ein Mittel von 90 Regenwürmern pro m² zu erreichen sollten demnach durchschnittlich mindestens 3 Individuen pro Spa-

tenprobe gefunden werden. Eine Regenwurmsiedlungsdichte unter 90 Individuen/m² wird auf Äckern bei günstigen Standortbedingungen als Schwelle betrachtet, so dass hier die möglichen Ursachen zu hinterfragen und ggf. Maßnahmen zur Förderung des Bodenlebens zu ergreifen sind.



Abb. 11: Einfache Schnellansprache zur näherungsweise Erfassung des Regenwurmbestandes auf dem Acker

6 Fazit

Um einen funktionsfähigen und biologisch aktiven Boden zu erhalten, bedarf es im Rahmen des Klimawandels einer häufigeren Anwendung von bodenschonenden landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen, die zum Aufbau guter Regenwurmpopulationen führen. Dazu hat der Landwirt zahlreiche Möglichkeiten. z.B.:

- eine regelmäßige organische Düngung
- eine reichhaltige Fruchtfolge mit humusmehrenden Kulturen, v.a. mit Gras-Leguminosengemengen und Zwischenfruchtanbau
- mehr Bodenruhe durch eine Verringerung der Pflughäufigkeit und Anwendung von Mulchsaatverfahren und Strip-Till-Verfahren zu Reihenkulturen
- eine ganzjährige Bodenbedeckung (z.B. durch Mulch, Zwischenfrüchte)
- Vielfalt in der Agrarlandschaft erhöhen durch innovative Anbausysteme (z.B. Dauerkulturen) und Anlage ungenutzter Begleitstrukturen (z.B. Blühflächen, Säume, feuchte Senken)

Wahrscheinlich sind mehrere dieser Maßnahmen umzusetzen, um optimal den Regenwurmbestand im Boden zu erhalten und damit auch die vielseitigen Leistungen der Regenwürmer zur Bodenfruchtbarkeit sowie eine langfristige Ertragsstabilität.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Bieri, M., Cuendet, G. (1989): Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. Schweiz. - Landwirtschaftliche Forschung, Recherche agronomique en Suisse 28(2), 81-96.
- [2] Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D., Brun, J.J. (2013): A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. – European Journal of Soil Science 64, 161-182.
- [3] Dunger, W. (2008): Tiere im Boden. - Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 280 S.
- [4] Ehrmann, O. (2012a): Der unterirdische Mitarbeiterstamm. Bedeutung von Regenwürmern für den Ackerbau. – Landwirtschaft ohne Pflug 11, 25-34.
- [5] Ehrmann, O. (2012b): Auswirkungen des Klimawandels auf die Regenwürmer Baden-Württembergs. - Hrsg. LUBW. 64 S. (aufgerufen am 26.01.2015). <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/101762/U13-M315-N08.pdf?command=downloadContent&filename=U13-M315-N08.pdf>
- [6] Lukasiewicz, J. (1996): Predation by the beetle *Carabus granulatus* (Coleoptera, Carabidae) on soil macrofauna in grassland on drained plots. - *Pedobiologia* 40, 364-376.
- [7] Bauer, H.G., Bezzel, E., Fiedler, W. (2005): Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. - Aula-Verlag, Wiebelsheim, 622 S.
- [8] Lehmitz, R., Römbke, J., Graefe, U., Beylich, A. Krück, S. (2016): Rote Liste und Gesamtartenliste der Regenwürmer (Lumbricidae et Criodrilidae) Deutschlands. - Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (4), 565-590, Hrsg. Bundesamt für Naturschutz Bad Godesberg.
- [9] Ehrmann, O. (1996): Regenwürmer in einigen südwestdeutschen Agrarlandschaften: Vorkommen, Entwicklung bei Nutzungsänderungen und Auswirkungen auf das Bodengefüge. - Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Heft 35, 135 S.
- [10] Timmerman, A., Bos, D., Ouwehand, J., DeGoede, R.G.M. (2006): Long term effects of fertilisation regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. - *Pedobiologia* 50, 427-432.
- [11] Walter, R., Brandhuber, R., Burmeister, J., Müller, C. (2016): Auswirkungen von Überflutungen landwirtschaftlicher Nutzflächen auf Regenwürmer im Boden. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 10/2016. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/auswirkungen-ueberflutungen-landwirtschaftlicher-nutzflaechen-regenwuermer_lfl-schriftenreihe.pdf
- [12] Plum, N. (2005): Terrestrial invertebrates in flooded grassland: A literature review. - *Wetlands* Vol 25, 721-737.
- [13] Klok, C., Plum, N. (2008): Does *Lumbricus rubellus* (Lumbricidae) adapt to flooding in wetlands by early maturation? Support from field data. - *Peckiana* Volume 5, 41-51.

- [14] Burmeister, J., Walter, R., Fritz, M. (2015): Düngung mit Biogasgärresten – Auswirkungen auf Bodentiere. In Biogas Forum Bayern Nr. I-27/2015. ALB Bayern e.V. (Hrsg.) <http://www.biogas-forum-bayern.de/media/files/0001/Auswirkung-der-Dungung-mit-Biogasgärresten-auf-die-Bodentiere.pdf>
- [15] Leroy, B., Schmidt, O., Van den Bossche, A., Reheul, D., Moens, M. (2008): Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia* 52: pp.139-150.
- [16] Mitzdorf, F. (2017): Auswirkungen eines viehhaltenden und viehlosen Betriebsystems und der Vorfrüchte Klee gras und Kartoffel auf die Regenwurmpopulationen in einem ökologischen Fruchtfolgeversuch. Unveröff. Bachelorarbeit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. 39 S. + Anhang
- [17] Capelle v. C., Schrader, S., Brunotte, J., Heinrich, J. (2012): Wie Bodentiere auf unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren reagieren. *Bodenleben erhalten und fördern. – Landwirtschaft ohne Pflug* 1/2, 17-22.
- [18] Johnson-Maynard, J.L., Umiker, K.J., Guy, S.O. (2007): Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. - *Soil and Tillage Research* 94, 338-245.
- [19] Krück, S., Nitzsche, O., Schmidt, W. (2001): Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. - *Landwirtschaft ohne Pflug* 1, 18-21.
- [20] Walter, R., Burmeister, J., Brandhuber, R. (2015): Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden. - In: BMEL und LfL (Hrsg.): Fachtagung: „Jahr des Bodens“ Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärreste – eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit, 13. Kulturlandschaftstag, Tagungsband S. 26-39. http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/jahr-des-bodens-2015_tagung_tagungsband.pdf
- [21] Hof, A.R., Bright, P.W. (2010): The impact of grassy field margins on macroinvertebrate abundance in adjacent arable fields. - *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 280-283.
- [22] Walter, R. (2014): Evaluierung des Regenwurmbestands zweijähriger Blühflächen. In: Wagner, C., Bachl-Staudinger, M., Baumholzer, S., Burmeister, J., Fischer, C., Karl, N., Köppl, A., Volz, H., Walter, R., Wieland, P. (Hrsg.): Faunistische Evaluierung von Blühflächen, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 1/2014, 33-43.
- [23] Smith, J., Potts, S., Eggleton, P. (2008): The value of sown grass margins for enhancing soil macrofaunal biodiversity in arable systems. - *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127, 119-125.

Erosions- und Hochwasserschutz: Chancen durch Ökolandbau

Karin Levin, Robert Brandhuber, Klaus Wiesinger, Annette Freibauer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

Zusammenfassung

Durch den Klimawandel steigt das Risiko für Erosion und Hochwasser. Der ökologische Landbau bietet verschiedene Ansatzpunkte zur Vorsorge. Eine möglichst gute Bodenbedeckung durch diverse Fruchtfolgen, mit einem höheren Anteil an Klee gras und niedrigeren Anteil an Reihenkulturen, ist der wichtigste Faktor. Dazu kommt die regelmäßige Zufuhr von organischem Material. Beide Faktoren fördern das Bodenleben und tragen dazu bei, die Aggregatstabilität im Boden zu erhöhen. Daraus resultieren bessere Infiltrationsraten und ein niedrigerer Bodenabtrag. Quantitative Nachweise dieser Wirkungen werden bis Frühjahr 2018 aus einer weltweiten Literaturstudie vorliegen.

1 Einleitung

Der Klimawandel führt zu höheren Risiken in der Landwirtschaft, da Trockenperioden, Starkregen und Sturzfluten häufiger werden. Umgekehrt können mildere Temperaturen möglicherweise zu veränderten Fruchtfolgen und positiver Ertragswirkung führen. Die Landwirtschaft muss sich an diese neuen Bedingungen durch ein gezieltes Risikomanagement anpassen.

Der ökologische Landbau bietet in diesem Zusammenhang verschiedene Ansatzpunkte zur Anpassung und Vorsorge gegen die Folgen des Klimawandels wie z.B. gegen ein erhöhtes Risiko für Erosion und Hochwasser. Dazu gehören a) eine möglichst gute Bodenbedeckung und Bodenstruktur für den dezentralen Erosions- und Gewässerschutz b) diverse Fruchtfolgen und stresstolerante Anbausysteme (z.B. durch tiefe Wurzeln und Gemenge), sowie c) Low-Input Systeme, die auf Nährstoffrecycling im eigenen Betrieb bauen und damit die finanziellen Verluste im Falle von Produktionsausfällen begrenzen [1]. Ein Bestreben des ökologischen Pflanzenbaus ist, gemäß EU-Öko-Verordnung, die Bodenerosion zu verhindern.

Jedoch gibt es generell wenige Studien über Ökolandbau und Erosion bzw. Hochwasserschutz. Seufert & Ramankutty [2] z.B., in ihrem Review über die Leistungen des Ökolandbaus, nennen nur drei Studien zum Thema Erosion. Als Indikatoren für den Hochwasserschutz werden Daten zu Oberflächenabfluss und Infiltration benutzt. Die Infiltrationsmessung ist sehr zeit- und arbeitsaufwändig, deswegen gibt es kaum Daten dazu [3] und diese Daten haben eine hohe Variabilität [4]. Für mitteleuropäische Bedingungen liegen Daten aus der Bodendauerbeobachtung, dem Erosionsmonitoring und der Praxis vorwiegend als graue Literatur vor. Ziel ist es, Daten in einer Metastudie zu analysieren. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse aus der Literatur zusammengefasst.

2 Material und Methoden

Um die Leistungen des Ökolandbaus im Vergleich zu konventioneller Landwirtschaft im Bereich Erosion und Hochwasserschutz quantitativ auswerten zu können, wird derzeit eine Metastudie durchgeführt. Dafür wird eine Literatursuche in den wissenschaftlichen Datenbanken Web of Science und Scopus mit verschiedenen Keywords (z.B. „erosion“, „runoff“) durchgeführt. Es werden Artikel gesucht, die u.a. folgende Kriterien erfüllen:

- Veröffentlicht im Zeitraum 1990-2017
- Veröffentlichungssprache Deutsch oder Englisch
- Gemäßigte Klimazone (nach Köppen-Geiger [5])
- Mindestens ein paarweiser Vergleich ökologischer Landwirtschaft mit konventioneller Landwirtschaft unter ähnlichen pedoklimatischen Bedingungen
- Datenerhebung für Ökolandbau-Systeme mindestens 2 Jahre nach der Umstellung auf ökologische Landwirtschaft

Aus der wissenschaftlichen Literatur werden Daten zu den Zielgrößen Bodenabtrag, Aggregatstabilität, Oberflächenabfluss, Infiltration, Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor) und Bodenbedeckungs- und -bearbeitungsfaktor (C-Faktor) aus der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung ABAG entnommen.

Zusätzlich werden auch Daten zu Niederschlagsmengen, Bodentextur (Anteil Sand, Schluff und Ton), Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden und Bodenlagerungsdichte aufgenommen. Bisher konnten 27 Studien ausgewertet werden. Da es für die Zielgrößen keine fest standardisierten Methoden gibt, sind die Studien allerdings nicht ohne weiteres vergleichbar. Daher werden die Zielgrößen als relative Unterschiede zwischen ökologischem und konventionellem Landbau dargestellt. Dadurch ergibt sich eine gewisse Normierung im Hinblick auf die Richtung und Größe der Systemeffekte. Nur für die Zielgrößen Aggregatstabilität, Oberflächenabfluss und Bodenabtrag liegen ausreichend Mess- und Modellergebnisse für robuste Aussagen vor.

Geplant ist eine quantitative Analyse der Daten mit dem Metafor Paket in R [6] sowie weitere statistische Analysen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Leistungen des ökologischen Landbaus im Bereich Erosion wurden bereits in regionalen Modellstudien mit der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) [7, 8] eindrucksvoll beschrieben. Diese beiden Studien zeigen, dass in Bayern Ökolandwirte tendenziell Flächen mit steileren Hängen, mehr Niederschlag und eher flachgründigen Böden bewirtschaften. Trotzdem war der beobachtete, gemessene, und modellierte Bodenabtrag niedriger als auf konventionellen Flächen. Die Bodenbedeckung durch die Fruchtfolgegestaltung im Ökolandbau, namentlich der höhere Anteil an Klee gras und niedrigere Anteil an Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben, ist hier der Hauptgrund für die niedrigere Erosion gegenüber der konventionellen Landwirtschaft. Eine Fallstudie aus einem bergigen Gebiet in Südkorea weist auch auf Risiken durch blanken Boden in Reihenkulturen hin, u.a. bei niedrigen Erträgen, betont aber den Erosionsschutz durch Beikräuter [9]. Der Bodenabtrag weist eine inverse Korrelation zur Fruchtfolgevielfalt auf [10]. Bei einer mangelnden Bodenbedeckung kommt es zur Zerschlagung der Bodenaggregate durch Niederschläge und der Boden verschlämmt [11].

Der Kleegrasanbau wirkt aus verschiedenen Gründen erosionsmindernd. Klee gras bedeutet nicht nur eine längere Bodenbedeckungszeit und Bodenruhe, sondern stabilisiert auch den Boden [12]. Das dichte Wurzelnetz des Klee grasses fördert die mikrobielle Aktivität im Boden, Polysaccharide werden produziert. Diese Polysaccharide wirken als Kleber für Bodenaggregate, die dann vom Wurzelnetz des Klee grasses mechanisch umgarnt und stabil gemacht werden [13].

Substanzen, die von den Wurzeln ausgeschieden werden und die Wurzeln selber erhöhen den Anteil der organischen Substanz im Boden [13]. Der Anteil organischer Substanz im Boden ist einer der Haupteinflussfaktoren auf die Erodierbarkeit des Bodens. Die organische Substanz hält Bodenaggregate zusammen, zudem hat sie einen hydrophoben Effekt, der die Aggregate schützt [14]. Auch durch die organische Substanz wird die mikrobielle Biomasse gefördert, so werden Stoffe mit einer klebenden Wirkung produziert [15]. Die organische Substanz wird wiederum in den Aggregaten vor rascher Mineralisierung geschützt [14]. Durch die regelmäßige Zufuhr von organischem Material im Ökolandbau, ob als Gründüngung oder als Wirtschaftsdünger, ist der Anteil an organischer Substanz im Boden tendenziell höher als im konventionellen Landbau [16, 14, 17].

Die höhere Aggregatstabilität durch den höheren Anteil an organischer Substanz schützt den Boden vor Bodenabtrag und Verschlammung. Zum derzeitigen Zwischenstand der Analyse ist in über 80 % der Vergleichsdaten die Aggregatstabilität im ökologischen Landbau höher als im konventionellen Landbau, in den meisten Fällen sogar um mindestens 20 % höher.

Verschlammung verhindert die Infiltration und führt zu einem höheren Oberflächenabtrag. Ein Vergleich von Böden aus ökologischem und konventionellem Management zeigte, dass die Infiltration in den Boden aus ökologischer Landwirtschaft höher war, auf Grund von größeren Poren [18]. Die Lebendverbauung durch Regenwürmer und die Ausbildung von Wurmloosungsgefügen, auch auf der Bodenoberfläche, spielt hierbei eine wichtige Rolle [13, 11, 19]. Regenwürmer werden durch die andauernden Bodenruhe und Bodenbedeckung und des permanenten Nahrungsangebots auf der Bodenoberfläche des Klee grassanbaus gefördert [20], die regelmäßige Zufuhr von organischem Material im Ökolandbau hat die gleiche Wirkung. Ökologisch bewirtschaftete Böden weisen daher eine höhere Regenwurmdichte, Anzahl und Artendiversität auf [19].

Eine höhere Infiltration bedeutet gleichzeitig geringeren Oberflächenabfluss. Zum derzeitigen Zwischenstand der Analyse ist in 80 % der Vergleichsdaten der Oberflächenabfluss aus ökologischem Landbau niedriger als aus konventionellem Landbau, in den meisten Fällen sogar um mindestens 20 % niedriger.

Die Zielgröße Bodenabtrag zeigt, wie gut der Erosionsschutz tatsächlich funktioniert. In dieser Größe aggregieren sich die Effekte des Standorts, der Bewirtschaftung und der Landschaftsstruktur. Alle drei Wirkungsgrößen können durch Systemeffekte des ökologischen Landbaus beeinflusst werden. In zwei Dritteln der Literaturwerte liegt der Bodenabtrag im ökologischen Landbau niedriger als im konventionellen Landbau. Die Bezugsräume, Zeiträume, Wirkungsgrößen und die methodischen Ansätze – Messungen und Modelle – unterscheiden sich aber sehr.

4 Ausblick

Das System ökologischer Landbau bietet zahlreiche Maßnahmen für einen Erosions- und Hochwasserschutz, der gegenüber dem konventionellen Landbau deutlich verbessert ist. Die Fruchtfolge mit Klee gras als zentralem Fruchtfolgeglied und die bewusste Humuswirtschaft sind wesentlich an diesem Erfolg beteiligt. Angesichts der zunehmenden Risiken für Starkregenereignisse lohnt sich der Ökolandbau kurz-, mittel- und langfristig als Risikovorsorge gegen Erosion und für den dezentralen Hochwasserschutz.

Der Beitrag gibt einen qualitativen Ausblick auf quantitative Ergebnisse einer Studie im Rahmen einer bundesweiten Untersuchung zu Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft im Projekt „Förderung des ökologischen Landbaus – Maßnahmen, Strategien und betriebliche Perspektiven“, gefördert von der Bundesanstalt für Lebensmittel und Ernährung im BÖLN-Programm, Förderkennzeichen: 2815OE009, die bis Frühjahr 2018 abgeschlossen sein wird.

5 Literaturverzeichnis

- [1] IFOAM EU Group (2012): Organic Agriculture. A Strategy for Climate Change Adaptation.
- [2] Seufert, V., Ramankutty, N. (2017): Many shades of gray-The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances* 3(3), e1602638. doi:10.1126/sciadv.1602638
- [3] Schnug, E., Haneklaus, S. (2002): Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden - Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz. *Landbauforschung Völkenrode* 52(4), 197-203.
- [4] Hathaway-Jenkins, L.J., Sakrabani, R., Pearce, B., Whitmore, A.P., Godwin, R.J. (2011): A comparison of soil and water properties in organic and conventional farming systems in England. *Soil Use and Management* 27(2), 133-142. doi:10.1111/j.1475-2743.2011.00335.x
- [5] Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3), 259-263. doi:10.1127/0941-2948/2006/0130
- [6] Viechtbauer, W. (2010): Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software* 36(3), 1-48. <http://www.jstatsoft.org/v36/i03/>
- [7] Auerswald, K., Kainz, M., Fiener, P. (2003): Soil erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria. *Soil Use and Management* 19(4), 305-311. doi:10.1079/SUM2003212
- [8] Auerswald, K., Fischer, F.K., Kistler, M., Treisch, M., Maier, H., Brandhuber, R. (2017): Behavior of farmers in regard to erosion by water as reflected by their farming practices. *Science of the Total Environment* 613-614, 1-9. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.003
- [9] Arnhold, S., Lindner, S., Lee, B., Martin, E., Kettering, J., Nguyen, T.T., Koellner, T., Ok, Y.S., Huwe, B. (2014): Conventional and organic farming: Soil ero-

- sion and conservation potential for row crop cultivation. *Geoderma* 219-220, 89-105. doi:10.1016/j.geoderma.2013.12.023
- [10] Moriondo, M., Pacini, C., Trombi, G., Vazzana C., Bindi, M. (2010): Sustainability of dairy farming system in Tuscany in a changing climate. *European Journal of Agronomy* 32(1), 80-90. doi:10.1016/j.eja.2009.05.001
- [11] Beyer, L. (1991): Gefügeeigenschaften von Parabraunerden und Podsolen unter Wald- und Ackernutzung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 154(2), 107-114. doi:10.1002/jpln.19911540206
- [12] Reents, H.-J., Müller, C., Siebrecht, N., Kainz, M. (2009): Einfluss des Leguminosen-Managements auf die Anfälligkeit des Bodens gegen Erosion. In: K. Wiesinger, K. Cais (Hrsg.). *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Öko-Landbau-Tag 2009*, 28. April 2009, Freising-Weißenstephan. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), S. 119-123.
- [13] Gerhardt, R.A. (1997): A Comparative analysis of the effects of organic and conventional farming systems on soil structure. *Biological Agriculture & Horticulture* 14(2), 139-157. doi:10.1080/01448765.1997.9754803
- [14] Papadopoulos, A., Bird, N.R.A., Whitmore, A.P., Mooney, S.J. (2009): Investigating the effects of organic and conventional management on soil aggregate stability using X-ray computed tomography. *European Journal of Soil Science* 60(3), 360-368. doi:10.1111/j.1365-2389.2009.01126.x
- [15] Haulon, M., Werner, G., Flores-García, G., Vera-Reyes, A., Felix-Henningsen, P. (2007): Assessment of erosion rates during rehabilitation of hardened volcanic soils (tepetates) in Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(3), 498-509.
- [16] Larsen, E., Grossman, J., Edgell, J., Hoyt, G., Osmond, D., Hu, S. (2014): Soil biological properties, soil losses and corn yield in long-term organic and conventional farming systems. *Soil and Tillage Research* 139, 37-45. ISSN 01671987. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.still.2014.02.002
- [17] Kuhn, N.J., Armstrong, E.K., Ling, A.C., Connolly, K.L., Heckrath, G. (2012): Interrill erosion of carbon and phosphorus from conventionally and organically farmed Devon silt soils. *Catena* 91, 94-103. doi:10.1016/j.catena.2010.10.002
- [18] Zeiger, M., Fohrer, N. (2009): Impact of organic farming systems on runoff formation processes—A long-term sequential rainfall experiment. *Soil and Tillage Research* 102(1), 45-54. doi:10.1016/j.still.2008.07.024
- [19] Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L., Mäder, P. (1998): Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 69(3), 253-264. doi:10.1016/S0167-8809(98)00113-3
- [20] Kainz, M., Siebrecht, N., Reents, H.-J. (2009): Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion. In: J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried, F. Heckendorn, E. Hillmann, P. Klocke, A. Lüscher, S. Riedel, M. Stolze, F. Strasser, M. Van Der Heijden, H. Willer (Hrsg.). *Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel*. 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 11.-13. Februar 2009, Zürich. Berlin: Dr. Köster, S. 53-56.

Nasse Moornutzung für Klimaschutz und -anpassung

Prof. Dr. Matthias Drösler

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Professur für Vegetationsökologie

Zusammenfassung

Moore sind hotspots der Klimarelevanz. Um das 2° Ziel zu erreichen, müssen alle Sektoren einen Beitrag leisten, auch die Landnutzung. Die Mooremissionen in Deutschland sollen bis 2050 um 80-95 % gesenkt werden.

Der Schlüsselfaktor Wassermanagement entscheidet, ob in einem Moor gleichermaßen die Klimarelevanz reduziert werden kann (Klimaschutz), ob es fit gemacht werden kann für den Klimawandel (Anpassung) und ob weiterhin eine ökonomisch tragfähige, dauerhafte Nutzung (Endlichkeit verhindern) stattfinden kann. Zukunftsfähige klimaschonende Nutzung heißt hier: nicht gegen das Wasser, sondern mit dem Wasser zu wirtschaften.

1 Einleitung

Moore sind die einzigen Ökosystemtypen die in naturnahem Zustand dauerhaft Kohlenstoff aufnehmen.

Der Schlüsselfaktor für den Mooraufbau ist ein Wasserstand, der im naturnahen Niveau in der Regel im Jahresmittel bei 0 bis -10 cm liegt.

Der Schlüsselfaktor für bisherige klassische Bewirtschaftungsmaßnahmen ist ein Wasserstand, der durch Drainagen abgesenkt ist und produktive und leicht bewirtschaftbare Bodenbedingungen schafft.

Der Schlüsselfaktor für zukunftsorientierte nasse Bewirtschaftungsmaßnahmen ist ein Wasserstand, der angehoben und je nach Jahreszeit, Kultur und Bewirtschaftungsmaßnahmen intelligent geregelt wird.

Kernfragen die in diesem Beitrag beleuchtet werden:

Welcher Mechanismus liegt den Emissionen klimarelevanter Spurengase in Mooren zu Grunde?

Wie wird die Klimawirksamkeit von Mooren durch Wasserstände und Nutzungsformen beeinflusst?

Wie kann die Klimawirksamkeit reduziert und das Ziel des SRU (2012) zu einer Reduktion bis 2050 um 80-95 % umgesetzt werden?

Kann nasse Moornutzung einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten?

Wie sind die finanziellen Rahmenbedingungen für nasse Moornutzung einzuschätzen?

2 Welcher Mechanismus liegt den Emissionen klimarelevanter Spurengase in Mooren zu Grunde?

Der entscheidende Mechanismus der Moorbildung ist der Zeitunterschied zwischen der Aufnahme von CO₂ in die Pflanzen über die Photosynthese und dem verzögerten Abbau der Pflanzenbestandteile im wassergesättigten Boden. Dadurch reichert sich nicht abgebaute organische Substanz an und Torf entsteht. Unter naturnahen Bedingungen wächst ein Moor ca. 1 mm pro Jahr. Dabei entstanden seit der letzten Eiszeit große Kohlenstofflager: Weltweit wird von 550 Mrd T C in organischen Böden ausgegangen.

Durch die anaeroben Abbauprozesse im wassergesättigten Profil entsteht parallel zur C-Bindung auch Methan (CH₄).

Wird ein Moorboden dagegen entwässert, dreht sich durch aerobe Veratmung der CO₂ Pfad um und der organische Boden wird abgebaut. Dies führt zu Sackungen von 1-3 cm pro Jahr, d.h. der Abbau ist 10 bis 30 mal so schnell, wie der Aufbau. Zudem wird in entwässerter Situation bei ausreichend nährstoffreichem Substrat Lachgas (N₂O) freigesetzt.

Um die Klimawirksamkeit der Mooremissionen als Summe auszudrücken, werden die CH₄-Emissionen mit 25 und die N₂O-Emissionen mit 298 multipliziert und mit den CO₂-Emissionen summiert. Das Ergebnis sind CO₂-Äquivalente.

Für Deutschland werden laut Inventar (UBA 2016) ca. 45 Mio t CO₂-Äquivalente/Jahr für die organischen Böden angegeben. Für Bayern kommt eine aktuelle Berechnung auf 5.1 Mio t CO₂-Äquivalente/Jahr (Drösler et al in prep.)

Moore sind daher hotspots für Emissionen.

3 Wie wird die Klimawirksamkeit von Mooren durch Wasserstände und Nutzungsformen beeinflusst?

Für die Erfassung der Klimawirksamkeit von Mooren sind Spurengasmessungen erforderlich, die das Spektrum der Nutzungen und Wasserstände abbilden. Ein umfassender Datensatz für Deutschland liegt seit 2013 vor (Drösler et al 2013), mittels dessen sich die Emissionen der Hauptnutzungsformen gruppieren lassen (s. Tab. 1).

	Niedermoor Tonnen CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr	Hochmoor	Wasserstand cm
Acker	33,8 (14,2 bis 50,0 [4])	keine Daten	-70 (-29 bis -102)
Grünland intensiv / mittel	30,9 [21,3 bis 40,7 [5])	28,3 [1]	-49 (-39 bis -98)
Grünland extensiv trocken	22,5 (19,5 bis 30,9 [4])	20,1 [1]	-29 (-14 bis -39)
Grünland extensiv nass	10,3 (5,8 bis 16,3 [4])	2,2 (0 bis 4,4 [2])	-11 (6 bis -25)
Hochmoor trocken		9,6 (5,3 bis 12,1 [3])	-18 (-9 bis -25)
Naturnah/Renaturiert	3,3 [-4,3 bis 11,9 [5])	0,1 (-1,8 bis 2,9 [3])	-10 (-7 bis -14)
Überstau	28,3 [10,6 bis 71,7 [4])	8,3 [6,1 bis 10,4 [2])	14 (-8 bis 36)

Tab. 1: Mittlere Moor-Emissionen in Deutschland in Abhängigkeit von Nutzung, Moortyp und Wasserstand (aus Drösler et al 2013).

In Tab. 1 sind die über 130 site-Jahre in Nutzungsklassen aggregiert worden. Dadurch zeigt sich, dass Acker auf Moor die höchsten Emissionen erzeugt, dicht gefolgt von intensiv genutztem und entwässertem Grünland. Als klimaneutral können dagegen nur die naturnahen Flächen gelten.

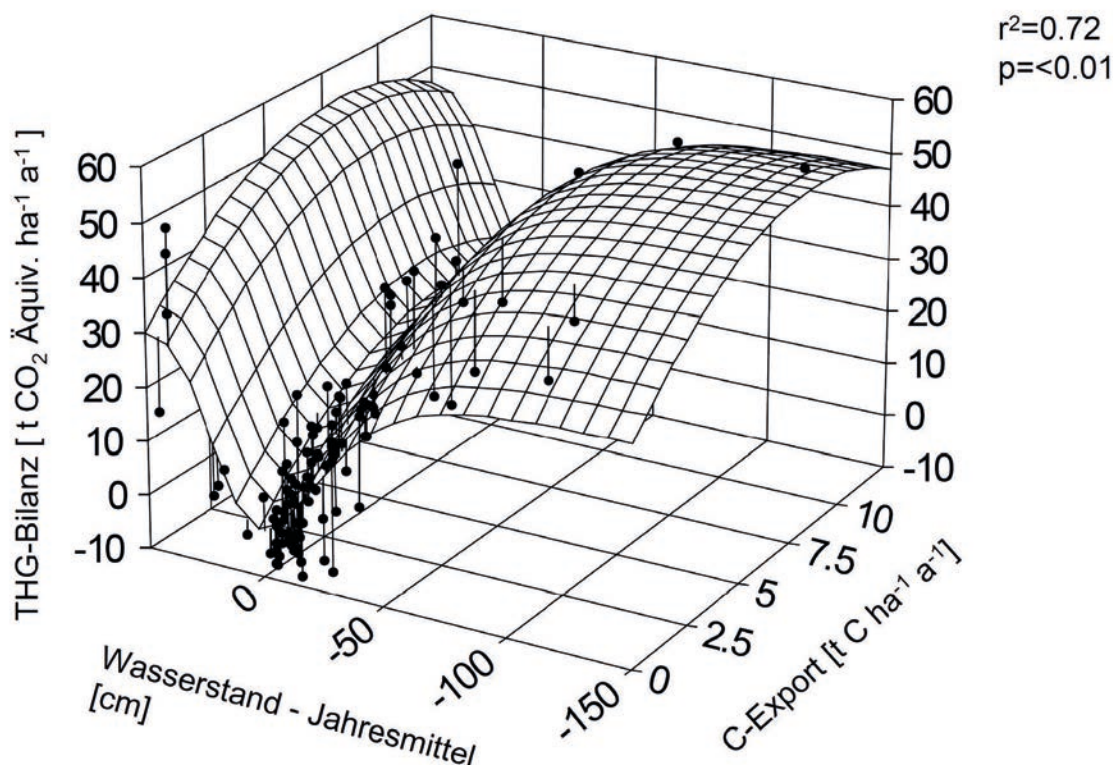


Abb. 1: PEP-Modell (peatland-emissions predictor; Drösler et al 2013)

Abb. 1 zeigt auf Basis der Einzelmessjahre, wie sich die zwei entscheidenden Parameter Wasserstand und Nutzungsintensität für die Prognose der Mooremissionen verwenden lassen. Mittels dieser Beziehung werden von der Vegetationsökologie der HSWT seit 2008 die Einsparungsleistungen durch Moorrenaturierungen in Bayern gerechnet.

4 Wie kann die Klimawirksamkeit reduziert werden?

Die bisherige Bewirtschaftung geht i.d.R. mit einer Entwässerung der Moor-Flächen einher. Dadurch werden trockenere Standortbedingungen geschaffen, Nährstoffe freigesetzt und eine Befahrbarkeit mit klassischer landwirtschaftlicher Technik ermöglicht. Auch zeichnen sich insbesondere die entwässerten Niedermoore durch relativ hohe Erträge aus.

Für die Bewirtschaftung ergeben sich aber auf Dauer negative Konsequenzen: (1) eine kontinuierliche Sackung von 1-3 cm pro Jahr, mit dem Effekt, dass Entwässerungsmaßnahmen turnusmäßig tiefer gelegt werden müssen, bis die Entwässerbarkeit schließlich nicht mehr gegeben ist, (2) eine Veränderung der Bodenstruktur (Vererdung bis Vermulmung), die dazu führt, dass die hydraulische Leitfähigkeit und Benetzbarkeit eingeschränkt wird und sich nach Regenereignissen Staunässe in den oberen Bodenhorizonten bildet; durch beide Effekte kombiniert (3) eine hohe Variabilität der Bodenfeuchte, die

sowohl das Pflanzenwachstum als auch die Bewirtschaftung negativ beeinflusst und schließlich durch die Sackung und Mineralisation (4) ein kontinuierlicher Verlust des durchwurzelbaren organischen Bodens, der meist auf nährstoffarmen nicht bewirtschaftbaren Kies-, Sand- oder Ton-Unterlagen aufliegt.

Letztlich führen diese Bewirtschaftungsfolgen zur Endlichkeit der klassischen entwässerungsbasierten Moornutzung und damit zum Verlust der Produktions- und Wirtschaftsgrundlage.

Die Klimawirksamkeit der Moore kann als Indikator für die Nachhaltigkeit, heißt Dauerhaftigkeit der Nutzung eingesetzt werden.

Die bisher umgesetzten Handlungsmöglichkeiten zur Reduktion der Klimawirksamkeit sind (1) Nutzungswandel (Acker zu Grünland), (2) Extensivierung und (3) Renaturierung. Mit den mittleren Emissionen aus Tab 1. lässt sich abschätzen, wie sich die Klimawirksamkeit entlang dieser Nutzungskaskaden reduzieren lässt.

Zu (1): Die Reduktionsmöglichkeit der Klimawirksamkeit ist begrenzt und kann nur der erste kleine Schritt sein.

Zu (2): Ein Extensivierung führt zu einer weiteren Emissionsreduktion gepaart aber mit wirtschaftlichen Verlusten

Zu (3): Die größten Einsparungswerte sind zu erreichen, wenn intensiv bewirtschaftete Flächen renaturiert werden. Aufgrund der Betroffenheit von landwirtschaftlichen Nutzflächen ist das aber kein Konzept für die große Fläche!

Daher sind zukünftig dringend zwei weitere Handlungsoptionen zu erproben:

(4) Die Fortsetzung der Bewirtschaftung bei einem intelligenten Wassermanagement, das entsprechend der Kulturen, Jahreszeiten und Bewirtschaftungsgänge gesteuert wird. Dies kann z.B. mit regelbaren Wehren in Kombination mit Unterflurbewässerung erfolgen. Ziel muss sein, die Wasserstände so hoch wie möglich in den Flächen zu halten. Die bayerischen Moore sind im Wesentlichen durch Entwässerung geprägt. Systeme zum Wassermanagement sind bisher in der Fläche kaum vorhanden.

Hier sind Fragen des Wassermanagements, der angepassten Technik und der entsprechenden Sortenwahl (z.B. nässeverträgliche Grünlandmischungen) zu klären.

(5) Die Etablierung von Paludikulturen, d.h. nasse Bewirtschaftung mit alternativen Kulturen bei optimierten Wasserständen. Der Grundgedanke ist, dass Arten angebaut werden, die bei dauerhaft nassen Bedingungen immer noch eine hohe Produktivität aufweisen und ein weites Spektrum an Produkten für die nachfolgende Verwertung ermöglichen. Letztlich sind das Arten, die auch an der ursprünglichen Moorbildung beteiligt waren. Im Niedermoor sind das Seggen, Schilf, Rohrkolben, Rohrglanzgras oder auch Erlen. Im Hochmoor sind es die Torfmoose.

Derzeit laufen zwei Projekte zu diesen Nutzungsalternativen in Bayern: STMELF-gefördert *Kurzumtriebsplantagen-Projekt* (HSWT) in Großkarolinenfeld und EFRE-gefördert *MOORuse* (HSWT) im Freisinger Moos, mit geplanten Demoflächen im bayerischen und schwäbischen Donaumoos.

Hier werden Fragen der Etablierung, der Klimawirksamkeit und weiteren Umwelteffekte, der Verwertungspotenziale und der Wirtschaftlichkeit geklärt.

5 Kann nasse Moornutzung einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten?

Der Klimawandel verschärft die bewirtschaftungsbedingten Nutzungs-Probleme in den Mooren. In den bayerischen Moorlandschaften finden sowohl ganzjährig Temperaturerhöhung als auch Niederschlagsreduktion im Sommer statt, die in der Folge durch verstärkte Verdunstung und geringere Nachlieferung zu Wasserstandsabsenkung und Bodentrockenheit führen. Andererseits nehmen die Starkregenereignisse zu, die dann auf den stark zersetzten oberflächennahen Torfen zu verbreiteten Staunässeproblemen führen.

Eine nasse Moornutzung mit intelligentem Wassermanagement hat das Potential, die Wasserstandsschwankungen auszugleichen bzw. abzumildern und damit sowohl die Bewirtschaftbarkeit zu verbessern, als auch dem durch Klimawandel beschleunigten Torfabbau entgegenzuwirken.

Erste vielversprechende Hinweise, dass eine Wasserstandsanhhebung die negativen Temperatureffekte auf Grasland-Moorstandorte abmildern, bzw. kompensieren kann, sind im TP4 des FORKAST-Projekts identifiziert worden. Im Projekt *MOORadapt* (HSWT) werden derzeit systematisch zwei Graslandtypen in vier Varianten (Wasserstand angehoben; erwärmt; erwärmt und Wasserstand angehoben; Referenz) getestet, die Aufschluss über den Anpassungs-Erfolg an den Klimawandel geben sollen.

6 Wie sind die finanziellen Rahmenbedingungen für nasse Moornutzung einzuschätzen?

Die Einschätzung der finanziellen Rahmenbedingungen für nasse Moornutzung hängt von den Betrachtungsebenen ab:

CO₂-Vermeidungskosten: Im Rahmen des BMBF-Projektes *Klimaschutz-Moornutzungsstrategien* wurden u.a. ökonomische Untersuchungen zur Moorbewirtschaftung und zu CO₂-Vermeidungskosten durchgeführt. Die Spanne der CO₂-Vermeidungskosten bis hin zur Renaturierung lag bei 24 und 63 €/t CO₂-äq. (Schaller 2014), und damit deutlich günstiger als viele andere landnutzungsbezogene Klimaschutzmaßnahmen.

Schadenskostenansatz: Die mittleren Emissionen für Acker auf Niedermoor liegen bei ca. 33 t CO₂-äq./ha*a. Das Umweltbundesamt gibt die Schadenskosten für 1 t CO₂ mit 70 Euro an, wonach durch einen Hektar Moorbewirtschaftung aus diesem Ansatz heraus mehr als 2000 Euro gesellschaftliche Schadenskosten entstehen. Die Schadenskosten sind ein Maß dafür, wie hoch eine staatliche Unterstützung für den Moorschutz liegen kann, die aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist.

Dauerhafte Erhaltung des Bodenwertes: Durch die nasse Bewirtschaftung und die Abwendung der Endlichkeit wird eine langfristige Entwertung der Fläche verhindert.

Deckungsbeiträge: Hier wird in den laufenden Projekten die Wirtschaftlichkeit der Varianten ermittelt. Unter bestimmten Umständen sind Paludikulturen heute schon wirtschaftlich, insbesondere für Rohstoffe wie Dämmplatten, Torfersatzsubstrat oder Heilpflanzen. Entscheidend werden auch die Förderrahmenbedingungen für die nasse Bewirtschaftung sein.

Honorierung ökologischer Serviceleistungen: Letztlich sind es die Landwirte mit nasser Bewirtschaftung (s. Varianten 4 und 5 in Kap 4), die neben der Produktion auch die ökologischen Serviceleistungen wie Klimaschutz und Wasserrückhalt erbringen. Diese Leistungen sind seitens der Gesellschaft zu honorieren und damit auch ggf. eintretende Deckungsbeitragsverluste gegenüber der Vorläufersituation auszugleichen.

7 Fazit

Der Schlüsselfaktor Wassermanagement entscheidet, ob in einem Moor gleichermaßen die Klimarelevanz reduziert werden kann (Klimaschutz), ob es fit gemacht werden kann für den Klimawandel (Anpassung) und ob weiterhin eine ökonomisch tragfähige, dauerhafte Nutzung (Endlichkeit verhindern) stattfinden kann. Zukunftsfähige klimaschonende Nutzung heißt hier: nicht gegen das Wasser, sondern mit dem Wasser zu wirtschaften.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Drösler, M., Adelman, W., Augustin, J., Bergman, L., Beyer, C., Chojnicki, B., Förster, Ch., Freibauer, A., Giebels, M., Görlitz, S., Höper, H., Kantelhardt, J., Liebersbach, H., Hahn-Schöfl, M., Minke, M., Petschow, U., Pfadenhauer, J., Schaller, L., Schägner, Ph., Sommer, M., Thuille, A., Wehrhan, M. (2013). Klimaschutz durch Moorschutz. Schlussbericht des BMBF-Vorhabens: Klimaschutz - Moornutzungsstrategien 2006-2010. 201 pp. published online at TIB/UB-Hannover: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/735500762.pdf>
- [2] Drösler et al (in prep): Mooremissionskarte Bayern.
- [3] Schaller, L. (2014): Landwirtschaftliche Nutzung von Mooren – Sozioökonomische Aspekte einer klimaschonenden Bewirtschaftung. Dissertation, TU-München, 325 pp. Online publiziert: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1229919/1229919.pdf>
- [4] SRU (2012): Verantwortung in einer begrenzten Welt. Umweltgutachten 2012, Berlin.

Nährstoffe effizient nutzen: Bodennahe Wirtschaftsdüngerausbringung – was bringt's?

Konrad Offenberger, Christian Sperger, Dr. Matthias Wendland

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

Zusammenfassung

Wirtschaftsdünger enthalten wertvolle Nährstoffe die möglichst effektiv für die Pflanzenernährung genutzt werden müssen. Die Stickstoffverluste in die Luft (Ammoniak) sind dabei ein bedeutender Verlustpfad. Die Ammoniakverluste können je nach Applikationsbedingungen und Zusammensetzung des organischen Düngers sehr stark schwanken. Die dargestellten Ergebnisse belegen, in Abhängigkeit von der Zeit nach der Ausbringung, diese Unterschiede deutlich. Mit gezielten Maßnahmen können die Verluste entsprechend reduziert werden. Die rasche Einarbeitung der organischen Dünger auf unbestellten Flächen stellt eine sehr effektive Maßnahme dar, um die Ammoniakverluste deutlich zu reduzieren. Auf bestellten Ackerflächen ist die Verlustminderung deutlich aufwändiger. Hier ist besonderes die Witterung bei der Ausbringung zu berücksichtigen.

Maßnahmen zur besseren Nutzung der Nährstoffe in den Wirtschaftsdüngern bringen sowohl ökologische Vorteile für die Umwelt als auch ökonomische Vorteile für den Landwirt. Die fünf dargestellten Beispiele zeigen, wie durch gezielte Maßnahmen die Ammoniakverluste deutlich (11 - 43 kg N/ha) reduziert werden können. Diese Maßnahmen haben mit Ausnahme der Gülleverdünnung nur relativ geringe Mehrkosten zur Folge. Durch die Düngeobergrenze bei der Düngebedarfsermittlung (Düngeverordnung) führen höhere N-Verluste zwangsläufig zu Mindererträgen. Folglich ist der betriebswirtschaftliche Verlust für den Landwirt mit bis zu 100 €/ha erheblich.

1 Einleitung

Eine möglichst hohe N-Wirkung von organischen Düngern ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht anzustreben. Einer der bedeutendsten Verlustpfade ist die Ammoniakverflüchtigung nach der Ausbringung von organischen Düngern. Um gezielt Maßnahmen zu deren Reduzierung berücksichtigen zu können, ist es wichtig, die Einflussfaktoren und deren Bedeutung zu kennen. Nachfolgend werden einige Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakverlusten vorgestellt. Dabei wird neben der Umweltwirkung (Reduzierung der Ammoniakverluste) auch der wirtschaftliche Vorteil für den Landwirt bewertet.

2 Material und Methoden

Die Ammoniakverluste nach der Aufbringung von organischen Düngern wurden über die Bodenuntersuchung auf Ammonium abgeleitet und nicht nach dem meist verwendeten Messprinzip mit der Haubengefäßmethode. Die Untersuchung erfolgte grundsätzlich in Anlehnung an „VDLUFA Methodenbuch Band I A 6.1.4.1 (N_{min}-Labormethode)“. Zusätzlich sind noch weitere, bei Offenberger et al. (2016, SIEHE TAGUNGSBAND VDLUFA) beschriebene Anforderungen zwingend zu beachten.

Da die gasförmigen N-Verluste hauptsächlich als Ammoniak (NH₃) entweichen, kann näherungsweise von Ammoniakverlusten gesprochen werden.

Die Ammoniakverluste werden jeweils als summierte N-Verluste (Ammoniak) in % des ausgebrachten Ammoniums (NH₄) im Ergebnisteil dargestellt. In der Regel wurden die Ammoniakverluste bis 168 Stunden (= 7 Tage) nach der Ausbringung erhoben.

Die Messungen wurden in einer festgelegten Zeitreihe nach der Ausbringung des organischen Düngers (1 Stunde, 2 Stunden, 4 Stunden, 1 Tag, 2 Tage, 4 Tage und 7 Tage) durchgeführt. Bezüglich der Witterungsbedingungen wurde zum einen ein Ausbringtermin im März gewählt, bei dem in den Morgenstunden eine Gülleausbringung auf oberflächlich gefrorenem Boden (- 4 °C) möglich war, und zum anderen ein Ausbringtermin bei warmer trockener Witterung im Mai.

Die organischen Dünger wurden mit einer bodennahen Breitverteilung ausgebracht, es erfolgte keine Einarbeitung. An den Ausbringtagen herrschte jeweils Sonnenschein. Im gesamten Beobachtungszeitraum erfolgte kein Niederschlag.

3 Ergebnisse

3.1 Einfluss des Trockensubstanzgehalts

Der Trockensubstanzanteil (TS) von flüssigen organischen Düngern hat einen erheblichen Einfluss auf die Ammoniakverluste nach Ausbringung. Bei einer Gülleausbringung im Frühjahr auf Getreidebestände (ohne Einarbeitung) kommt dies voll zu tragen. Bei kalter Witterung im März wurden bei Biogasgärrest mit TS von 3 % nach einem Tag um ca. 20 Prozent weniger Verluste gemessen als bei einem TS-Gehalt von 7 % (*Abb. 1*). Dieser Unterschied bleibt auch bis 7 Tage nach der Ausbringung in etwa gleich.

Der TS-Gehalt hat einen Einfluss auf die Fließfähigkeit der Gülle/Gärrest und damit auf die Eindringgeschwindigkeit in den Boden. Wie aus Beobachtungen bekannt ist, kann die Fließfähigkeit verschiedener Güllen bei gleichem TS-Gehalt unterschiedlich sein.

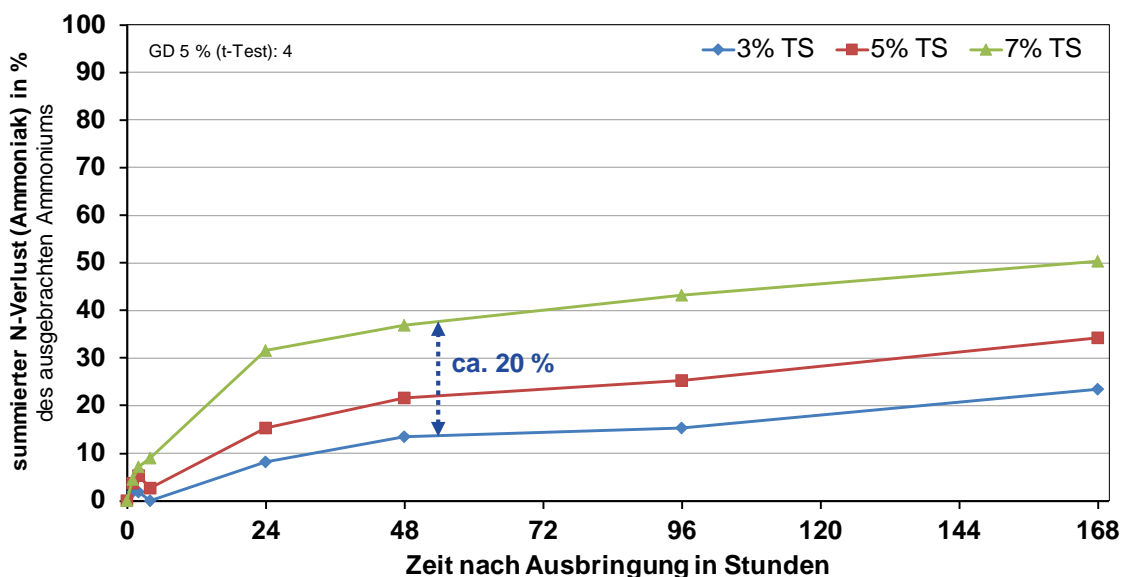


Abb. 1: Einfluss des Trockensubstanzgehaltes auf die Ammoniakverluste

3.2 Einfluss der Temperatur

Die gasförmigen Ammoniakverluste sind im warmen Mai deutlich höher als im kalten Februar. Bei Biogasgärrest auf Acker ohne Einarbeitung, wie in Abbildung 2 zu sehen, wurden im Februar weniger als 40 % Verluste gemessen, im Mai hingegen wurden über 60 % erreicht. Die Verluste traten jeweils bis zum 4. Tag (96 Stunden) auf, im darauffolgenden Messzeitraum (4. bis 7. Tag nach Ausbringung) wurden keine weiteren Verluste mehr festgestellt.

Bei kühler Witterung entstanden um ca. 25 % weniger Verluste als im warmen Mai.

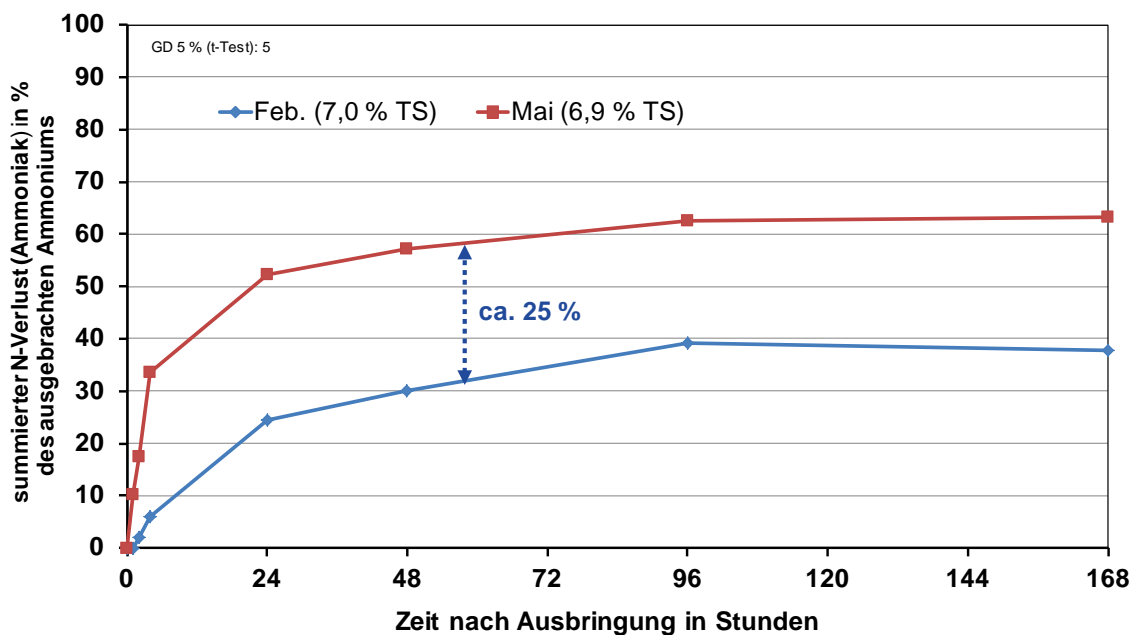


Abb. 2: Einfluss der Temperatur auf die Ammoniakverluste

3.3 Einfluss der Tageszeit

Wie bereits vorhergehend beschrieben hat die Witterung bzw. Temperatur einen bedeutenden Einfluss auf die gasförmigen Ammoniumverluste. Bei einer Ausbringung am gleichen Tag, aber zu unterschiedlichen Tageszeiten und damit verschiedenen Witterungsbedingungen, muss sich dies auch auf die Verluste auswirken. Wie in Abbildung 3 dargestellt hat die Tageszeit bei einer langfristigen Betrachtung (2 bis 7 Tage) einen geringen Einfluss auf die Verluste. Trotzdem können durch diese Maßnahme die N-Verluste um ca. 10 % reduziert werden.

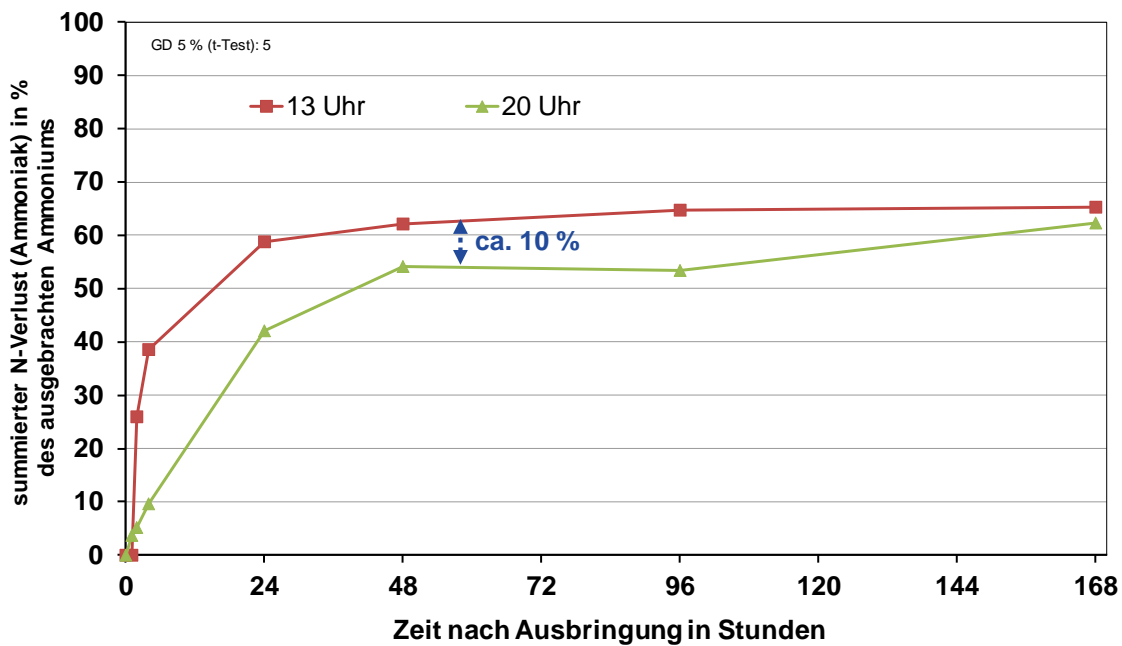


Abb. 3: Einfluss der Tageszeit auf die Ammoniakverluste

3.4 Einfluss der Einarbeitung

Die höchsten N-Verluste treten bekanntlich in den ersten Stunden nach der Ausbringung auf. Es entstehen im warmen Mai in den ersten vier Stunden nach der Ausbringung von Biogasgärresten ca. 35 % Ammoniakverluste (Abb. 4). Durch eine sofortige Einarbeitung des Gärrestes z. B. vor Mais können diese Verluste vermindert werden.

Noch höhere Verluste haben Biogasgärreste separiert fest, hier entweichen in den ersten vier Stunden 50 % des ausgebrachten Ammoniums in die Luft (Abb. 5). Biogasgärrest fest kann nicht in den Boden einsickern. Er hat zusätzlich noch einen hohen pH-Wert, der zu einem Anstieg der Verluste führt.

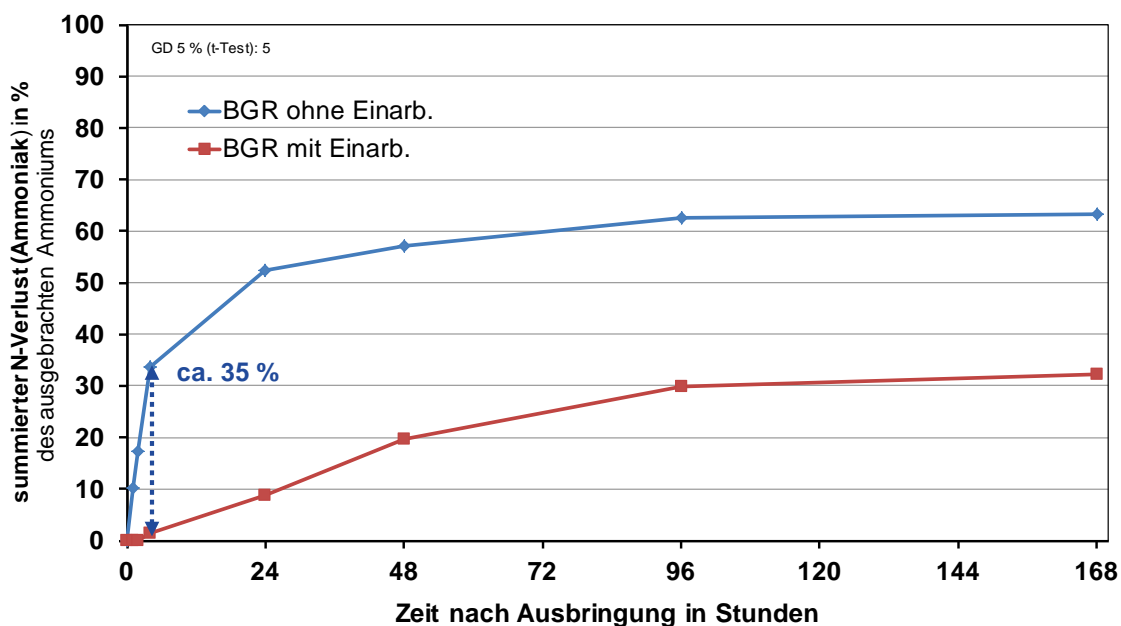


Abb. 4: Einfluss der Einarbeitung von Biogasgärrest flüssig auf die Ammoniakverluste

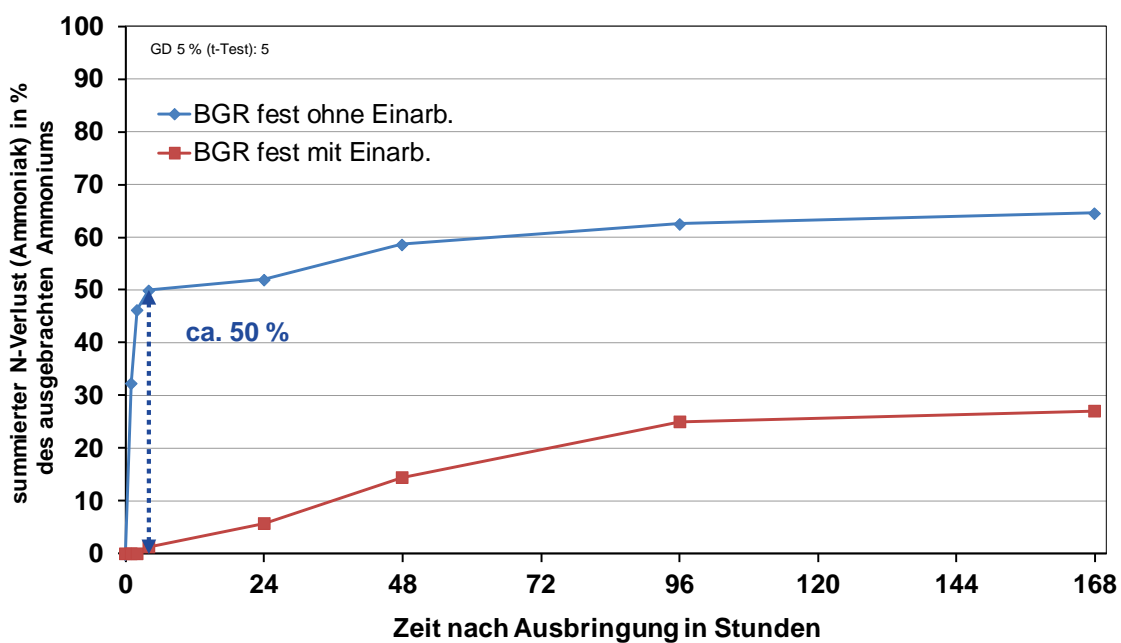


Abb. 5: Einfluss der Einarbeitung von Biogasgärrest fest auf die Ammoniakverluste

3.5 Mindererträge bei höheren Verlusten

Nach der neuen Düngeverordnung ist die berechnete Düngemenge nach der Düngebedarfsermittlung gleichzeitig auch die Düngungsobergrenze. Eine schlechte Verwertung der organischen Dünger (hohe N-Verluste) darf nicht mehr durch eine höhere mineralische Düngung ausgeglichen werden. Eine schlechtere N-Verwertung führt zwangsläufig zu einem Minderertrag und somit zu finanziellen Verlusten.

Am Beispiel einer sofortigen Einarbeitung des Biogasgärrestes (flüssig) gegenüber einer Einarbeitung nach vier Stunden soll dies verdeutlicht werden. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich ist, können durch eine sofortige Einarbeitung die N-Verluste um ca. 35 % reduziert werden. Bei einer Ausbringmenge von 170 kg N/ha werden über Biogasgärrest ca. 110 kg Ammoniumstickstoff ausgebracht. In diesem Beispiel können somit 38 kg N/ha (35 % von 110 kg) Verluste verhindert werden.

Bei einem durch die Verluste verursachten geringen N-Angebot ist mit deutlichen Mindererträgen zu rechnen. Am Beispiel einer typischen Ertragskurve bei Winterweizen ergeben sich damit Mindererträge von 4,4 dt/ha (Abb. 6). Diese Mindererträge betreffen nicht nur Getreide sondern auch andere Kulturen wie z. B. Raps, Rüben, Kartoffeln. Bei einem Preis von 20 €/je Getreideeinheit ergibt sich ein Minderertrag von 88 €/je ha.

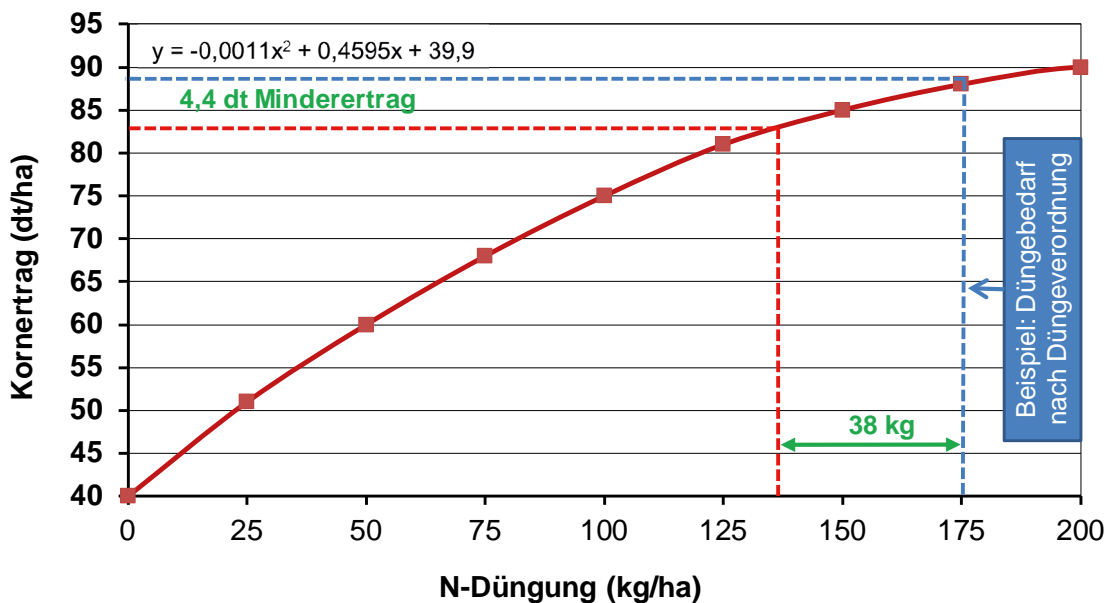


Abb. 6: Einfluss der Einarbeitung von Biogasgärrest flüssig auf die Ammoniakverluste

In Tabelle 1 sind die Verlusteinsparungen bzw. die Mehrerlöse durch die höheren Erträge bei einer verlustärmeren Ausbringung dargestellt.

Tab. 1: Minderung der N-Verluste und Mehrerlöse bei unterschiedlichen Maßnahmen

Maßnahme	Weniger Verluste		Mehrerlös
	% NH ₄ -N	kg N/ha	€/ha
Biogasgärrest 3 % TS gegenüber 7 % TS bei kühler Witterung, ohne Einarbeitung	20 (von 110 kg)	22	43
Biogasgärrest bei kühler Witterung gegenüber wärmer Witterung ohne Einarbeitung	25 (von 110 kg)	28	59
Biogasgärrest am Abend gegenüber Mittag bei warmer Witterung, ohne Einarbeitung	10 (von 110 kg)	11	19
Biogasgärrest flüssig sofort gegenüber 4 Stunden einarbeiten, warme Witterung	35 (von 110 kg)	38	88
Biogasgärrest fest sofort gegenüber 4 Stunden einarbeiten, warme Witterung	50 (von 85 kg)	43	105

4 Literaturverzeichnis

- [1] Offenberger, K., Mikolajewski, S., Sitte, W., Aigner, K., Wendland, M. (2016): Verfahren zur Bestimmung von Ammoniumverlusten nach der Ausbringung von organischen Düngern, 128. VDLUFA-Kongress, Rostock, Kongressband, 97-105.
- [2] Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2002: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I. Böden, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Sparen klimafreundliche Betriebe Geld?

Monika Zehetmeier ¹, Bianca Zerhusen ²

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

¹ Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur,

² Institut für Landtechnik und Bauwesen

Zusammenfassung

Um die ambitionierten Reduktionsziele der weltweiten Treibhausgas (THG)-Emissionen zu erreichen, wird in Zukunft auch die Landwirtschaft einen Beitrag zur Minderung von THG leisten müssen. Je nach Umsetzungsschwierigkeit lassen sich unterschiedliche Zeithorizonte für die Vermeidung von THG-Emissionen definieren: kurzfristig, mittelfristig und langfristig. Kurzfristig können durch Verbesserungen bestehender Produktionssysteme Synergien zwischen einer Minderung von THG-Emissionen und Kosteneinsparungen erzielt werden. Die Auswertung der Praxisbetriebe zeigt, dass wichtige Maßnahmen zur Verringerung der THG-Emissionen nicht viel kosten müssen sondern sogar Kosten einsparen können: nährstoffeffiziente Futterproduktion, geringere Verluste in der Futtermenge und -qualität von der Fläche bis zum Tier, eine hohe Lebensleistung der Milchkühe. Hier heißt es Reserven aufzudecken und von den Besten zu lernen. Mittel- und langfristig gilt es Techniken zu entwickeln und Produktionssysteme zu definieren, die durch einen effizienten Ressourceneinsatz vor allem im Bereich der Nährstoffe und Fläche gekennzeichnet sind. Hierbei sind auch neue Ansätze zur Berechnung der Flächeneffizienz, welche Futtermittel nach ihrer Eignung für die menschliche Ernährung differenzieren (Lebensmittelkonversionseffizienz) zu berücksichtigen. Bei der Definierung zukünftiger Produktionssysteme muss auch die Rolle des Konsums berücksichtigt werden.

1 Einleitung

Auf der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 haben sich die Teilnehmerstaaten verpflichtet, die globale Erwärmung auf „deutlich unter 2°C“ im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen. Deutschland hat das Pariser Klimaabkommen im Jahr 2016 ratifiziert und sich damit verpflichtet, nationale Maßnahmen und Ziele für den Zeitraum nach 2020 festzulegen, um das gemeinsame Ziel der Minderung von Treibhausgas (THG)-Emissionen zu erreichen. Die Landwirtschaft hat an den THG-Emissionen Deutschlands einen Anteil von ca. acht Prozent. Werden auch die THG-Emissionen, die bei der Herstellung von Vorleistungen (z. B. Diesel, Mineraldünger, importierte Futtermittel) entstehen, berücksichtigt, so steigt der Anteil der Landwirtschaft an den deutschen THG-Emissionen auf 13 Prozent [1, 2]. Um die ambitionierten Reduktionsziele zu erreichen, wird in Zukunft auch die Landwirtschaft einen Beitrag zur Minderung von THG leisten müssen. Erste konkrete Maßnahmen und Minderungsziele für die Landwirtschaft werden im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung genannt. Die Entwicklung und Einschätzung klimaschonender Produktionsweisen ist eine Herausforderung für Politik, Wissenschaft und Praxis. Die Schwierigkeit besteht darin, für den Betrieb kosteneffektive Minderungsmaßnahmen zu

definieren und dabei die Nahrungsmittelproduktion oder die Auswirkungen auf andere Umweltbereiche im Blick zu behalten. Dabei muss auch die Umsetzbarkeit beachtet werden. Je nach Umsetzungsschwierigkeit lassen sich unterschiedliche Zeithorizonte für die Vermeidung von THG-Emissionen definieren: kurzfristig, mittelfristig und langfristig. Kurzfristig können durch Verbesserungen bestehender Produktionssysteme Synergien zwischen einer Minderung von THG-Emissionen und Kosteneinsparungen erzielt werden. Mittel- und kurzfristig gilt es über neue Techniken, veränderte Produktionssysteme und die Rolle des Konsums nachzudenken. Ziel dieses Beitrags ist es die genannten Zusammenhänge anhand von Praxis- und Literaturlauswertungen zu erläutern.

2 Datengrundlage und methodisches Vorgehen

Um kurzfristige THG-Einsparpotentiale zu identifizieren wurden in einem vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanzierten Forschungsvorhaben die THG-Emissionen landwirtschaftlicher Milchviehbetriebe in Bayern untersucht. Dazu wurden die THG-Emissionen von 91 Betrieben aus dem Jahr 2013 auf Basis betriebsspezifischer produktionstechnischer Daten berechnet. Es wurden sowohl Emissionen, die auf dem Betrieb anfallen, als auch Emissionen aus der Herstellung von Vorleistungen berücksichtigt. Für eine detaillierte Darstellung der Methodik wird auf die Veröffentlichung im Rahmen einer LfL Schriftenreihe [3] verwiesen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Kurzfristige Ansatzpunkte zur Vermeidung von THG-Emissionen. Abb. 1 zeigt die THG-Emissionen pro kg Milch sowie den standardisierten Gewinn in Abhängigkeit von der Milchleistung pro Kuh für die 91 untersuchten bayerischen Betriebe. Sowohl der Gewinn pro Betrieb als auch die THG-Emissionen pro kg Milch zeigen eine große Streuung. So gibt es z.B. Betriebe, die 7.600 kg Milch mit weniger als 1,0 kg CO₂-Äq pro kg Milch erzeugen, während andere Betriebe bei nahezu gleicher Milchleistung 1,8 kg CO₂-Äq pro kg Milch emittieren. Entgegen weit verbreiteter Aussagen, dass eine höhere Milchleistung der wichtigste Faktor bei der Reduzierung von THG-Emissionen sei, weist die Auswertung der Praxisbetriebe nur auf einen geringen Zusammenhang zwischen Milchleistung und THG-Emissionen hin.

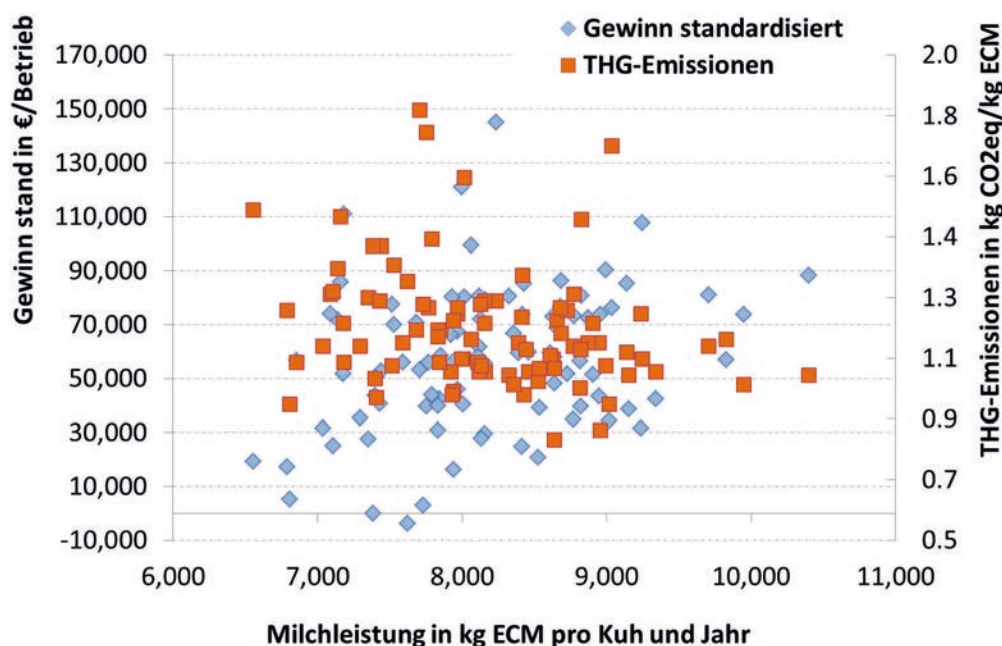


Abb. 1: Standardisierter (stand) Gewinn pro Betrieb und THG-Emissionen pro kg Milch in Abhängigkeit der Milchleistung pro Kuh; Standardisierter Gewinn: Gewinn der einzelnen Betriebe wurde standardisiert auf eine Betriebsgröße von 59 ha Eigenfläche und 2 AK (Pachtansatz und Lohnansatz zur Standardisierung des Gewinns: 300 €/ha und 15 €/Akh), ECM = auf gleichen Energiegehalt korrigierte Milch

In Abb. 2 werden die wichtigsten Einflussfaktoren dargestellt, welche die Unterschiede der Betriebe in Bezug auf die THG-Emissionen zu insgesamt ca. 70 % erklären. Die Betriebe mit niedrigen THG-Emissionen sind gekennzeichnet durch eine tendenziell höhere Effizienz im Bereich der Fütterung (ausgedrückt in tatsächlich gefütterte Nettoenergielaktation (NEL) im Vergleich zum NEL-Normbedarf) sowie der Stickstoff (N)-Düngung im Pflanzenbau (ausgedrückt in ausgebrachte N-Düngung in Relation zum N-Bedarf nach Entzug). Betriebe mit niedrigen THG-Emissionen weisen auch einen niedrigen N_2O -Emissionsfaktor auf. Der N_2O -Emissionsfaktor besagt, wie viel vom gedüngten N zu klimaschädlichem N_2O umgewandelt wird. Er ist vom Flächenstandort (u. a. von der Bodenart und vom Klima) abhängig. Ein hoher N_2O -Emissionsfaktor kann zwar vom Landwirt nicht beeinflusst werden, er verstärkt jedoch die THG-Wirkung der N-Düngung. Die Remontierungsrate erklärt etwa 8 % der Unterschiede zwischen den THG-Emissionen der Betriebe. Eine niedrigere Remontierungsrate erfordert weniger Kalbinnenaufzucht und erspart somit THG-Emissionen. Die Betriebe mit den geringeren THG-Emissionen pro kg Milch haben tendenziell eine etwas höhere Milchleistung. Allerdings fällt bei höherer Milchleistung je kg Milch weniger Rindfleisch an. Muss das fehlende Rindfleisch anderweitig erzeugt werden (Mutterkuhhaltung, Import), entstehen zusätzliche THG-Emissionen, die den THG-sparenden Effekt hoher Milchleistung sogar überkompensieren können. Hinsichtlich des Gewinns und der THG-Emissionen je kg Milch lässt sich bei den untersuchten Betrieben kein klarer Zusammenhang erkennen. Betriebe mit niedrigen THG-Emissionen unterschieden sich im Gewinn nicht von Betrieben mit hohen THG-Emissionen.

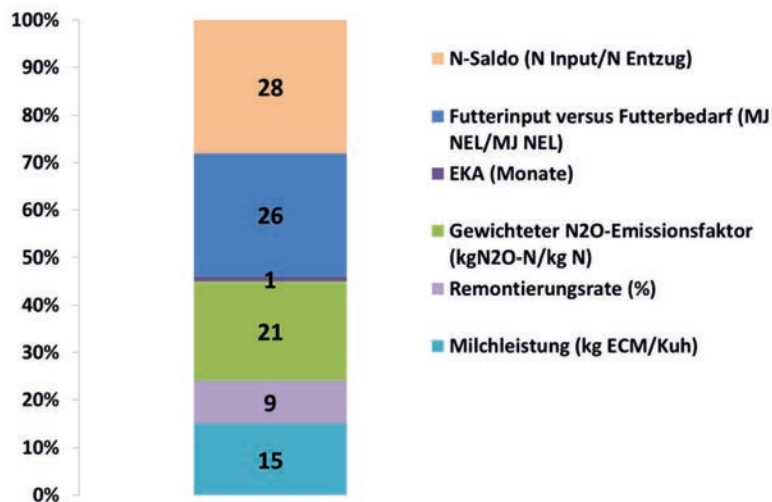


Abb. 2: Anteil der einzelnen Faktoren in % an der Erklärung der Varianz der THG-Emissionen pro kg Milch (insgesamt erklären die Faktoren ca. 70 % der Gesamtvarianz der THG-Emissionen)

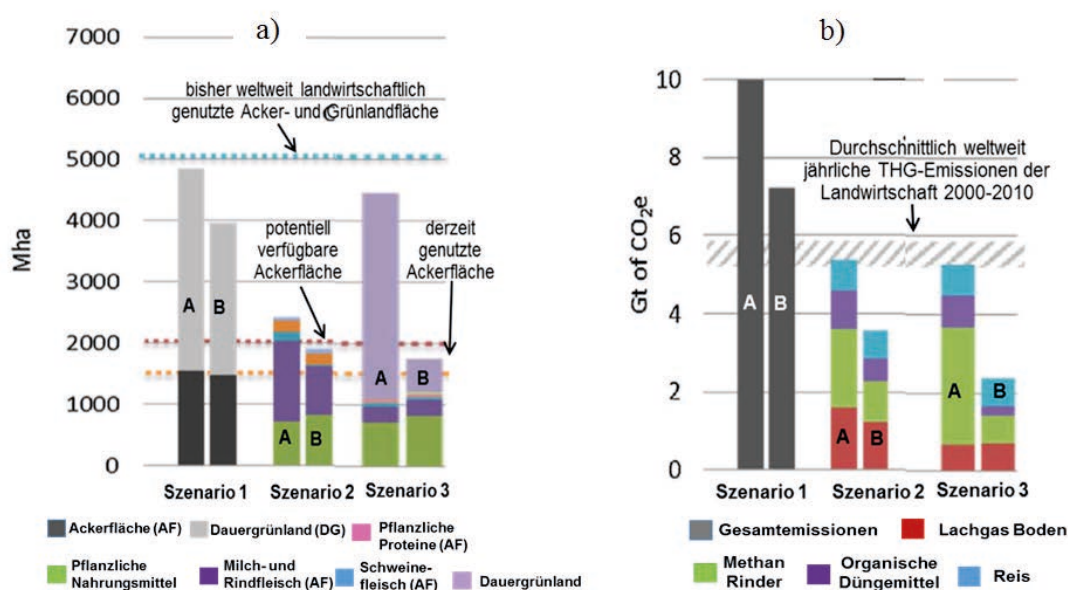
Die Auswertung der Praxisbetriebe zeigt, dass wichtige Maßnahmen zur Verringerung der THG-Emissionen nicht viel kosten müssen sondern sogar Kosten einsparen können: nährstoffeffiziente Futterproduktion, geringere Verluste in der Futtermenge und -qualität von der Fläche bis zum Tier, eine hohe Lebensleistung der Milchkühe. Hier heißt es aufzudecken und von den Besten zu lernen.

Mittel- und Langfristige Ansatzpunkte zur Vermeidung von THG-Emissionen. Wie in den Praxisauswertungen deutlich wird, spielen der effiziente Einsatz von N sowie der effiziente Flächeneinsatz eine bedeutende Rolle auf der Suche nach THG-Vermeidungsoptionen. Durch die Verminderung von N-Überschüssen werden weitere Umweltleistungen z.B. im Bereich Wasserschutz erbracht. Die effiziente Flächennutzung spielt im Bereich Klimaschutz eine zweifache Rolle. Zum einen entstehen bei der Bodenproduktion THG-Emissionen z.B. in Form von Lachgas durch den Einsatz von mineralischem und organischem N, in Form von Kohlenstoffdioxid-Emissionen durch Dieselbedarf oder in Form von Kohlenstoffdioxid-Emissionen durch die Bewirtschaftung von Moorböden [2]. Zum anderen kann die Fläche auch als Kohlenstoffsенke z.B. durch Aufforstung genutzt werden. Auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist die Fläche zunehmend knapper Produktionsfaktor.

Mittel- und langfristige gilt es daher Techniken zu entwickeln und Produktionssysteme zu definieren, die durch einen effizienten Ressourceneinsatz vor allem im Bereich der Nährstoffe und Fläche gekennzeichnet sind. Damit einhergehend muss auch die Rolle des Konsums berücksichtigt werden.

In einer kürzlich veröffentlichten Studie [4] wurde in zahlreichen Szenarien der Einfluss unterschiedlicher zukünftiger Produktionssysteme der Nutztierhaltung sowie Konsumgewohnheiten auf den weltweiten Flächenbedarf und die THG-Emissionen untersucht (Abb. 3). Dabei zeigt sich, dass eine Fortführung bisheriger Produktionssysteme selbst bei einer Veränderung der Konsumgewohnheiten zu einer Erhöhung der THG-Emissionen aus

der Landwirtschaft im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2010 führt (Abb. 3b, Szenario 1). Ein Szenario mit einer Intensivierung der Nutztierhaltung führt in Verbindung mit veränderten Konsumgewohnheiten zu einem deutlichen Rückgang der THG-Emissionen. In diesem Szenario reicht jedoch die derzeit verfügbare Ackerfläche nicht für die Futterproduktion aus. Ein Szenario mit veränderten Konsumgewohnheiten sowie einer Nutztierhaltung basiert auf Flächen und Rohstoffen, die für den Menschen nicht direkt verwertbar sind, führt zu einer mehr als 50 % Reduktion der THG-Emissionen sowie einem deutlichen Rückgang des Flächenbedarfs (Abb. 3a, b Szenario 3).



Szenario 1: Fortführung bisheriger Produktionssysteme der Nutztierhaltung
 Szenario 2: Deutliche Intensivierung bisheriger Produktionssysteme der Nutztierhaltung
 Szenario 3: Produktionssysteme der Nutztierhaltung basierend auf Futtermitteln, die nicht für den Menschen nutzbar sind (z.B. Biomasse von Dauergrünland, Reste der Nahrungsmittelproduktion)
 A: Fortführung bisheriger Konsumgewohnheiten (soweit in dem jeweiligen Szenario möglich)
 B: Konsumgewohnheiten basierend auf Empfehlungen für eine gesunde Ernährung (mehr Obst und Gemüse, Reduktion tierischer Produkte)

Abb. 3: Einfluss unterschiedlicher Szenarien zukünftiger Produktionssysteme der Nutztierhaltung sowie Konsumgewohnheiten auf den weltweiten Flächenbedarf und die THG-Emissionen (unter der Annahme einer zusätzlichen Erhöhung des weltweiten Ertragsniveaus sowie einer Verringerung von Verlusten)[3]

In der Bewertung der Flächeneffizienz unterschiedlicher Produktionssysteme der Milchviehhaltung werden zunehmend Ansätze gewählt, welche Futtermittel nach ihrer Eignung für die menschliche Ernährung differenzieren (Lebensmittelkonversionseffizienz). Ansätze für eine hohe Netto-Lebensmittelproduktion gibt es bereits in einer grundfutterbasierten Milcherzeugung, für die u. U. von Konsumenten sogar ein höherer Preis bezahlt wird. Langfristig könnte dieser Aspekt an Bedeutung gewinnen.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt (UBA) (2016): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2014 (Stand: 25.11.2015).
[http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envvpj0sg/DEU_2016_2014_14012016_125421_started.xlsx/manage_document]
- [2] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMELV) (2016): Klimawandel und Klimaschutz im Agrarbereich – Treibhausgasemissionen und Festlegung von CO₂. [<http://www.klimawandel-und-klimaschutz.de/minderungmitigation/treibhausgasemissionen/>]
- [3] Zehetmeier, M., Zerhusen, B., Zickgraf, W., Effenberger, M. (2017). Treibhausgas-Emissionen in bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben Verknüpfung von erhobenen Betriebsdaten, Modellen und Geodaten als Grundlage für die Bewertung von Treibhausgas-Vermeidungsoptionen. LfL Schriftenreihe, Freising.
- [4] Rööß, E., Bajželj, B., Smith, P., Patel, M., David Little, D., Garnett, T. (2017). Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Global Environmental Change* 47, 1–12.

Einzelbetriebliche Klimaschutzberatung - Erfahrungen aus Niedersachsen

Ansgar Lasar

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Klimabeauftragter

1. **Wofür werden einzelbetriebliche Klimabilanzen benötigt?**
2. **Welche Probleme stehen einzelbetrieblichen Klimabilanzen im Wege?**
3. **Wie geht es weiter?**

1 **Wofür werden einzelbetriebliche Klimabilanzen benötigt?**

Die Vereinten Nationen haben sich im Pariser Klimaabkommen auf das Ziel verständigt, dass die Erderwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts um maximal zwei Grad C im Vergleich zum Beginn der Industrialisierung steigen soll. Dazu sollen die Industriestaaten konkrete Vorschläge machen, wie viele Treibhausgasemissionen sie bis wann einsparen werden. Die EU und Deutschland sind dem Pariser Klimaabkommen beigetreten. Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 mindestens 80 % weniger Treibhausgasemissionen auszustoßen als im Referenzjahr 1990. Im deutschen Klimaschutzplan sind für einzelne Sektoren die einzusparenden Treibhausgasmengen genannt. Laut Klimaschutzplan betragen die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft 72 Mio. t CO₂ im Jahr 2014. Dabei sind die Emissionen aus der sogenannten Quellgruppe Landwirtschaft CRF3 und die Emissionen aus dem Kraftstoffverbrauch zusammengefasst. Im Jahr 2030 soll die deutsche Landwirtschaft 12 Mio. t weniger Treibhausgasemissionen verursachen.

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft (siehe Grafik) zeigt, dass sich die Treibhausgasemissionen in Niedersachsen überhaupt nicht und in Deutschland hauptsächlich in den ersten Jahren nach der Wiedervereinigung verringert haben. Bundesweit betragen die Treibhausgasemissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft 67 Mio. t CO₂e. Davon stammen 14,8 Mio. t CO₂e aus der niedersächsischen Landwirtschaft. In den letzten Jahren ist eine leichte Zunahme der Treibhausgasemissionen zu verzeichnen. Vor diesem Hintergrund erscheint das Ziel, die Treibhausgasemissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft in den nächsten 15 Jahren um 17 % zu reduzieren sehr ambitioniert und ohne Produktionsminderungen nicht zu erzielen. Aus Klimaschutzsicht ist zu hinterfragen, ob die Zielsetzung der Bundesregierung überhaupt dem Klimaschutz dient. In Niedersachsen zum Beispiel, sind im Jahr 2015 im Vergleich zu 1990 ohne einen Anstieg der Treibhausgasemissionen

- 22 % mehr Milch produziert worden,
- sind die Erträge im Pflanzenbau um 20 % gestiegen,
- werden viermal so viel Masthähnchen gehalten
- und 7,1 Mrd. kWh Strom aus Biogasanlagen ins Netz eingespeist.

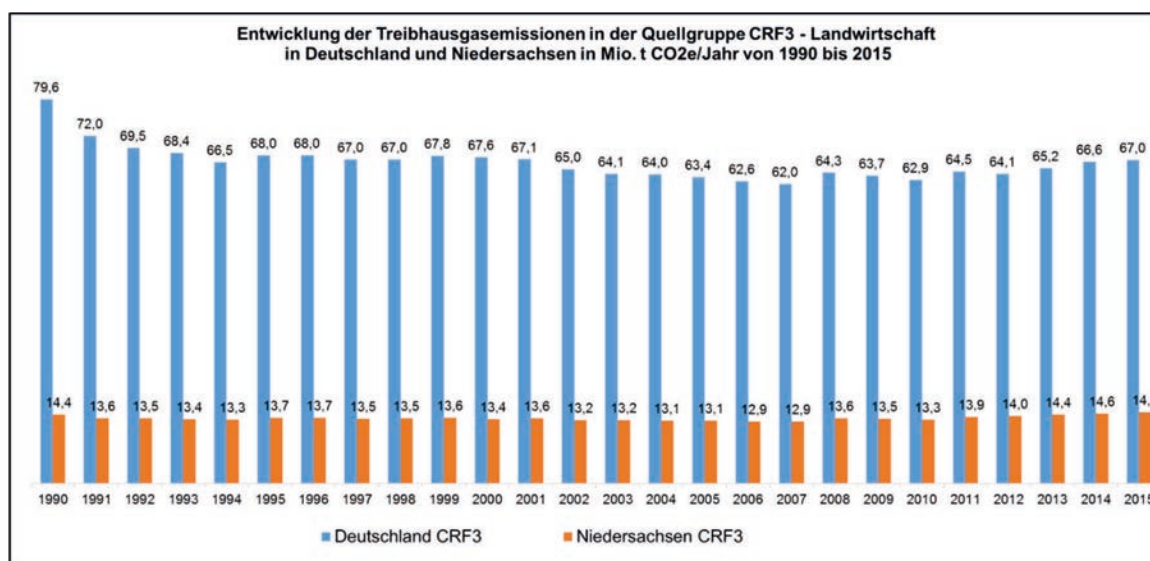


Abb. 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Quellgruppe Landwirtschaft in Deutschland und Niedersachsen (entspricht Quellgruppe CRF3 im Nationalen Treibhausgasinventar) in Mio. t CO₂-Äquivalenten/Jahr von 1990 bis 2015

Aus diesen Produktionssteigerungen jetzt die Schlussfolgerung zu ziehen, Niedersachsens Landwirtschaft sei klimaneutral gewachsen ist ebenso unsicher wie die Schlussfolgerung, dass eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft dem Klimaschutz dient.

Allein die Summe der Treibhausgasemissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft zu reduzieren, ohne dabei die Produktionsmenge zu berücksichtigen, führt am Ziel einer klimaschonenden Ernährung einer weltweit wachsenden Bevölkerung vorbei. Dieses Ziel ist bestenfalls dazu geeignet, die nationale Klimabilanz schön zu rechnen, allerdings ohne dabei die globalen Folgen zu berücksichtigen.

Für eine nachhaltig gesicherte Treibhausgasminderung kommt es darauf an, die am Markt benötigten landwirtschaftlichen Produkte mit möglichst wenig Treibhausgasemissionen zu erzeugen. Dazu müssen neben den Emissionen aus der Quellgruppe Landwirtschaft zusätzlich die Treibhausgasemissionen aus den vorgelagerten Bereichen, zum Beispiel für die Herstellung von Mineraldüngemitteln, die Erzeugung des verbrauchten Stroms oder für importierte Futtermittel, berücksichtigt werden. Erst die vollständige Erfassung der verursachten Treibhausgasemissionen und die Verteilung dieser Emissionen auf die erzeugte Produktmenge ist eine sachgerechte Grundlage für die Beurteilung der Treibhausgaseffizienz und für eine zielgerichtete Klimaschutzberatung. Am Beispiel der Milcherzeugung wird in Abb. 2 der Unterschied zwischen der Bewertung absoluter Treibhausgasemissionen und der Treibhausgaseffizienz verdeutlicht. Eine Kuh mit 9000 kg Milchleistung pro Jahr verursacht absolut gesehen natürlich mehr Treibhausgasemissionen als eine 6000 kg Kuh. Bezogen auf den eigentlichen Zweck der Milchviehhaltung, nämlich die Milcherzeugung, kann das Ergebnis ganz anders aussehen. Im Beispiel erzeugt die Kuh mit der höheren Milchleistung 23 % geringere Treibhausgasemissionen je kg Milch.

Die absoluten Treibhausgasemissionen sagen wenig aus über die Treibhausgaseffizienz

Beispiel:
Frage:
 Welche Kuh ist klimaschonender?
 Kuh 1: 6000 kg Milchleistung/Jahr mit 7.000 kg CO₂e/Jahr
 Kuh 2: 10.000 kg Milchleistung/Jahr mit 9.000 kg CO₂e/Jahr

Berechnung des CO₂-Fußabdrucks:
 Kuh 1: $7000/6000 = 1,17$ kg CO₂e/kg Milch
 Kuh 2: $9000/10000 = 0,90$ kg CO₂e/kg Milch
 (23 % weniger als Kuh 1)

Antwort:
 Kuh 2 ist klimaschonender, weil sie die Milch mit 23 % weniger Treibhausgasemissionen erzeugt als Kuh 1.

Abb. 2: Unterschied zwischen der Bewertung absoluter Treibhausgasemissionen und der Treibhausgaseffizienz

Welche Probleme stehen einzelbetriebliche Klimabilanzen im Wege?	
- Probleme	➤ Lösungen
- sind zu ungenau	➤ BEK-Standard
- sind zu aufwendig	➤ LWK-Rechentool
- sind zu teuer	➤ Beratungsförderung

Abb. 3: Probleme und Lösungen für einzelbetriebliche Klimabilanzen

2 Welche Probleme stehen einzelbetrieblichen Klimabilanzen im Wege?

Als die Landwirtschaftskammer vor fünf Jahren begann sich intensiver mit einzelbetrieblichen Klimabilanzen zu befassen, gab es fast nur „Bedenkenträger“. Einzelbetriebliche Klimabilanzen für die Landwirtschaft seien zu ungenau, zu aufwendig und schließlich zu teuer, so die einhellige Meinung der Kritiker. Tatsächlich war festzustellen, dass die Ergebnisse verschiedener Institutionen nicht vergleichbar waren. Ursache waren aber nicht ungenaue Berechnungen, sondern fehlende Standards für vergleichbare Berechnungen. Mit dem Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen in der Landwirtschaft gibt es jetzt einen bundesweit zwischen 11 Organisationen abgestimmten und beim KTBL öffentlich und kostenfrei zugänglichen Standard. Dieser Standard ist die Grundlage für Klimabilanzierungen der Landwirtschaftskammer.

Treibhausgasbilanzierung nach BEK			
THG-Rucksack aus Betriebsmitteleinsatz	+	THG aus Umsetzungsprozessen im Betrieb	= THG der erzeugten Produkte
Pflanzenbau			
z.B. für Saatgut, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel	+	z.B. aus Düngung, Wurzelrückständen und Humusumwandlung	= Hauptprodukte (z.B. Korn) und Nebenprodukte (z.B. Stroh)
Tierhaltung			
z.B. für Tierzugänge, Futtermittel, Einstreu und Energie	+	z.B. aus Stall, Lager, Weide und Verdauung	= Hauptprodukte (z.B. Fleisch) und Nebenprodukte (z.B. Gülle)
Biogas			
z.B. für Gärsubstrate und Energie	+	z.B. aus BHKW-Schlupf, Gärbehälter und Gärrestlager	= Hauptprodukte (z.B. Strom) und Nebenprodukte (z.B. Wärme)

Abb. 4: Treibhausgasbilanzierung nach Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK)

Wer sich die beim KTBL veröffentlichten Berechnungsbeispiele ansieht wird feststellen, dass alle Rechenschritte nachvollzogen werden können. Die Excel-Anwendungen sind aber nicht geeignet, um damit einzelbetriebliche Beratungen durchzuführen. Deshalb hat die Landwirtschaftskammer die Anwendungen auf Praktikabilität getrimmt. Die Rechen-tools der Landwirtschaftskammer Niedersachsen ermöglichen es, die Ist-Daten für das jeweilige Produktionsverfahren direkt auf dem Betrieb gemeinsam mit dem Landwirt in das Programm einzugeben. Als Ergebnis wird unmittelbar der CO₂-Fußabdruck des erzeugten Produkts ausgewiesen. Zunächst wird dann das eigene Ergebnis mit dem einer Vergleichsgruppe verglichen. Danach werden im Beratungsgespräch realistische Verbesserungsmaßnahmen besprochen und eingegeben. Die Auswirkungen der Veränderungen auf den CO₂-Fußabdruck werden angezeigt. Zusätzlich werden auch die wirtschaftlichen

Auswirkungen berechnet, wodurch das Interesse an der Umsetzung der Maßnahmen gesteigert wird (siehe Beispiel).

Für die wichtigsten Produktionsverfahren stehen bereits Rechentools zur Verfügung, wobei zwischen Praxisreife und Erprobungsreife unterschieden wird. Für die Milch-, Schweinefleisch- und Pflanzenerzeugung sind die Rechentools inzwischen praxisreif und sollen im nächsten Jahr niedersächsischen Beratern zur Verfügung gestellt werden. Die Rechentools für die Biogas-, Rindfleisch- und Geflügelerzeugung befinden sich noch in der Erprobungsphase.

Ihre Betriebsdaten im Zieljahr		Ist-Betrieb	Ziel	CO ₂ Fußabdruck in g CO _{2e} /kg Milch		
Wie groß ist der durchschnittliche Kuhbestand?	Stück	468	468			
Wie hoch ist die Milchleistung?	kg Milch/Kuh	9889	10000			
Wie schwer sind die Milchkühe durchschnittlich?	kg/Kuh	650	650			
Wie lange werden die Milchkühe genutzt?	Monate/Kuh	41	41			
Wie viel Kühe sind zum Abdecker gegangen?	Stück	8	8			
Wie viel Kraftfutter wird eingesetzt (88 % TM)?	kg KF/Kuh	3085	3000			
Wie hoch ist der Energiegehalt im Kraftfutter (88 % TM)?	MJNEL/kg KF	7,1	7,1			
Zu welchem Anteil besteht das Kraftfutter aus Sojaschrot?	% Soja im KF	20	15			
Wie hoch ist der Energiegehalt im Grundfutter (100 % TM)?	MJNEL/kg GF-TM	5,8	6,1			
Wie hoch sind die Grundfüttererträge (100 % TM) je ha?	kg TM/ha	11000	11000			
Wie hoch ist der durchschnittliche N-Bilanzsaldo je ha?	kg N/ha	39	39			
Zu welchem Anteil stammt das Grundfutter von Moorflächen?	% des Grundfutters	8	8			
Wie niedrig ist bei den Moorflächen der Grundwasserstand?	cm	60	60			
Wie hoch ist der Stromverbrauch?	kWh/Kuh	210	210			
Zu welchem Anteil wird eigener Photovoltaikstrom eingesetzt?	% des Stroms	0	0			
Wie viel Stunden sind die Tiere auf der Weide?	Weidestunden/Kuh	0	0			
Wie viel WD gelangt direkt in eine Biogasanlage?	% des WD	90	90	THG-Veränderung	-5	%
Wie viel WD gelangt nach Vorlagerung in eine Biogasanlage?	% des WD	10	10	THG-Veränderung	-390	kg/Kuh
				Gewinnveränderung	65	€/Kuh

Abb. 5: Beispiel eines Ist- Zielvergleichs für einen Milchviehbetrieb

In der Beratungspraxis kristallisieren sich bisher folgende Empfehlungen als besonders häufig und wirkungsvoll heraus. In der Tierhaltung geht es um die Verbesserung des Gesundheits- und Fütterungsmanagements, um die Reduzierung des Sojaschroteinsatzes, die Verwertung der anfallenden Gülle und des Festmistes in Biogasanlagen und die Vorkühlung der Milch sowie den Einsatz frequenzgesteuerter Elektromotoren. Im Pflanzenbau sind typische Empfehlungen die sofortige Gülleeinarbeitung mit Anpassung der Stickstoffdüngermengen, der Einkauf von klimaschonend hergestelltem Stickstoffdünger, der Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten sowie die Anhebung des Grabenwasserstandes an Moorflächen.

Es bleibt also festzuhalten, dass die von den Kritikern angeführten Probleme „zu ungenau“ durch den BEK-Standard und „zu aufwendig“ durch geeignete Rechentools gelöst sind. Wie ist es mit dem Argument „zu teuer“? Fest steht, dass viele Klimaschutzmaßnahmen sich auch wirtschaftlich rechnen. Allerdings stehen Landwirten auch andere Beratungsinstrumente zur Verfügung, mit denen sie gezielt Wirtschaftlichkeitsreserven aufspüren können. Die meisten Landwirte, die sich bislang für eine Klimabilanz gemeldet haben, wollten sie für die Öffentlichkeitsarbeit nutzen. Nach der Beratung waren sie angenehm überrascht, wie einfach die Klimabilanz zu rechnen und wie eingängig die Ergebnisse sind. Der gesellschaftliche Nutzen der einzelbetrieblichen Klimaschutzberatung kann sich ebenfalls sehen lassen. In einem Projekt mit dem Landkreis Oldenburg konnten im letzten Jahr in 30 einzelbetrieblichen Klimabilanzen Treibhausgaseinsparungen in Höhe von 1.488 t CO₂/Jahr aufgedeckt werden. Um diese Menge Treibhausgase einzusparen, müssten 14.800 Bundesbürger ihren jährlichen Stromverbrauch um 20 % senken.

Welchen Nutzen hat eine Klimabilanz für den Landwirt?

1. Sie zeigt auf wie die Klimabilanz aussieht und wie sie verbessert werden kann
2. Sie gibt Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit von Klimaschutzmaßnahmen
3. Sie kann der Öffentlichkeit die Klimaschutzleistungen aufzeigen

Nutzen für das Klima:

Durchschnittlich jährlich 50 t CO₂e-Einsparung je beratenem Betrieb.

Dafür müssten 500 Personen ihren jährlichen Stromverbrauch um 20 % reduzieren.



3 Wie geht es weiter?

Die Weiterentwicklung und Pflege der Rechentools erfolgt weiterhin durch die Landwirtschaftskammer. Über die Nutzung der Tools durch kammereigene Berater hinaus, sollen ab 2018 die praxisreifen Rechentools weiteren Beratern aus Beratungsringsen und Ingenieurbüros zur Verfügung gestellt werden. Zur größeren Verbreitung empfiehlt die Landwirtschaftskammer dem Land Niedersachsen, die Beratungsförderung in Zukunft stärker auf einzelbetriebliche Klimabilanzen auszurichten.

Klimafreundlich bauen in regionalen Kreisläufen

Jochen Simon ¹, Peter Stötzel ¹, Hannes Dietl ², Sabine Helm ³, Christel Lubenau ³,
Klaus Richter ³ und Gabriele Weber-Blaschke ³

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
² Beratung und Gutachten, Sachverständiger für die Sägewerksindustrie,
94315 Stubenberg

³ Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzwissenschaft,
Holzforschung München

Zusammenfassung

Holz hat in Bayern als universell einsetzbarer Baustoff eine lange Tradition. Es ist der einzige nachwachsende Rohstoff und dabei mit einer Waldfläche von ca. 2,6 Mio. ha bzw. einem Anteil von 37 % an der Gesamtfläche Bayerns nahezu überall verfügbar. Trotz vieler Vorteile führen beim landwirtschaftlichen Bauen Vorbehalte, aber auch scheinbar sachliche Argumente dazu, dass immer mehr Nutzgebäude bis hin zu Ausbau und Inneneinrichtung aus anderen Baumaterialien wie Stahl, Blech oder Kunststoff errichtet werden. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels ist es notwendig, diese Vorbehalte und Argumente zu hinterfragen. Warum Holz auch im landwirtschaftlichen Bauen als Baustoff mit hohem Zukunftspotenzial angesehen werden kann, zeigt der rechnerische Vergleich der Umweltwirkung einer Modellstallanlage für 170 Milchkühe in Holz und Stahl mittels Ökobilanz-Methodik. Im Ergebnis zeigt sich, dass Holz - gegenüber der Stahlkonstruktion - zu einer Reduzierung des Primärenergiebedarfs um 36 % und des Treibhauspotenzials um 62 % führt. Hinzu kommen beim korrekten Einbau eine sehr hohe Dauerhaftigkeit sowie sehr gute bauphysikalische Eigenschaften. Dazu ist Holz hinsichtlich der im landwirtschaftlichen Bauen wichtigen Frage des Investitionsbedarfs absolut konkurrenzfähig. Beim Vergleich der beiden Stallmodelle in Holz und Stahl hat sich bei gleicher Funktionalität ein Kostenvorteil von ca. 12 % für die Holzbauvariante ergeben.

1 Einleitung

Bei der Errichtung von landwirtschaftlichen Wohn- und Wirtschaftsgebäuden spielte Holz in Bayern als regional verfügbarer Baustoff früher eine wesentliche Rolle. Bei Wohngebäuden wurde Holz jedoch vielfach durch massive Baustoffe ersetzt. Bei den Wirtschaftsgebäuden führen Vorbehalte bzw. pauschale Aussagen wie „Bauen mit Stahl ist billig, stark und beständig“ dazu, dass selbst bei Betrieben, die den nachwachsenden Baustoff Holz aus dem eigenen Wald zur Verfügung hätten, immer mehr Nutzgebäude bis hin zu Ausbau und Inneneinrichtung aus Stahl, Blech oder Kunststoff errichtet werden.

Insbesondere mit Blick auf den Klimawandel ist es notwendig, diese Vorbehalte bzw. Aussagen zu hinterfragen. Denn mit der Wahl des Baustoffes kommt dem Bausektor und damit auch dem landwirtschaftlichen Bauwesen eine wesentliche Rolle im Klimaschutz

zu, da unter anderem der Energieeinsatz bei der Herstellung der Baustoffe ein maßgebender Faktor für deren Umweltauswirkungen ist.

Im Rahmen des Interreg IV Projektes „Bauen in regionalen Kreisläufen“ wurden zunächst variabel einsetzbare Tragkonstruktionen aus Holz für die Tierhaltung entwickelt, die über die ALB Bayern e.V. als ModulBauSystem Grub-WeihenstephanTM interessierten Landwirten als Bauherren zur Verfügung gestellt werden können. Im Vordergrund standen die Optimierung des Tierwohls (freie Lüftung, sommerlicher Hitzeschutz, Integration von Auslaufflächen) und der Arbeitswirtschaft, die Senkung der Baukosten, die Zukunftsfähigkeit durch Erweiterbarkeit sowie das landschaftsgebundene Bauen (Simon et al., 2013).

Unter anderem wurde ein Stallmodell für 170 Milchviehplätze, einmal mit einer Tragkonstruktion in Holz und zum anderen in Stahl mit der gleichen Funktionalität entwickelt. Auf dieser Grundlage konnte zum einen das Potenzial der beiden Baustoffe bezüglich der Treibhausgas- und Energieeinsparung (Helm, 2013, Helm et al., 2013a, b) ermittelt werden.

Da landwirtschaftliche Nutzgebäude immer auch im Zusammenhang mit dem starken Kostendruck auf die Erzeugung von Nahrungsmitteln gesehen werden müssen, stellte sich gleichzeitig die Frage, ob sich aus der Wahl des Baumaterials für eine der beiden Varianten Kostenvorteile ergeben (Simon et al., 2013). Um den „Rohstoff“ Rundholz im Sägewerk mit möglichst hoher Wirtschaftlichkeit verwerten zu können, wurde in diesem Zusammenhang auch die Möglichkeit der Reduzierung der Anzahl der erforderlichen Querschnitte für die Tragwerksprofile sowie deren optimale Anpassung an die typischen Stammquerschnitte untersucht.

Hinsichtlich des oben unter den Kriterien für das Tierwohl genannten sommerlichen Hitzeschutzes muss auf Grund der globalen Klimaerwärmung und der kontinuierlich steigenden Stoffwechselleistung von Milchkühen immer häufiger mit dem Auftreten von kritischen Temperaturen im Stall gerechnet werden. Neben der Lufttemperatur spielen insbesondere die Luftfeuchtigkeit, die Luftgeschwindigkeit und die Strahlungswärme, die vor allem über erwärmte Bauteile wie Dachflächen in den Stall gelangt, die entscheidende Rolle. Zur Verbesserung des sommerlichen Hitzeschutzes können bauliche Maßnahmen, insbesondere im Dachbereich ergriffen werden. Über das Interreg-Projekt hinaus wurden deshalb unter anderem unterschiedliche Dachaufbauten mittels einer rechnergestützten Simulation untersucht (Stötzel et al., 2017).

2 Methode

Als Stallmodell wurde zusammen mit einem Ingenieurbüro für Tragwerksplanung eine dreischiffige Liegehalle für 170 Tierplätze mit verbandsausgesteiftem Tragwerk und Flächen Gründung entwickelt (*Abb. 1*). Das Tragwerkskonzept ist so ausgelegt, dass der Futtertisch den Kern der Halle bildet, an den auf beiden Seiten unabhängig voneinander bzw. nach Bedarf die Dachkonstruktionen für den jeweiligen Liege- und Fressbereich angebaut werden können. Im Gegensatz zu herkömmlichen Hallentragwerken mit Zwei- oder Dreigelenkrahmen ist mit dieser Konstruktion z.B. bei Mischnutzungen (Milchvieh und Jungvieh unter einem Dach) ein bedarfsgerechter, in einzelne Bauabschnitte untergliederter Aus- und Weiterbau möglich.

Um die Umweltwirkung und die Kosten zwischen den beiden Materialien vergleichen zu können, wurde dieses Tragwerk jeweils für eine Ausführung in Holz und eine in Stahl nach den gleichen statischen Grundprinzipien vordimensioniert und geplant.

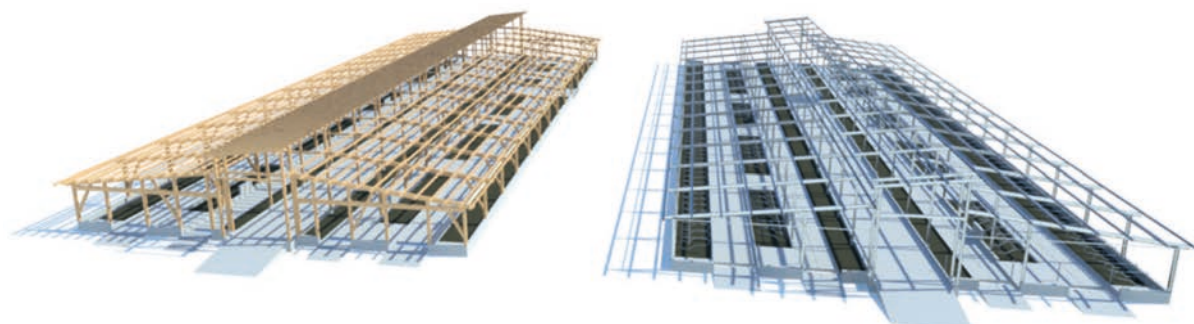


Abb. 1: Stallmodell in Holz- (links) bzw. Stahlbauweise (rechts)

Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial

Die Ökobilanz-Methodik gemäß DIN EN ISO 14040 und 14044 (NAGUS, 2006a, b) ermöglicht die Erfassung der Umweltauswirkungen eines Gebäudes entlang seines Lebenszyklus. An Hand der Material- und Stücklisten des Modellstallgebäudes wurde das Tragwerk in Holzbauweise und das funktionell gleichwertige Tragwerk in Stahlbauweise hinsichtlich des Primärenergiebedarfs und des Treibhauspotenzials verglichen (Helm, 2013). Betrachtet wurden die Herstellung der verschiedenen Bauprodukte inklusive der Vorketten, die damit verbundenen Transportaufwendungen sowie die stoffliche und energetische Verwertung bzw. Entsorgung der gebrauchten Baustoffe.

Vergleich des Investitionsbedarfs

Zur Einholung von Angeboten wurden Leistungsverzeichnisse erstellt und zusammen mit den entsprechenden Planunterlagen Zimmererbetrieben und Stahlbauunternehmen als Kalkulationsgrundlage zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurde mit dem Ingenieurbüro für Tragwerksplanung die Anzahl der unterschiedlichen Querschnitte für die jeweiligen Tragwerksteile reduziert und auf eine wirtschaftliche Verwertung des Rundholzes in den Sägereien optimiert.

Optimierung des sommerlichen Hitzeschutzes

Abweichend von dem oben genannten Stallmodell für 170 Milchkühe wurde für die Simulation ein 3-reihiger Milchviehstall für 67 Tierplätze (TP) mit den entsprechenden Wärme- und Feuchtelasten in Form konstanter Tagesprofile bei einer Temperatur von 20 – 25°C im Stallinneren angenommen. Für die bauphysikalische Frage der Reduzierung des sommerlichen Hitzestresses durch bauliche Maßnahmen wurden die hygrothermischen Bedingungen des Innenraumklimas mittels des Programms WUFI Plus (Wärme und Feuchte instationär) des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik mit Hilfe realer Klimadaten und unter Berücksichtigung der inneren Wärme- und Feuchtelasten simuliert. Grundlage für dieses Programm bilden die Daten für unterschiedliche Dachaufbauten aus abgeschlossenen Forschungsvorhaben des Fraunhofer-Instituts.

3 Ergebnisse

Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial

Die verbaute Menge von 106 to Holz speichert rund 47 to Kohlenstoff. Das entspricht einer Entnahme von ca. 174 to CO₂ aus der Luft. Das Treibhauspotenzial wird durch die Holzbauweise gegenüber der Stahlbauweise mit einem Bedarf von 77 to Stahlprofilen um gut 200 to CO₂-Äquivalent und der Primärenergiebedarf um knapp 1,5 Mio. MJ reduziert (Abb. 2).

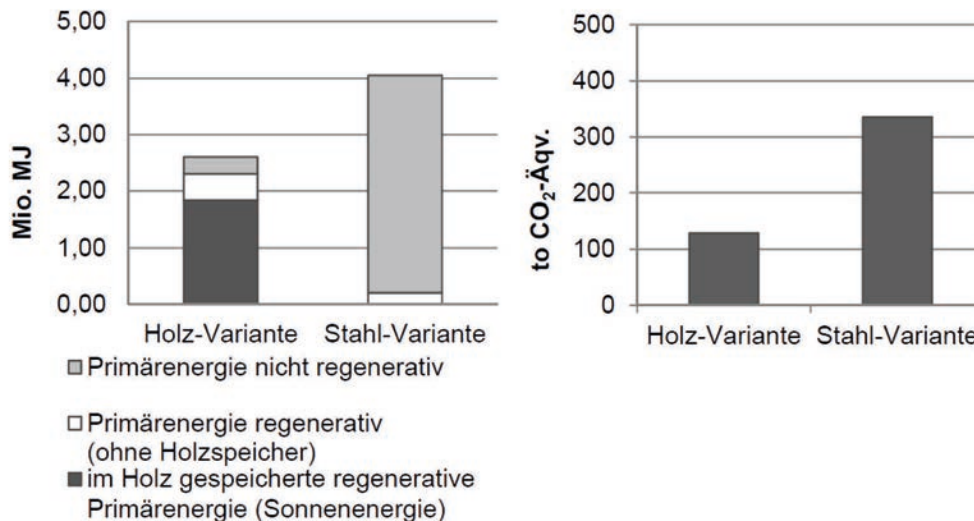


Abb. 2: Primärenergiebedarf [MJ] (links) und Treibhauspotenzial [CO₂-Äquivalente] des Modellstalls (rechts)

Durch Berücksichtigung der Substitution von fossilen Energieträgern bei der thermischen Verwertung des Holzes werden bei der Holz-Variante rechnerisch gut 33 to CO₂-Emissionen vermieden. Das Tragwerk in Stahlbauweise verursacht dagegen 118 to CO₂-Emissionen. Die Verwendung von regionalem Holz führt zu zusätzlichen Einsparungen. Für eine durchschnittliche Transportentfernung von 25 km für regionale Holzrohstoffe im Modellbetrieb ergeben sich Einsparungen von rund einer Tonne CO₂ und rund 17 Tsd. MJ Primärenergie gegenüber durchschnittlichen Holztransportentfernungen in Deutschland mit 95-175 km.

Vergleich des Investitionsbedarfs

Die Investition für die Gebäudehülle in Stahl (inkl. Konstruktion und Verkleidung der Wände mit Profilblechen sowie Dacheindeckung mit Sandwichpaneelen, ohne Bodenplatte und Stalleinrichtung) liegt bei ca. 315.000 € bzw. ca. 1.850 €TP (netto, Stand 2013). Der Investitionsbedarf für das gleiche Tragwerk in Holz beläuft sich auf ca. 276.000 € bzw. ca. 1.620 €TP (netto, Stand 2013). Für die beiden Material-Varianten werden zum einen ca. 77 to Stahlprofile und zum anderen ca. 106 to Holz (= ca. 217 m³ Schnittholz = ca. 1,3m³ Schnittholz/TP) benötigt. Die Holzmenge verteilt sich auf ca. 118 m³ Kantholz und ca. 99 m³ Schalung/Latten. Um diese Holzmenge bzw. die erforderlichen Querschnitte aus einem 80-100 jährigen Fichtenbestand mittlerer Bonität zu erhalten, sind je nach Gesamtausbeute ca. 360-445 fm Holz erforderlich. Bei einer 20%igen Durchforstung in einem Bestand mittlerer Bonität entspricht dies einer Waldfläche von ca. 4,5–5,5 ha. Bei ei-

nem Holzzuwachs von ca. 60 fm Rundholz (= ca. 36 m³ Schnittholz) pro Minute in Bayern wächst diese Holzmenge ca. alle 6 Minuten nach.

Optimierung des sommerlichen Hitzeschutzes

Bzgl. der Reduzierung der sommerlichen Hitzestress-Stunden konnte über die Simulation gezeigt werden, dass der Einfluss unterschiedlicher Dachaufbauten auf die Hitzestress-Stunden auf Grund der unterschiedlichen Wärmestrahlung, die ins Stallinnere gelangt, erheblich ist (Abb. 3). Als Referenzwert dient ein Schatten spendender Hutebaum auf einer Weidefläche (s. Säule „Außenklima“). Unter diesem wären die Tiere ca. 325 milden Hitzestress-Stunden/Jahr und ca. 288 mäßigen Hitzestress-Stunden/Jahr (ca. 613 Stunden ges./Jahr) ausgesetzt. Bei den verschiedenen Aufbauten schneiden einschalige Dachaufbauten aus Ziegeln, Faserzement oder Blech mit im Schnitt ca. 728 Hitzestress-Stunden/Jahr am schlechtesten ab. Die Unterschiede innerhalb dieser Gruppe sind dabei auf die unterschiedlichen Absorptionsgrade (Helligkeit) der Oberflächen zurückzuführen. Dagegen ergeben sich für den mehrschichtigen Dachaufbau mit 24 mm Holzschalung bzw. für die Eindeckung mit 40 mm Sandwich-Paneelen im Schnitt ca. 632 Hitzestress-Stunden/Jahr. Mit einer 150 mm Brettstapeldecke reduzieren sich die Hitzestress-Stunden auf ca. 603 h/Jahr.

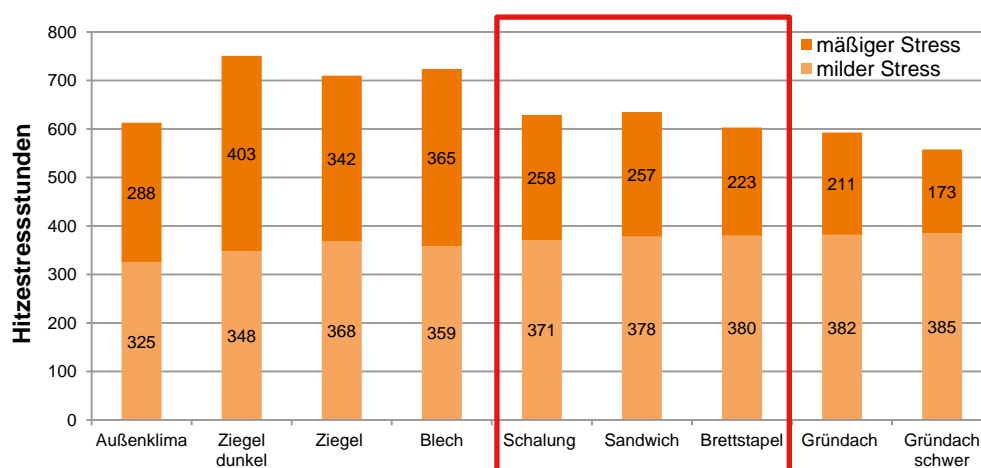


Abb. 3: Hitzestressstunden bei unterschiedlichen Dachaufbauten eines Milchviehstalls

4 Schlussfolgerungen

Hinsichtlich der Umweltauswirkungen Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial ergibt sich beim Vergleich der Tragwerke Holz gegenüber Stahl als der zu bevorzugende Baustoff. Je höher die eingesetzte Menge an Holz, desto größer sind die Einsparungen an Primärenergie und Treibhausgasen. Die Verwendung von regionalem Holz führt durch die Verringerung der Transportwege zu zusätzlichen Einsparungen und fördert die Wertschöpfung in der Region durch die Verarbeitung des Holzes über standortnahe Sägereien und holzverarbeitende Betriebe. Insbesondere die untersuchten Vollholzkonstruktionen können von Zimmerer-Betrieben, ggf. in Zusammenarbeit mit den Selbsthilfeorganisationen, ohne großen technischen Aufwand vor Ort hergestellt werden.

Bei den Kosten liegt der Vorteil für die Holzkonstruktion bei ca. 12 %. Hinzu kommen eine sehr hohe Dauerhaftigkeit, soweit das Holz nach den anerkannten Regeln der Technik für den konstruktiven Holzschutz (gem. DIN 1052) eingebaut wird sowie die Eigenleistungsfreundlichkeit bei der Erstellung des Gebäudes und beim Bauunterhalt. Bei der Verwertung des Rundholzes fällt wiederum die sog. Seitenware an, die sich als Schalung und damit hochwertiges Baumaterial unter Eindeckungen wie Ziegel, Faserzementplatten oder Profilblechen bewährt hat (Abb. 4). Der sich daraus ergebende mehrschichtige Dachaufbau hat wiederum Einfluss auf die bauphysikalischen Eigenschaften der Dächer.

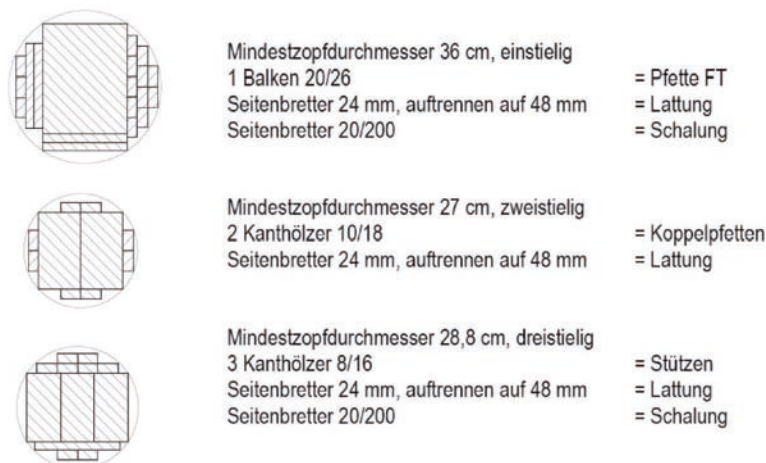


Abb. 4: Ausnutzung von typischen Stammquerschnitten bei der Formatierung der Querschnitte für den Modellstall

Auch wenn das vollständige Vermeiden von Hitzestress in einem Milchviehstall allein durch bauliche Maßnahmen nicht möglich ist, zeigt sich dennoch, wie wichtig vor dem Ergreifen aktiver technischer Maßnahmen, wie Ventilatoren oder Kuhduschen, die Optimierung der baulichen Hülle und das Ausschöpfen passiver Maßnahmen ist. Hier liegen mehrschichtige Dachaufbauten mit einer üblichen 24 mm Holzschalung gegenüber einer 40 mm Sandwich-Paneele mit Polyurethan-Schaumkern (PUR) in etwa gleich auf. Wie an der Verringerung der sommerlichen Hitzestress-Stunden durch den Einbau von Brettstapel-Elementen gezeigt werden konnte, lässt sich dieser durch die Erhöhung der Schalungsdicke bedarfsgerecht steigern. Im Gegensatz zu Sandwich-Paneelen, für die als Verbundwerkstoff und damit Sondermüll am Ende der Nutzungsphase zusätzliche Kosten durch die Entsorgung anfallen, lassen sich mehrschichtige Dachaufbauten trennen und recyceln bzw. die Holzschalung thermisch verwerten.

Die Verwendung von Holz sollte daher weiter gefördert und öffentlich befürwortet werden. Dabei läge aus dem Strukturwandel der letzten Jahrzehnte und der Umstellung von Anbinde- auf Laufställe der jährliche Bedarf für neu zu errichtende Stallanlagen in Bayern nach vorsichtigen Schätzungen allein in der Milchviehhaltung bei ca. 15.000 Tierplätzen. Legt man den oben ermittelten Bedarf von ca. 1,3 m³ Schnittholz pro Tierplatz zu Grunde, ergibt sich daraus ein jährlicher Bedarf von ca. 19.500 m³ abgebundenem Holz.

Neben der guten Integrierbarkeit von landwirtschaftlichen Nutzgebäuden in Holz in die Landschaft könnte das positive Image, das Holz als Baumaterial innehat, zugleich einer zeitgemäßen Landwirtschaft zu mehr Akzeptanz in der Bevölkerung verhelfen. Ein zukunftsweisender, moderner Stall in Holz als Brücke, einer skeptischen, landwirtschaftsfernen Bevölkerung wieder Zugang zur Urproduktion zu verschaffen. Letztendlich werden

hier zwei Dinge sinnhaft zusammengebracht: Der regionale Baustoff mit seiner gesamten Wertschöpfungskette in der Verwendung für bauliche Anlagen, die wiederum der Erzeugung bayerischer Qualitätsnahrungsmittel dienen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 1052 (2008): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau Ausgabe: 2008 – 12, DIN - Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.
- [2] Helm, S. (2013): Vergleich eines landwirtschaftlichen Gebäudes in Holz- versus Stahlbauweise hinsichtlich Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial – Entwicklung eines Software-Tools zur vereinfachten Abschätzung von Umweltauswirkungen landwirtschaftlicher Gebäude. Masterarbeit am Lehrstuhl für Holzwissenschaft/Holzforschung München der Technischen Universität München.
- [3] Helm, S.; Lubenau, C.; Weber-Blaschke, G.; Richter, K.; (2013a): Landwirtschaftliches Bauen mit Holz oder Stahl. Verbundprojekt Bauen in regionalen Kreisläufen. Vergleich hinsichtlich Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial. Holzzentralblatt, Nr. 48 (29.11.2013), 1190-1191.
- [4] Helm, S.; Lubenau, C.; Weber-Blaschke, G.; Richter, K.; (2013b): Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial bei landwirtschaftlichen Nutzgebäuden. In: INTERREG IV Bayern-Österreich. Landwirtschaft - Bauen in regionalen Kreisläufen. Hrsg. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), Freising, Broschüre, 1-21.
- [5] Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS, 2006a): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen DIN EN ISO 14040: 2006.
- [6] Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS, 2006b): Umweltmanagement- Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen DIN EN ISO 14044: 2006.
- [7] Simon, J.; Blenk, M.; Dietl, H.; Geischeder, S.; Goblirsch, G.; Helm, S.; Von Huene, A.; Lubenau, C.; Richter, K.; Schulze, A.; Weber-Blaschke, G. (2013): Landwirtschaft - Bauen in regionalen Kreisläufen im Rahmen von INTERREG IV Bayern-Österreich. Hrsg. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), Freising.
- [8] Stötzel, P.; Simon, J. (2017): Simulationen des Einflusses von baulichen Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress in Milchviehställen. In: Tagungsband zur 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung in Stuttgart-Hohenheim. Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, S. 451-456

Nachhaltiges Wirtschaften – Baustein moderner Unternehmensführung

Dieter Pfab

Landesverband der steuerberatenden und wirtschaftsprüfenden Berufe in Bayern
Gemeinnützige Bayerische Akademie für Umwelt, Gesundheit und nachhaltige
Entwicklung UG

Zusammenfassung

Digitale Landwirtschaft als Chance

- Mehrfachanträge über iBALIS
(<http://www.stmelf.bayern.de/agrarpolitik/foerderung/001141/index.php>)
- Online-Banking
- Online-Zugriff auf Biogasanlagen/PV-Anlagen mit Möglichkeiten der Speicherung von Protokollen/Ständen etc.
- Zunehmende Rechnungseingänge und -ausgänge elektronisch
- Wiegeprotokolle/-lieferscheine für Saatgut, Erzeugnisse, Dünger etc. in digitaler Form
- Digitale Aufzeichnungen, Dokumentationen und Nachweise zur Erfüllung verschiedenster rechtlicher Vorgaben/Verordnungen (Bioabfallverordnung, neue Düngeverordnung => s. <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032364/index.php>)

Unser Ansatz für einen Klimaschutz in ihrem administrativen Bereich:

- Verzicht auf Ausdrucke durch Einsatz von DMS-Systemen mit ortsunabhängigem Zugriff
- Digitale Buchhaltung zur Wahrung der GOBD
- Enorme Papiereinsparpotentiale... (Weiteres aus der Präsentation von P. Hess)

Weitere Ansätze:

- Energieeinsparpotentiale durch Nutzung selbsterzeugten Stromes, Wärme etc.
- Lösungen zur Nutzung moderner Vakuumverdampferanlagen für die Gärresteaufbereitung als Erweiterung von Biogasanlagen, mit denen die neue Düngemittelverordnung eingehalten wird usw. => Kurzdarstellung der Vorteile s. <http://www.vapora.de/rs/de/guelle-und-gaarrestaufbereitung>.

Quelle: Grünwald & Laukmanis Steuerberater PartG mbH, Wagenhofen

1 Systematik von Umweltmanagementsystemen

Nachhaltigkeit ist ein international anerkanntes Leitbild und längst auch ein wichtiger Bestandteil der Zukunftsstrategien erfolgreicher Unternehmen.

Nachhaltig wirtschaften heißt, Ökologie und Ökonomie so in Einklang zu bringen, dass die Bedürfnisse heute lebender Menschen befriedigt werden, ohne die Bedürfnisbefriedigung künftiger Generationen zu gefährden.

Eine umweltorientierte Wirtschaftsweise wird zunehmend als selbstverständlicher Standard eines modernen Unternehmens angesehen. Betrieblicher Umweltschutz muss heute ein integraler Bestandteil moderner Unternehmensführung sein.

1.1 Vorteile durch Umweltmanagement

- Reduzierung des Energieeinsatzes
- Reduzierung von Ressourceneinsatz und Schadstoffen
- Verbesserung von Image und Außendarstellung
- Rechtssicherheit in Umweltschutzfragen
- Alle Mitarbeiter werden aktiv in den Prozess des Energiesparens/Umweltschutzes eingebunden

1.2 Systematik von Umweltmanagementsystemen

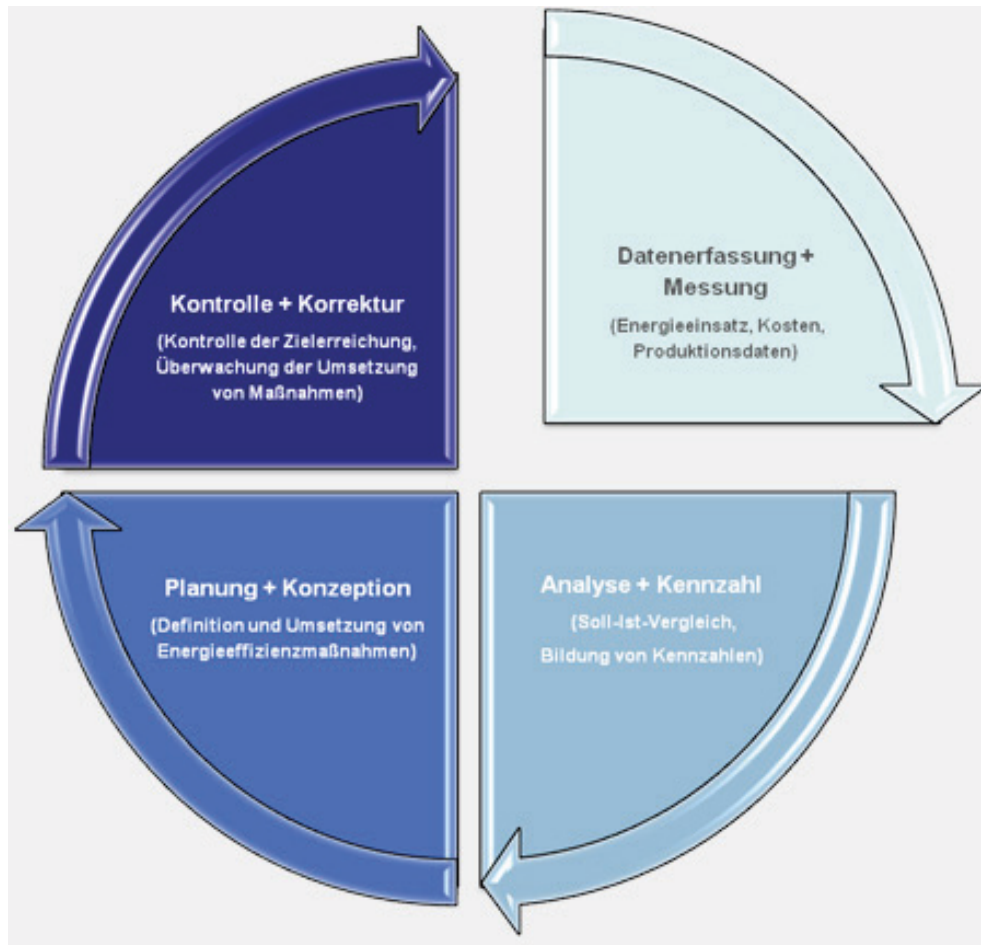


Abb. 1: Systematik von Umweltmanagementsystemen

1.3 Der optimale Einstieg in Umweltmanagementsysteme



Abb. 2: Umweltmanagementansätze und -systeme. Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

2 Umweltmanagement an praktischen Beispielen

Orientierung am sogenannten „Dreisprungprinzip“

- Ressourcen (Energie) sparen
- Energieeffizienz steigern
- Energie gewinnen

2.1 Handlungsfeld - Ressourcen sparen

2.1.1 Papier

Beispiel: Steuerkanzlei

- Kanzlei mit klassischen Geschäftsfeldern sowie betriebswirtschaftliche Beratung, Nachfolgeberatung und Wirtschaftsprüfung und insgesamt 600 Mandanten
- 11 Mitarbeiter
- 6 Drucker, die pro Jahr 138.336 Blatt Papier bedrucken
- Interne Ausdrücke (nicht für den Versand) ca. 60.000 Blatt Papier
- Die Kanzlei arbeitet mit DATEV Dokumentenablage.
- Im untersuchten Fall wurden insgesamt ca. 60.000 Blatt Papier für interne Verwendung gedruckt.
- Dadurch wurden ca. 400 Stunden Arbeitsaufwand verursacht.

- Bei durchschnittlichen Personalkosten von 25 Euro pro Stunde verursacht dies Kosten von ca. 10.000 Euro pro Jahr
- Eine Reduzierung der internen Drucke um 75 % ist jederzeit möglich, wenn man die Arbeitsprozesse verändert und die vorhandene Software konsequent einsetzt
- Reduzierung der Gesamtkosten von bisher 41.000 Euro um bis zu 75 %
- Warum wurde das nicht gemacht?
- Weil man im stressigen Alltag nicht permanent über Arbeitsprozesse nachdenkt, die man immer so gemacht hat.
- Weil man sein ganzes Leben mit Papier gearbeitet hat.
- Weil diese Kosten nicht sichtbar sind.
- Thema Ressourcen wird nicht übergreifend gesehen, denn auch die Mitarbeiter und Kanzleiinhaber müssen an einem Strang ziehen.

2.1.2 Wasser und Abwasser

Beispiel: Bewirtungsbetrieb/Gaststätte

- Wasserverbrauch 2013 und 2014 jeweils 1.500 m³
- Verbrauch durch nicht entdeckten Schaden am Überlaufventil ca. 800 m³ pro Jahr
- Unnötige Kosten

Wasser	1.300 Euro
Abwasser	1.900 Euro
Gesamtschaden	3.200 Euro
- Benötigter Umsatz ca. 32.000 Euro

2.1.3 Strom

Beispiel: Mittelständischer Betrieb

- Stromkosten Lüftungsanlage in den Weihnachtsferien ca. 10.000 Euro
- Abschaltung Lüftungsanlage
- Einsparung Stromkosten 10.000 Euro

2.2 Handlungsfeld - Energieeffizienz steigern

Energieeffizienz

Beispiel: Produktionshalle mittelständischer Betrieb

- Umstellung von Neonröhren auf LED
- Investitionskosten 55.500 Euro
- Einsparung Stromkosten pro Jahr 41.128 Euro; Amortisationszeit 1,35 Jahre
- Einsparung sonstige Kosten (Wartung) 9.697 Euro
- Einsparung Gesamt 50.823 Euro; Amortisationszeit 1,09 Jahre

2.3 Handlungsfeld - Energie gewinnen

- Investitionen in Energiegewinnung sollten unter Berücksichtigung vorher umgesetzter Effizienzmaßnahmen geplant werden
- Amortisationszeiten beachten

2.4 Handlungsfeld - Marketing

Positionierung des Unternehmens als umweltfreundlicher landwirtschaftlicher Betrieb

Alleinstellungsmerkmal erlangen

- Plus-Energiebetrieb
- Regionale und biologische Produkte
- Umsatzsteigerung

