

Nährstoffkreisläufe schließen – effiziente Ressourcennutzung in der Landwirtschaft





Nährstoffkreisläufe schließen – effiziente Ressourcennutzung in der Landwirtschaft

KTBL-Tagung am 19. und 20. März 2024

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

Fachliche Begleitung

Programmausschuss

Dr. Harm Drücker | Prof. Dr. Andreas Gattinger | Dr. Horst Gömann | Prof. Dr. Fenja Klevenhusen |
Dr. Peter Kornatz | Dr. Stefan Kotte | Dr. Fabian Lichti | Dr. Frank Lorenz | Andrea Meyer |
Dr. Thorsten Reinsch | Dr. Ulrich Schumacher

© KTBL 2024

Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Telefon +49 6151 7001-0 | E-Mail: ktbl@ktbl.de

vertrieb@ktbl.de | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189

www.ktbl.de

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Titelfoto

© www.agrarfoto.com

Inhalt

Nutztierhaltung im Wandel: Perspektiven einer Nachhaltigkeitstransformation BARBARA J. GRABKOWSKY.....	5
Integrierter Ansatz: die Zukunft der Tierhaltung im Ernährungssystem WILHELM WINDISCH.....	15
Veränderung der Tierhaltung durch gesellschaftliche und regulatorische Entwicklungen aus Sicht eines Finanzierers CHRISTIAN BOCK.....	21
Nährstoffströme in der Landwirtschaft: Woher kommen wir? – Status quo und Ausblick auf die Zukunft BERNHARD OSTERBURG.....	25
Modellgestützte Bilanzierung und Optimierung von Nährstoffkreisläufen in landwirtschaftlichen Betriebssystemen KURT-JÜRGEN HÜLSBERGEN, JOSEPH DONAUER, MARTIN MITTERMAYER, AURELIA OSTERMAIER, HARALD SCHMID.....	34
Nährstoffausscheidungen und -bilanzen bei besonders tiergerechten Haltungsverfahren STEPHAN SCHNEIDER.....	44
Mehr Tierwohl – wie verändern sich die Emissionen? EVA GALLMANN.....	48
Minderung von Ammoniakemissionen durch die Zugabe von Güllezusatzstoffen während der Lagerung SUSANNE HÖCHERL, VERONIKA FLAD, BETTINA MÖSSNANG, HELMUT RAMPELTSHAMMER, MICHAEL KUTZOB, STEFAN NESER, EBERHARD HARTUNG, FABIAN LICHTI.....	51
Vieh gibt Gas: Biogas als integraler Bestandteil der Tierhaltung zur Emissionsminderung PETER KORNAZ, JAQUELINE DANIEL-GROMKE, WALTER STINNER, GERD REINHOLD, NADJA RENSBERG.....	54
Aufbereitung und Transport von Gülle und Festmist aus praktischer und ökonomischer Sicht HANS-JÜRGEN TECHNOW.....	62
Humus- und Nährstoffwirkung von (aufbereiteten) Wirtschaftsdüngern THOMAS EBERTSEDER.....	69
Erhöhung der N-Ausnutzung flüssiger Wirtschaftsdünger – Applikation in wachsende Bestände CAROLINE BENECKE.....	72
Die Landwirtschaft voranbringen – ganzheitliche Betrachtung von Tierhaltung und Pflanzenbau: Statement einer Betriebsleiterin GESA LANGENBERG.....	78

Die Landwirtschaft voranbringen – ganzheitliche Betrachtung von Tierhaltung und Pflanzenbau: Statement des Netzwerkes Ackerbau Niedersachsen e.V. (NAN)	
HILMAR FREIHERR VON MÜNCHHAUSEN	80
Die Bedeutung der Nutztierhaltung für eine ökonomische und nachhaltige Landwirtschaft	
PETER SPANDAU	82
Zur Rolle der Digitalisierung in der kreislauforientierten Agrarsystemtransformation	
KATHARINA HELMING, NORA NAUMANN, MICHELLE ECKHARDT.....	85
Die Rolle der Landnutzungssysteme und Ernährung in einer klimaneutralen EU	
AGORA AGRAR	91
Mitwirkende.....	95

Nutztierhaltung im Wandel: Perspektiven einer Nachhaltigkeitstransformation

BARBARA J. GRABKOWSKY

1 Ausgangssituation

Die hochkomplexen Agrar- und Ernährungssysteme (AuES) in den Ländern mit intensiver Landwirtschaft stehen inmitten eines tiefgreifenden Transformationsprozesses. Die Tragweite, Komplexität und Wechselbeziehungen zahlreicher endogener und exogener Herausforderungen an die AuES sowie die Vielfalt der Perspektiven, Interessenlagen und Ansprüche erfordern einen Wandel des Systems, da insbesondere die Zukunftsfähigkeit der gegenwärtigen Nutztierhaltung infrage gestellt wird. In Deutschland entlud sich in den letzten Jahren ein multidimensionaler Druck auf die Landwirtschaft in gesellschaftlichen Auseinandersetzungen und Protesten. Im Jahr 2019 eskalierten die Proteste aus der landwirtschaftlichen Praxis gegen neue gesetzliche Regelungen in einem solchen Ausmaß, dass die damalige Bundeskanzlerin die Zukunftskommission Landwirtschaft unter dem Vorsitz von Prof. Dr. Strohschneider initiierte. Anfang 2024 entwickelte sich eine erneute Protestwelle, die sich im Kontext kurzfristig kommunizierter Pläne der Ampelregierung zu einem Auslaufen der Agrardieselvergütung bis 2026 aufgebaut hatte. Die Intensität der Proteste spiegelt die emotionsgeladene Frustration, existenzielle Sorgen und empfundene Ohnmacht der landwirtschaftlichen Praxis wider, die sich in dem dynamischen Transformationsprozess in den letzten Jahren aufgebaut hat. Im Zentrum dieses Prozesses steht der Umbau der Nutztierhaltung. Im Konferenzbeitrag erfolgt eine Analyse verschiedener endogener und exogener Faktoren, die den Transformationsprozess in der deutschen Nutztierhaltung beeinflussen. Im abschließenden Teil werden Perspektiven einer Nachhaltigkeitstransformation exemplarisch beleuchtet und diskutiert.

2 Zusammenhänge und Herausforderungen der Nachhaltigkeitstransformation

2.1 Entwicklung der Bedarfslage

„Die Erzeugung von Lebensmitteln ist eine Aufgabe von gesellschaftlich fundamentaler und für alle Menschen existenzieller Bedeutung.“ (ZKL 2021) In der Nachkriegszeit fand eine Intensivierung der deutschen landwirtschaftlichen Produktionssysteme statt, um eine Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln sicherzustellen. Zahlreiche Erkenntnisse in den Bereichen Haltung, Genetik, Produktionsleistung, Lebensmittelsicherheit und Kettenorganisation führten in der Nutztierhaltung zur Entwicklung von intensiven Produktionssystemen, die auf Quantität und Produktqualität ausgerichtet waren. Im Nordwesten des Agrarlands in Niedersachsen entstand beispielsweise ein Innovationscluster der Nutztierproduktion, in dem vor- und nachgelagerte Branchen eng verzahnt ein effizientes und leistungsstarkes Wertschöpfungssystem bilden, das ein Motor für Beschäftigung und Bruttowertschöpfung darstellt (Fink et al. 2022). Auf dieser Grundlage entwickelte sich ein starker internationaler Marktanteil, der Deutschland lange Zeit eine führende Rolle im Export deutscher Fleischerzeugnisse einnehmen ließ. Die zunehmende Effizienz der Produktion in intensiven Haltungssystemen ermöglichte zudem eine Reduzierung der Produktionskosten, sodass Fleisch

und Fleischwaren zu günstigen Preisen angeboten wurden, die wiederum eine verstärkte Nachfrage hervorriefen.

Im Kontext des tiefgreifenden gesellschaftlichen Wertewandels und zunehmenden Erkenntnisgewinns (Rockström et al. 2009, WEF 2024) fanden auch ethische Aspekte schrittweise Berücksichtigung, etwa bezogen auf die verstärkte Forderung nach mehr Tierwohl. Die aus Effizienzgründen entwickelten Intensivtierhaltungen gerieten in diesem Zusammenhang zunehmend in die öffentliche Kritik. Im Kontext der planetaren Grenzen (Wang-Erlandsson et al. 2022) nehmen zudem Klima- und Umweltschutz einen zunehmenden Stellenwert im gesellschaftlichen Bewusstsein ein. Somit ist ein Wandel von einer anthropozentrischen hin zu einer patho- und biozentrischen Sichtweise erkennbar (Selter und Salloch 2023), der eine grundlegende Einstellungsänderung im Umgang mit Tier, Boden, Wasser und Luft voraussetzt. Darin sind zum einen die Bedürfnisse von Tieren zu respektieren und zum anderen soll nicht nur das vom Land genommen werden, was der Mensch braucht, sondern dem Land auch das zugestanden werden, was das Ökosystem zur Regeneration benötigt. Diese Entwicklung hin zu einem schonenden, nachhaltigen Umgang mit den natürlichen Ressourcen ist letztlich grundlegend für eine zukunftsfähige und nachhaltige Wirtschaftsweise.

In diesem Kontext werden an die AuES der Zukunft u. a. folgende Anforderungen aus den Bereichen Tierwohl, Klimaschutz und Biodiversität adressiert:

- Verbesserung des Tierwohls in Haltung, Pflege, Transport und Schlachtung
- Implementierung betrieblicher Maßnahmen für Klimaschutz und -anpassung
- Schutz von Boden, Wasser und Luft:
 - Bodenerosion und Bodenverdichtung vermindern, Bodenfruchtbarkeit fördern; Wasserverfügbarkeit sichern
 - die Eutrophierung von Boden und Oberflächengewässern vermeiden
 - die Wasserqualität verbessern (u. a. Verminderung von Nährstoffeinträgen aus organischen und mineralischen Düngern, Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen und von Medikamentenrückständen aus den Abwässern)
- Biodiversität in Agrarökosystemen schützen und erhöhen (u. a. Ökosystemdienstleistungen erhalten und stärken, Natur- und Artenschutz mit Produktionsleistungen in Einklang bringen, Habitate und Strukturen in der Agrarlandschaft erhalten, Klimaresilienz fördern und Ertragsvariabilität durch Biodiversitätsmanagement mindern)

Diesen grundlegenden Anforderungen einer Nachhaltigkeitstransformation der AuES nachzukommen, erfordert nicht nur zahlreiche einschlägige Kompetenzen, Ressourcen und Kapazitäten, sondern auch die Veränderung einer Vielzahl von Rahmenbedingungen, Faktoren und Voraussetzungen (El Bilali et al. 2019). Diese lassen sich in exogene und endogene Herausforderungen differenzieren.

2.2 Exogene Herausforderungen der Nachhaltigkeitstransformation

Tabelle 1 listet die zentralen exogenen Herausforderungen auf, d. h. die äußeren Einflüsse, in deren Wirkungsgefüge die Nutztierhaltung im AuES, aber auch der landwirtschaftliche Betrieb selbst steht. Im Folgenden werden ausgewählte, den Herausforderungen zugrundeliegende Entwicklungen und Zielkonflikte exemplarisch beschrieben.

Tab. 1: Exogene Herausforderungen der Nachhaltigkeitstransformation (© Grabkowsky)

Exogene Herausforderungen der Nachhaltigkeitstransformation	Agrar- und Ernährungspolitische Strategien und Förderprogramme (z.B. Farm-to-fork, GAP)
	Gesetzliche Rahmenbedingungen und Regularien (EU, nationale Alleingänge, föderale Strukturen)
	Marktwirtschaftliche Mechanismen (z.B. Preisgestaltung LEH, Nachfrage)
	Verbraucherverhalten und –präferenzen (Consumer-Citizen Gap, SDG 12)
	Klimawandel und extreme Wetterereignisse
	Technologische Innovationen in der Landwirtschaft
	Handelsbedingungen (z.B. International, EU-Binnenmarkt, Herkunftskennzeichnung)
	Geopolitische Lage (z.B. Kriege, Krisenbedingte Ungleichgewichte in Handel, Ressourcenverfügbarkeit)
	Intaktheit der Ökosysteme, Verfügbarkeit von Ressourcen (Futtermittel, Wasser)
	Finanzierungsmöglichkeiten und Fördermittel
	Öffentlicher Diskurs und gesellschaftliche Werte
	Rolle des gestaltenden Staates (z.B. Kommunikation, Entscheidungskompetenz, fachliche Kompetenz)
	Umweltauflagen und Umweltschutzorganisationen
	Zugang zu Bildung und Beratungsdienstleistungen
	Seuchendynamik (Tierseuchen, Zoonosen, Handelsrestriktionen)
Ressourcenverfügbarkeit (z.B. Energiepreise und –verfügbarkeit)	

Die in Kapitel 2.1 skizzierten Anforderungen aus den Bereichen Tierwohl, Klimaschutz und Biodiversität werden in agrarpolitischen Zielen formuliert, die wiederum in Gesetzen und Verordnungen für die Akteure ordnungsrechtlich wirksam werden. Auf Europäischer Ebene stellen die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) sowie der Green Deal mit seiner Farm-to-fork-Strategie den Ordnungsrahmen dar, der zentrale Ziele auf EU-Ebene vorgibt und eine Nachhaltigkeitsorientierung von Neuinvestitionen über die EU-Taxonomie sicherstellt. Eine Herausforderung für eine Implementierung in Deutschland liegt insbesondere darin, dass für die Umsetzung europäischer Ziele national oftmals politisch motivierte strengere Vorgaben auferlegt werden, die kürzere Zeiträume oder ambitioniertere Ziele vorgeben als in anderen EU-Mitgliedstaaten. Im föderalen System Deutschlands definieren die Bundesländer teilweise noch höhere Anforderungen, sodass die nationalen Vorgaben noch von bundeslandspezifischen Zielen übertroffen werden. So entsteht ein Wettbewerbsnachteil für Betriebe und Unternehmen, die am internationalen Markt ihre Produkte vertreiben.

Hinzu kommt, dass einige politische Entscheidungen für die Agrar- und Ernährungswirtschaft fachlich nicht schlüssig waren und sind. Dies bedeutet, dass politische Ziele nicht bis zum Ende durchdacht wurden, da zentrale Akteure nicht in die Entscheidungsfindung mit einbezogen waren. Ein Beispiel ist die Forderung eines Umbaus der Nutztierhaltung zu tierwohlorientierten Offenstallsystemen, die aufgrund der möglichen Emissionen und Implikationen mit dem BImSchG und der TA-Luft keine Umbaugenehmigung von der kommunalen Verwaltung erhalten. Dies führt zu Zukunftsunsicherheit und einem Investitionsvakuum.

Eine weitere Herausforderung der Transformation stellen die unterschiedlichen Zeithorizonte auf verschiedenen Ebenen dar. Politische Versprechen wurden nicht eingehalten, da Politik nur in Legislaturperioden gedacht wird und nicht in langfristigen unternehmerischen und/oder landwirtschaftlichen Abläufen. Ein Beispiel ist hier die bis heute verzögerte Umsetzung der Ergebnisse der „Borchert-Kommission“ (2020) und der Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL 2021).

Darüber hinaus hemmen weitere exogene Herausforderungen die Nachhaltigkeitstransformation. Ein Beispiel ist die Consumer-Citizen-Gap: Die Verbraucher fordern einerseits sehr hohe Qualitätsstandards,

zeigen aber auf der anderen Seite eine geringe Bereitschaft, dies mit höheren Preisen zu honorieren, denn auch sie spüren die gestiegenen Kosten durch Inflation und gestiegene Energiepreise, sie reagieren sehr preissensibel. Die Herausforderung für das AuEs besteht also hier in der Notwendigkeit, einen Ausgleich zwischen diesen oft widerstreitenden Anforderungen zu finden: der Produktion von qualitativ hochwertigen Lebensmitteln, die auf Tierschutz und Nachhaltigkeit Wert legen, auf der einen Seite und der Wahrung der Rentabilität für die Landwirte und erschwinglichen Preisen für die Verbraucher auf der anderen Seite. In der Preisgestaltung spielt der Lebensmitteleinzelhandel (LEH) eine zentrale Rolle in der Wertschöpfungskette. Er fungiert als Bindeglied zwischen den Produzenten und den Endverbrauchern, ist der Hauptverkaufskanal für die meisten Agrarprodukte, und durch den internationalen Handel wird der Preisdruck auf die Primärproduktion verstärkt. Handelsmarken erlauben dem LEH, die Zulieferer beliebig zu wechseln und ermöglichen damit einen starken Verhandlungsdruck auf diese auszuüben. Im Wettbewerb der verschiedenen LEH-Ketten werden besonders günstige Frischfleischpreise oftmals im Marketing genutzt, was zu Erlösen für die Landwirte unterhalb der Produktionskosten führt. Daneben konnte eine einheitliche und durchgehende Herkunftskennzeichnung für Frischfleisch und verarbeitete Fleischprodukte, die eine transparente Grundlage für Konsumententscheidungen im Sinne deutscher Produkte bieten könnte, bislang nicht umgesetzt werden.

Die gesellschaftliche Erwartungshaltung gepaart mit geringer Zahlungsbereitschaft führt zu einer wachsenden Unzufriedenheit sowohl auf Seite der Konsumenten als auch der Produzenten. Eine Erfüllung der gesellschaftlichen Forderungen nach „billiger Spitzenqualität“ ist unter den aktuellen Voraussetzungen wirtschaftlich nicht zu erreichen. Neben dem gesellschaftlichen Druck erfahren die Landwirtinnen und Landwirte auch politischen Druck bei gleichzeitig sinkenden Agrarförderungen und erhöhten Anforderungen, beispielsweise in der Dokumentation und durch erhöhte bürokratische Anforderungen. Und das, obwohl ihre Betriebe und ihre Produkte systemrelevant sind, was aber nur in Krisenzeiten deutlich wird. In der COVID-19-Pandemie und der durch den Ukraine-Krieg ausgelösten Energiekrise wurde und wird sehr augenfällig, wie wichtig Ernährungssicherheit und hierbei die Unabhängigkeit von Agrarimporten bei der Grundversorgung ist. Weitere Herausforderungen bestehen derzeit in der Inflation und stark gestiegenen Futter-, Energie- und Personalkosten.

Diese multidimensionale Gemengelage führte insgesamt zu großen Enttäuschungen und geringer Akzeptanz, weitere Anforderungen zu erfüllen. Im Zusammenhang mit wachsender Zukunftsunsicherheit und existenziellen Sorgen sind die emotionsgeladenen Proteste daher in Teilen nachvollziehbar.

Die beschriebene Situation hat in den letzten zwölf Jahren zu direkten disruptiven Effekten geführt, wie die Entwicklung in der Schweinehaltung zeigt. Im Zeitraum von 2013 bis 2023 ist ein Rückgang der Schweine haltenden Betriebe um 41,9% zu verzeichnen. Die Anzahl der Schweine insgesamt in Deutschland ging um 25,6% zurück (Destatis 2023). Damit geht ein Betriebsgrößenwandel zu größeren Betriebs-einheiten einher, um dem Kostendruck entgegenzuwirken. So konnte das politische Ziel der Förderung kleinbäuerlicher Strukturen und extensiver Systeme bislang nicht erreicht werden.

2.3 Endogene Herausforderungen

Neben den externen Faktoren beeinflussen endogene Herausforderungen die Nachhaltigkeitstransformation der Nutztierhaltung, die die innersystemischen und innerbetrieblichen Aspekte im AuES darstellen (Tab. 2).

Tab. 2: Endogene Herausforderungen der Nachhaltigkeitstransformation (© Grabkowsky)

Endogene Herausforderungen der Nachhaltigkeitstransformation	Qualifikation und Wissen der Landwirte
	Betriebskultur und –philosophie, -ethik
	Haltungsform und Tierwohlstandard auf dem Betrieb
	Betriebsgröße und –struktur, Organisationsform (Position in der WSK, Handelsverträge etc.)
	Wirtschaftliche Aspekte (Futter- und Energiekosten und –effizienz, Rentabilität, Kosten für Umbau, Marktbedingungen)
	Betriebsmanagement und Biosicherheits-Status (z.B. Konsequenz im Hygiene- und R&D-Management, Anpassung an Vorgaben aus dem Europäischen Tiergesundheitsgesetz (AHL))
	Management externer Effekte der Nutztierhaltung (z.B. Nährstoffüberschüsse, Emissionen, Bodendegradation, soziale Ungerechtigkeiten)
	Diversifizierung der landwirtschaftlichen Einkommensquellen (alternative Proteinquellen als Geschäftsmodell, erneuerbare Energien)
	Zugang zu Breitband und technologischen Innovationen (z.B. Netzverfügbarkeit, einzeltierzentriertes Tiermonitoring 24/7, Arbeits- und Ressourceneffizienz, multidirektionale Datenanalyse in der WSK)
	Integration Umwelt- und Klimaorientierter Konzepte (Kreislauforientiertes Nährstoffmanagement, Biodiversitätsförderung, CO ₂ -Sequestrierung auf dem Betriebsgelände, Flächenbindung)

Die Nachhaltigkeitstransformation in der Nutztierhaltung steht vor einer Vielzahl endogener Herausforderungen, die die erfolgreiche Implementierung nachhaltiger Praktiken maßgeblich beeinflussen. Eine Schlüsselkomponente dieser Herausforderungen ist die Qualifikation und das Wissen der Landwirte. Eine kontinuierliche Weiterbildung ist entscheidend, um ein tiefgehendes Verständnis für nachhaltige Praktiken zu entwickeln und umzusetzen. Die Betriebskultur und Unternehmensphilosophie spielen ebenfalls eine zentrale Rolle, da sie die Grundlage für die Einstellung gegenüber Nachhaltigkeit, Ethik und Verantwortung gegenüber Umwelt und Tieren schaffen. Betriebsgröße, –struktur und Organisationsform stellen wirtschaftliche Rahmenbedingungen für den Erfolg eines Umbaus dar. Gleichzeitig sind effektives Betriebsmanagement und hohe Biosicherheitsstandards unerlässlich, um einen Eintrag von Krankheitserregern zu minimieren. Gleichzeitig müssen externe Effekte der Nutztierhaltung, darunter Nährstoffüberschüsse, Emissionen und soziale Ungerechtigkeiten identifiziert und reduziert werden.

Im Kontext der in Kapitel 2.2 beschriebenen disruptiven Effekte trägt die Diversifizierung landwirtschaftlicher Einkommensquellen, wie etwa die Integration alternativer Proteinquellen und erneuerbarer Energien, zur wirtschaftlichen Stabilität des AuEs bzw. des jeweiligen Betriebes bei. Der Breitbandzugang und die Erschließung technologischer Innovationen spielen eine entscheidende Rolle, um den Betrieb in einem kontinuierlichen, einzeltierzentrierten Tiermonitoring zu unterstützen und Daten aus der gesamten Wertschöpfungskette multidirektional zu analysieren sowie Ressourcen effizienter einzusetzen.

Nicht zuletzt sind Umwelt- und klimaorientierte Praxiskonzepte das Fundament, um einem nachhaltigen Umbau zu entsprechen. Ein kreislauforientiertes Nährstoffmanagement zielt darauf ab, auf den Einsatz von Mineraldünger zu verzichten und Nährstoffe aus organischen Düngemitteln so effizient und bedarfsspezifisch wie möglich zu optimieren. Durch die Rückführung von Nährstoffen in den natürlichen Kreislauf wird der Bedarf an externen Düngemitteln reduziert. Dies minimiert die externen Effekte, verbessert die Kosteneffizienz der Betriebe und befördert damit langfristig die Wirtschaftlichkeit der Nutztierhaltung, was letztlich den wachsenden Anforderungen der Gesellschaft nach umweltfreundlicheren und ethisch akzeptierteren landwirtschaftlichen Praktiken entgegenkommt. Durch eine Förderung der bio-

logischen Vielfalt kann zudem die Klimaresilienz (z. B. von Grünland) gefördert werden. Die CO₂-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Betrieben bietet verschiedene Chancen im Kontext der Bemühungen um Klimaschutz und nachhaltige Landwirtschaft. Agroforstwirtschaft, Zwischenfruchtanbau und reduzierte Bodenbearbeitung können beispielsweise dazu beitragen, Kohlenstoff im Boden zu speichern und die CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre zu reduzieren.

2.4 Wirkmechanismen exogener und endogener Faktoren in der Nachhaltigkeitstransformation

Abbildung 1 stellt die komplexe Interaktion der in Kapitel 2.2 und 2.3 berücksichtigten endogenen und exogenen Faktoren in der Nachhaltigkeitstransformation dar. Beispielhaft sind Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den Faktoren mit Pfeilen dargestellt. Es wird deutlich, dass die Forderung einer Nachhaltigkeitstransformation einer systemischen Betrachtung und Konzeption bedarf. Die systemische Betrachtung ist ein analytischer Ansatz, der darauf abzielt, komplexe Phänomene als miteinander verbundene Systeme zu verstehen (Meadows 2008). Statt isolierter Einzelteile betrachtet die systemische Sichtweise ganzheitlich die Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen den Bestandteilen eines Systems. Die in der Abbildung angedeuteten Interaktionen zwischen den endogenen und exogenen Faktoren bilden in Summe eine Emergenz, d. h. das Entstehen neuer Eigenschaften, die nur mit einem transdisziplinären Ansatz abgeschätzt werden können (Wang et al.).

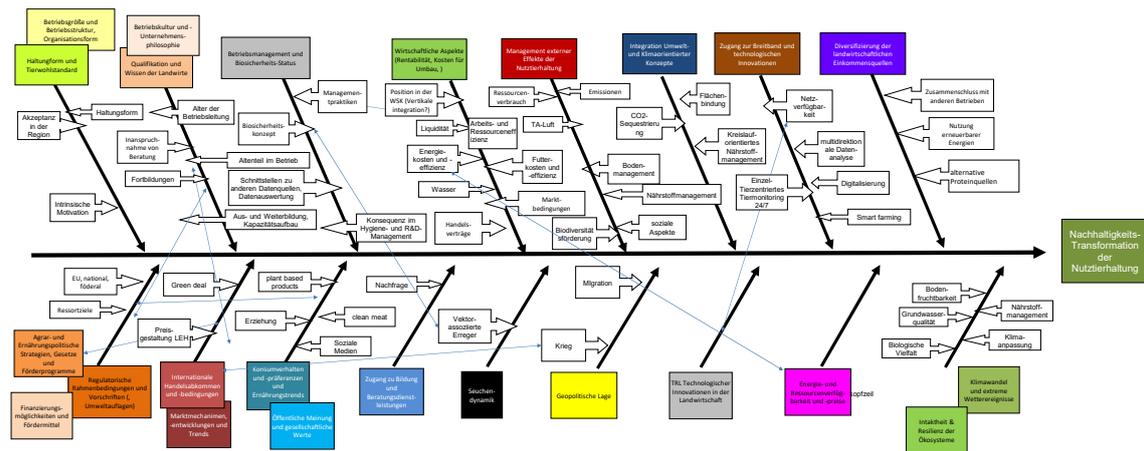


Abb. 1: Ursachen-Wirkungs-Diagramm endogener und exogener Faktoren in der Nachhaltigkeitstransformation (© Grabkowsky)

In Bezug auf die Nachhaltigkeitstransformation der Nutztierhaltung bedeutet eine systemische Betrachtung, die verschiedenen Komponenten des AuEs als miteinander verbundene Elemente zu verstehen. Dies umfasst nicht nur die endogenen Faktoren, sondern auch externe Einflüsse wie etwa politische Rahmenbedingungen, gesellschaftliche Erwartungen, Mechanismen von z. B. nationalen und internationalen Märkten und Lieferketten, Handel, Konsumverhalten, Ernährungsstrategien (BMEL 2023), Infrastruktur oder Technologieverfügbarkeit und ökologische Veränderungen.

Eine systemische Betrachtung hilft, die Komplexität und Dynamik der Nutztierhaltungstransformation zu erfassen, Pfadabhängigkeiten zu identifizieren und Wechselwirkungen sowie mögliche Auswirkungen von Entscheidungen auf das Gesamtsystem zu erkennen. Dieser Ansatz fördert ein umfassendes Verständnis und ermöglicht es, gezielte und nachhaltige Maßnahmen zu entwickeln.

3 Perspektiven der Nachhaltigkeitstransformation der Nutztierhaltung im Kontext deutscher agrarpolitischer Strategien

Wie dargestellt werden konnte, ist die Nachhaltigkeitstransformation der Nutztierhaltung ein komplexes gesamtgesellschaftliches Unterfangen, das eines umfassenden, bis in die Einzelkommune, Lieferketten und den einzelnen Betrieb durchdeklinierten Implementierungsplanes bedarf. Zielbilder wurden beispielsweise bereits von der Zukunftskommission Landwirtschaft erarbeitet, die jedoch bislang nicht umgesetzt werden konnten.

Aus der Betrachtung der endogenen und exogenen Herausforderungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

■ **Entscheidungsmut und Akzeptanzschaffung**

Lösungsansätze und Maßnahmen für eine nachhaltige Nutztierhaltung sind in vielen Fällen bereits bekannt und wurden z.B. im Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung (Borchert-Kommission 2020) gemeinsam erarbeitet. Es besteht jedoch ein Defizit bei der konsequenten Umsetzung dieser Erkenntnisse, zu dem auch der Regierungswechsel im Jahr 2021 sowie ein sich anschließendes Entscheidungsvakuum beigetragen haben. Da es sich bei der Nachhaltigkeitstransformation um das Zukunftsmodell der Agrar- und Ernährungswirtschaft in Deutschland handelt, ist zu diskutieren, ob das partizipativ entwickelte Zielbild mit jeder Legislaturperiode neu verhandelt werden muss.

Die erfolgreiche Umsetzung der gesteckten Ziele kann nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn sie auch von denen, die sie betreffen, akzeptiert und mitgetragen werden. Daher sollten Akteure, die den Wandel umsetzen müssen, in den vom Land gesteuerten Transformationsprozess einbezogen werden. 50,4 Prozent der Landesfläche Deutschlands wird von der Landwirtschaft bewirtschaftet (Destatis 2023). Daher sind die Akteure der AuES zentrale Ansprechpartner, wenn es z.B. um CO₂-Senken, die Förderung der Biodiversität und den Naturschutz geht. Maßnahmen für Akzeptanz, Dialog auf Augenhöhe und Partizipation sowie die kommunikative Begleitung der beabsichtigten Ziele in allen gesellschaftlichen Räumen sind somit Determinanten der Nachhaltigkeitstransformation.

■ **Transdisziplinarität für ganzheitliche Lösungen**

Eine transdisziplinäre Herangehensweise, die verschiedene Fachrichtungen, Praktiker und Interessengruppen einbezieht, ist für nachhaltige Lösungen und insbesondere auch für Folgeabschätzungen von Entscheidungen grundlegend, da sonst Zielkonflikte auf unterschiedlichen Ebenen entstehen (z.B. Bau- und Umweltrecht), die die Transformation eher hemmen als fördern. Die Integration und Zusammenarbeit von Forschenden, Praktikern, politischen Entscheidungsträgern und der Gesellschaft aus unterschiedlichen sozialen, ökonomischen und ökologischen Perspektiven ermöglicht eine umfassende Betrachtung der Herausforderungen und Lösungswege. Eine multidisziplinäre Perspektive ermöglicht es, komplexe Wechselwirkungen zu verstehen und innovative Ansätze für eine nachhaltige Transformation zu entwickeln.

■ **AuES neu denken und bewerten**

Die Nachhaltigkeitstransformation im Agrar- und Ernährungssystem erfordert eine ganzheitliche Bewertung, die über rein ökonomische Gesichtspunkte hinausgeht. Das Ziel ist es, eine ausgewogene Lösung zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Zielen zu finden, um langfristige und nachhaltige Antworten auf globale Herausforderungen zu entwickeln. Dabei kann das Prinzip der „Doughnut Economy“ (Raworth 2017) eine Schlüsselrolle spielen. Dieser transformative Wirtschaftsansatz strebt ein Gleichgewicht zwischen ökologischer Tragfähigkeit, sozialer Gerechtigkeit und wirtschaft-

licher Leistungsfähigkeit an. Insbesondere bei der Transformation der Nutztierhaltung ist ein grundlegender Wandel erforderlich, wobei die „Doughnut Economy“ als Leitbild dienen kann.

Dabei sollten externe Effekte möglichst weitgehend vermieden oder, soweit sie unvermeidbar sind, ökonomisch internalisiert werden. Dabei sind ausdrücklich auch die positiven Externalitäten der Landwirtschaft zu berücksichtigen (z. B. aktive Kohlenstoffbindung, Beitrag der Landwirtschaft zum Kulturlandschaftserhalt und zur Naherholung) (ZKL 2021, S. 97 ff).

■ **Kommunikation und Bildung als Grundlage eines Nachhaltigkeitsverständnisses**

Die Basis eines gesellschaftlichen Wandels sind ein kontextuelles Verständnis sowie Handlungs-, Bewertungs- und Entscheidungskompetenzen. Dafür ist es erforderlich, dass entsprechende Informationen zur beabsichtigten Nachhaltigkeitstransformation sowie Bildungsmaßnahmen, z. B. zum Thema nachhaltiger Konsum vom Kindergarten über Landwirtschaftsschulen bis zur Einkaufsabteilung in Großküchen, kontinuierlich bereitgestellt werden. Ferner werden Angebote, Lern- und Erfahrungsräume benötigt, um Grundlagen für ein Nachhaltigkeitsverständnis (BNE oder lebenslanges Lernen) in allen Gesellschaftsbereichen zu legen.

■ **Anreize und Freiheitsgrade im Einklang mit Regulation und Ordnungsrecht**

Für eine möglichst zielkonfliktfreie Implementierung bedarf es eines klugen, ordnungsrechtlichen Rahmens, der Regelungsspiralen und ein Übermaß an Bürokratie vermeidet und so eine Balance zwischen Ordnungsrecht und Anreizsystemen schafft. Auf kommunaler Ebene kann die Einsetzung von ressortübergreifenden „Lösungsteams“ dabei unterstützen, verwaltungsrechtliche Prozesse neu zu bewerten. Dies setzt jedoch eine Klärung der generellen Zielkonflikte auf EU- und Bundesebene voraus.

Statt ausschließlich auf Regulation und Ordnungsrecht zu setzen, könnte die Politik Anreize schaffen und den Landwirtinnen und Landwirten mehr Freiheitsgrade und Gestaltungsräume gewähren. Diese könnten der Primärproduktion erlauben, eigene Wege angepasst an betriebsindividuelle Voraussetzungen und regionale Spezifika im Sinne des Zielbildes der Nachhaltigkeitstransformation zu entwerfen. Dafür bedarf es der Etablierung eines neuen Rollenverständnisses für die Landwirtschaft in unserer Gesellschaft, in der landwirtschaftliche Betriebe in der Verantwortung für den Erhalt des Ökosystems agieren und honoriert werden. Dies wird beispielsweise in Großbritannien unter dem Prinzip „ökonomisch funktionierender Ökosysteme“ in Form eines „umweltgerechten Landmanagementprogramms“ umgesetzt und könnte auch für Deutschland einen wegweisenden Ansatz darstellen. In Abhängigkeit von der ökosystemaren Güte und dem potenziellen Ertragspotenzial werden Pläne im Landesinteresse erarbeitet, in denen die Betriebe je nach Voraussetzung nachhaltig intensiv produzieren oder geförderte Naturschutzmaßnahmen umsetzen.

■ **Verbindlicher Agrarkonsens**

Die Schaffung eines verbindlichen Agrarkonsenses kann entscheidend für eine Implementierung sein, um verantwortungsvolles Handeln zu fördern, ohne weitere Bürokratie aufzubauen. Die Erfolge des „Niedersächsischen Wegs“ zeigen, dass durch konstruktiven Dialog zwischen Landwirtschaft, Umweltschutz und Gesellschaft gemeinsame Ziele definiert werden können. Der „Niedersächsische Weg“ geht dabei einen innovativen Weg, indem er Zielkonflikte direkt angeht und einen „Code of Agricultural Practice for Future“ etabliert.

■ **Aktionsarenen statt Reallabore**

Erfahrungen zeigen, dass Leuchtturmprojekte oder Reallabore allein nicht ausreichen, um die notwendigen Veränderungen herbeizuführen. Vielmehr sollten „Aktionsarenen“ identifiziert werden, in denen die Transformation – angepasst an die regional vorherrschenden Spezifika – gemeinsam mit allen relevanten Akteuren umgesetzt wird. Dieser partizipative Ansatz ermöglicht die Berücksichtigung ver-

schiedener Perspektiven, Erfahrungen und Sichtweisen, die im Prozess herausfordernd sind, aber durch die systematische Reflektion den Wirkungsgrad und die Nachhaltigkeit der Transformation befördern kann.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Nachhaltigkeitstransformation der Nutztierhaltung ein konzeptionelles gesamtgesellschaftliches Umdenken auf verschiedenen Ebenen erfordert. Der vorliegende Beitrag macht deutlich, dass es nicht an Erkenntnissen mangelt. Vielmehr müssen Handlungs-, Verantwortungs- und Entscheidungsdefizite überwunden werden, um eine nachhaltigere Zukunft für die Nutztierhaltung in Deutschland zu gestalten. Agrarpolitische Strategien sollten diese Perspektiven integrieren, um eine ganzheitliche und zukunftsweisende Transformation zu ermöglichen.

Ein Paradigmenwechsel hin zu einem nachhaltigen AuES erfordert nicht nur technologische Innovationen und Änderungen in der Primärproduktion, sondern auch einen grundlegenden kulturellen Wandel in unserer Denkweise und das Bewusstsein jedes Einzelnen und jeder Einzelnen, dass unsere tagtäglichen Verbraucherentscheidungen im Supermarkt über den Erfolg einer zukunftsfähigen Landwirtschaft entscheiden.

Literatur

- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2023): Ernährungsstrategie, <https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/ernaehrungsstrategie.html>, Zugriff am 10.03.2023
- Borchert-Kommission (2020): Empfehlungen des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Tiere/Nutztiere/200211-empfehlung-kompetenznetzwerk-nutztierhaltung.pdf?__blob=publicationFile&t=3, Zugriff am 08.05.2023
- Destatis (2023): Schweinebestand von Mai bis November 2023 leicht gestiegen. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/12/PD23_491_413.html
- El Bilali, H.; Callenius, C.; Strassner, C.; Probst L. (2019): Food and nutrition security and sustainability transitions in food systems. *Food Energy Secur.*; 8:e00154. <https://doi.org/10.1002/fes3.154>
- Fink, A.; Grabkowsky, B.; Hortmann-Scholten, A.; Lagemann, A.; Ohse, S.; Wedemeier J. (2022): Transformations-szenarien der Agrar- und Ernährungswirtschaft in Nord-West-Niedersachsen (TRAIN). https://www.uni-vechta.de/fileadmin/user_upload/Transformationsforschung_agrar/Projekte/HWWI_Policy_Paper_136.pdf, Zugriff am 08.03.2024
- Raworth, K. (2017): *Doughnut Economics*. Penguin Books
- Meadows, D. H. (2008): *Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing
- Anderson, M. D. et al. (2017): Agroecology: A Transdisciplinary, Participatory and Action-Oriented Approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(9–10), 1191–1193, DOI: 10.1080/21683565.2017.1358962
- Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K. et al (2009): A safe operating space for humanity. *Nature* 461, pp. 472–475, <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Selter, F.; Salloch, S. (2023): Whose health and which health? Two theoretical flaws in the One Health paradigm. *Bioethics*. 2023 37(7), pp. 674–682. doi: 10.1111/bioe.13192. Epub 2023 Jun 9. PMID: 37294266.
- Steffen, W. et al. (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223), <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Wang-Erlandsson, L.; Tobian, A.; van der Ent, R. J. et al. (2022): A planetary boundary for green water. *Nat Rev Earth Environ* 3, pp. 380–392, <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>
- WEF – World economic forum (2024): The Global Risks Report 2024, <http://wef.ch/risks201>, Zugriff am 08.03.2024

ZKL – Zukunftskommission Landwirtschaft (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft. Abschlussbericht, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/abschlussbericht-zukunftskommission-landwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&tv=10, Zugriff am 08.03.2024

Danksagung

Mein herzlicher Dank geht an Prof. Dr. Thomas Blaha, Vorsitzender der TVT und Emeritus der Stiftung Tierärztlichen Hochschule Hannover für die freundliche Unterstützung und wertvollen Hinweise in der Erarbeitung dieses Artikels. Ein besonderer Dank geht auch an alle Kolleginnen und Kollegen des Verbunds Transformationsforschung agrar Niedersachsen aus Landwirtschaft, Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Naturschutz sowie aus weiteren nationalen und internationalen Einrichtungen, die unsere Arbeit bei trafo:agrar sehr bereichern.

Integrierter Ansatz: die Zukunft der Tierhaltung im Ernährungssystem

WILHELM WINDISCH

1 Einleitung

Die globale Erzeugung menschlicher Nahrung von der Urproduktion bis zum Konsum verursacht etwa 30% der anthropogenen Emissionen von CO₂-Äquivalenten (CO_{2eq}), wobei die Haltung von Nutztieren knapp die Hälfte beisteuert (12% der globalen CO_{2eq}-Emissionen) (FAO 2023). Innerhalb der Nutztiere treten insbesondere die Wiederkäuer in den Vordergrund, vor allem Rinder mit 62% der CO_{2eq} der Nutztierhaltung – hauptsächlich aufgrund des Methans (CH₄) aus der Fermentation der Biomasse in den Vormägen. Insgesamt ist der Nutztiersektor zur Erreichung der Klimaziele stark gefordert und soll seine CO_{2eq}-Emissionen bis 2050 halbieren. Gleichzeitig erwartet die FAO bis dahin einen starken Anstieg des globalen Bedarfs an Nahrungsprotein, der über pflanzenbasierte oder andere alternative Eiweißquellen nicht vollständig gedeckt werden kann und eine weitere Steigerung der Tierproduktion um 20% erfordern würde (FAO 2023). Auf der anderen Seite beruht die gegenwärtige Nutztierproduktion zu einem erheblichen Anteil auf Nahrungskonkurrenz zum Menschen, indem etwa ein Drittel der globalen Ernte an Getreide und Mais sowie drei Viertel der Sojaernte an Nutztiere verfüttert wird, teilweise in Verbindung mit Landnutzungsänderungen, was wiederum enorme CO₂-Emissionen nach sich zieht. Diese Praxis wird in Zukunft weitgehend verschwinden müssen, denn die pro Mensch verfügbare Ackerfläche wird bedrohlich knapp, und zwar wegen der wachsenden Weltbevölkerung und der fortschreitenden Flächenverluste (durch Urbanisierung bzw. Versiegelung, Erosion, Wüstenbildung im Zuge des Klimawandels). Die Nutztierhaltung steht somit vor der Herausforderung, umwelt- und klimafreundlicher zu werden, auf Nahrungskonkurrenz und damit auf hochwertige Futtermittel zu verzichten und dennoch die Produktivität zu halten oder gar zu steigern.

2 Landwirtschaft erzeugt überwiegend nicht essbare Biomasse

In erster Linie erzeugt die Landwirtschaft erntbare Biomasse aus ganzen Pflanzenteilen. Aus diesem Material müssen die eigentlichen Lebensmittel erst extrahiert werden, wobei große Mengen an nicht essbarer Biomasse anfallen. So landet beispielsweise von der geernteten Weizenpflanze nur ein Drittel der Biomasse im Weizenmehl, die übrigen zwei Drittel sind Koppelprodukte auf dem Acker (Stroh) sowie Nebenprodukte aus der Weiterverarbeitung des Ernteguts (Kleie aus der Müllerei). Bei vielen anderen Pflanzkulturen ist die Ausbeute an essbarer Nahrung noch weit geringer. Hinzu kommt die Notwendigkeit zur Fruchtfolge auf dem Acker und insbesondere in der biologischen Landwirtschaft auch noch die Gründüngung (z.B. Klee gras), die ausschließlich nicht essbare Biomasse liefert. Eine weitere Quelle an nicht essbarer Biomasse ist Dauergrünland, das aus topografischen und klimatischen Gründen nicht ackerfähig ist. Weltweit stellt es mehr als drei Viertel der globalen landwirtschaftlichen Nutzfläche, in Deutschland sind es 30%. Fasst man alle Quellen an essbarer und nicht essbarer Biomasse einschließlich der Nebenprodukte aus der Lebensmittelindustrie zusammen, so entstehen in Deutschland je Kilogramm pflanzliches Lebensmittel unvermeidlich etwa 4 kg nicht essbare Biomasse (Vorndran et al. 2024).

Für ein künftiges Ernährungssystem hat die Differenzierung zwischen essbarer und nicht essbarer Biomasse eine große Bedeutung, denn sie definiert den Spielraum einer künftigen Nutztierfütterung ohne Nahrungskonkurrenz zum Menschen. Es gibt jedoch, abgesehen von sehr faserhaltigem Material (z. B. Stroh), keine klare Grenzlinie zwischen essbarer und nicht essbarer Biomasse. Zur besseren Einordnung wurde das Konzept der „human edible fraction“ (hef) vorgeschlagen, welches die Essbarkeit von Biomasse hauptsächlich auf der Basis von Roh Nährstoffgehalten beurteilt (Ertl et al. 2015). Damit lässt sich a priori eingrenzen, welche Futtermittel im Hinblick auf die Nahrungskonkurrenz grundsätzlich kritisch zu beurteilen sind. Die endgültige Entscheidung über die Essbarkeit fällt jedoch stets a posteriori bei der tatsächlichen Vermarktung. So können beispielsweise ungünstige Wetterbedingungen vor oder während der Getreideernte die verarbeitungstechnischen und hygienischen Eigenschaften des Ernteguts derart verschlechtern, dass es für die Humanernährung trotz hohem hef-Wert nicht mehr vermarktungsfähig ist. Ähnlich ist die Nutzung von Grenzertragsböden zum Anbau typischer Futtergetreide wie Gerste oder Triticale zu beurteilen, denn diese finden in der Humanernährung trotz hoher hef-Werte kaum Verwendung. Zudem führt ihr Anbau auf schwachen Standorten kaum zur Verdrängung anderer, lebensmittelliefernden Kulturpflanzen. Aus diesem Grunde wird es stets einen gewissen Anteil an Futtergetreide geben. Die oben genannte Relation zwischen essbarer und nicht essbarer Biomasse von 1:4 ist somit eher unterschätzt.

3 Doppelter Gewinn bei Verfütterung der nicht essbaren Biomasse an Nutztiere

Die nicht essbare Biomasse enthält enorme Mengen an Pflanzennährstoffen, die wieder auf die Nutzflächen zurückgeführt werden müssen. Hierzu stehen drei Strategien zur Verfügung: auf dem Feld verrotten lassen, in einer Biogasanlage vergären und die Gärreste als Dünger nutzen oder an Nutztiere verfüttern und die Wirtschaftsdünger zurückführen. Pflanzenbauliche Untersuchungen über die gesamte Fruchtfolge hinweg (Bryzinski 2020) haben gezeigt, dass die bloße Verrottung aufgrund der unkontrollierten Freisetzung von Pflanzennährstoffen ineffizient ist und die Ernte an lebensmittelliefernden Kulturen dementsprechend gering ausfällt. Gärreste und Wirtschaftsdünger sind dagegen lagerbar und gezielt ausbringbar. Ihre potenzielle Düngewirkung und damit auch die erzielbare Ernte an pflanzlicher Nahrung sind etwa doppelt so hoch wie bei der Strategie der bloßen Verrottung. Aus der Sicht des Pflanzenbaus und der Erzeugung von pflanzenbasierter Nahrung sind Gärreste und Wirtschaftsdünger in etwa gleich gut zu beurteilen. Aber nur die Nutztiere produzieren darüber hinaus auch noch zusätzliche Lebensmittel in einem Umfang von etwa 50% der Kilokalorien und 100% des Nahrungseiweißes der pflanzlichen Basisproduktion. Somit steigert die Einbindung der Nutztiere in die Kreislaufwirtschaft der nicht essbaren Biomasse die Anzahl an Menschen, die mit derselben Nutzfläche ernährt werden können, um mindestens die Hälfte, und zwar ohne Nahrungskonkurrenz.

4 Klimawirkung der Methanemissionen der Wiederkäuer

Wiederkäuer sind sehr effiziente Verwerter von nicht essbarer Biomasse, emittieren dabei jedoch klimaschädliches CH_4 . Dies ist einer der Hauptgründe, warum den Wiederkäuern bei der Berechnung der CO_2eq -Emissionen aus der Nutztierhaltung eine so große Bedeutung zugewiesen wird. CH_4 ist zwar ein starkes Treibhausgas (etwa Faktor 85 gegenüber CO_2), wird jedoch mit einer Halbwertszeit von etwa 12 Jahre in der Atmosphäre rasch zu CO_2 abgebaut. Diese Dynamik unterscheidet sich grundlegend vom äußerst lang-

lebigen CO₂, das über die Verbrennung fossiler Energieträger massenhaft in die Atmosphäre eingetragen wird und sich dort fortlaufend anreichert. Das CO₂ aus dem CH₄ der Wiederkäuer selbst ist klimaneutral, da es Bestandteil des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs ist.

Bei konstanten Tierzahlen an Wiederkäuern stellt sich rasch ein Gleichgewicht zwischen neu emittiertem CH₄ und dem Abbau an CH₄ aus früheren Emissionen ein, sodass die Emission selbst keinen zusätzlichen Treibhausgaseneffekt mehr ausübt. Klimarelevant ist dann nur noch die resultierende Gleichgewichtskonzentration an CH₄ in der Atmosphäre (Neu 2022). In dieser Situation befinden wir uns in Deutschland, wo die Anzahl an Wiederkäuern und die damit assoziierten CH₄-Emissionen inzwischen unter das Niveau der vorindustriellen Zeit gesunken sind und der Tierbestand immer noch weiter abnimmt (Kuhla und Viereck 2022). Wie österreichische Berechnungen zeigen, ist die resultierende Gleichgewichtskonzentration an CH₄ derart niedrig, dass sich selbst eine völlige Abschaffung der Wiederkäuer auf den Treibhauseffekt kaum auswirken würde (Guggenberger et al. 2022). Die Standardmethoden der Berechnung von CO₂-Äquivalenten (GWP100) sind jedoch nicht in der Lage, diese Dynamik des CH₄ in der Atmosphäre korrekt abzubilden und können somit die Klimawirkung der Wiederkäuer stark verzerren (Manzano et al. 2023). Für österreichische Verhältnisse ergeben sich daraus gravierende Überschätzungen etwa um den Faktor 4 (Hörtenhuber et al. 2022). Eine Fehleinschätzung in umgekehrter Richtung findet bei steigenden Tierzahlen an Wiederkäuern statt, wie sie derzeit beispielsweise in Südamerika oder Südasien zu verzeichnen ist. Frisch emittiertes CH₄, das noch nicht im Gleichgewicht mit dem Abbau aus vorhergehenden Emissionen steht, kann sein volles Treibhausgaspotenzial entfalten und stellt ohne Zweifel eine gravierende Klimabelastung dar. Insgesamt müssen die CH₄-Emissionen aus der Wiederkäuerhaltung in Zukunft so gering wie möglich gehalten werden, etwa durch Fütterungsstrategien und/oder Futtermittelzusatzstoffe (Übersicht z. B. bei GfE 2023).

5 Sowohl zu viele als auch zu wenige Nutztiere schaden Umwelt und Klima

Die nicht essbare Biomasse unterliegt unweigerlich dem Stoffkreislauf und setzt den darin gebundenen Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor usw. wieder frei. In Bezug auf die Emissionen macht es also keinen prinzipiellen Unterschied, ob die nicht essbare Biomasse einfach nur verrottet, über Biogasanlagen verwertet wird oder in die Nutztierfütterung gelangt. Nur beim CH₄ der Wiederkäuer erscheint ein Teil des zwischen Vegetation und Atmosphäre zirkulierenden Kohlenstoffs vorübergehend als klimarelevantes Treibhausgas. Die Kreislaufwirtschaft der nicht essbaren Biomasse hält jedoch die Bestände an Wiederkäuern und die daraus resultierende Gleichgewichtskonzentration an CH₄ in der Atmosphäre auf einem sehr niedrigen Niveau, sodass auch dieser Faktor keinen relevanten Klimaeffekt ausübt. Der Verzicht auf die Verfütterung der nicht essbaren Biomasse an Nutztiere hat demnach keine grundsätzlich entlastende Wirkung auf Umwelt und Klima.

Ohne Nutztiere gehen jedoch die Lebensmittel aus der Verwertung der nicht essbaren Biomasse verloren. Sie müsste von einer veganen Landwirtschaft durch Intensivierung des Ackerbaus und/oder durch Verbrauch zusätzlicher Ackerflächen kompensiert werden (z. B. van Zanten et al. 2018). Beides steigert die Emissionen pro Nährstoffeinheit an menschlicher Nahrung (Kilokalorien, Nahrungsprotein etc.). Somit verursacht die Ernährung eines einzelnen Menschen ohne Nutztiere einen größeren Druck auf Umwelt und Klima als ein ausgeglichenes System mit Nutztieren. Das Gleiche passiert jedoch auch dann, wenn die Intensität der Nutztierhaltung in Richtung Nahrungskonkurrenz und Landnutzungsänderungen gesteigert

wird. Das Minimum der Wirkungen auf Umwelt und Klima liegt in der Balance der Kreislaufwirtschaft der nicht essbaren Biomasse mit Nutztieren.

Die gegenwärtige intensive Tierproduktion betreibt Nahrungskonkurrenz und liegt damit jenseits des Minimums an Umwelt- und Klimawirkungen. Allerdings wird unter praktischen Verhältnissen stets auch ein mehr oder weniger großer Anteil an nicht essbarer Biomasse verfüttert. Bei der Wiederkäuerfütterung wird dies besonders deutlich, denn die Basisversorgung der Tiere wird stets mit nicht essbarer Biomasse (z. B. Grobfutter) sichergestellt. Da die Nährstoffdichte dieser Futtermittel limitiert ist, muss oberhalb eines mittleren Leistungsniveaus zusätzlich Konzentratfutter („Kraftfutter“) zugefüttert werden. Erst mit diesem Schritt beginnen potenzielle Nahrungskonkurrenz und Landnutzungsänderung. Demnach weist die Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft selbst innerhalb eines Produktionssystems zwei unterschiedliche Fußabdrücke auf: einen sehr niedrigen im Zuge der Verfütterung von nicht essbarer Biomasse sowie einen sehr hohen aufgrund von Nahrungskonkurrenz zur Erzielung tierischer Leistungen, die das Produktionspotenzial der nicht essbaren Biomasse übersteigen.

Zur Beurteilung der Umwelt- und Klimawirkungen von Fleisch, Milch und Eiern werden in der Regel die mittleren Fußabdrücke je produzierte Einheit herangezogen. Die Existenz zweier Fußabdrücke verursacht jedoch eine enorme Spannweite von Mittelwerten für dasselbe tierische Produkt, je nach Ausmaß der jeweils praktizierten Nahrungskonkurrenz. So ist die Variabilität beispielsweise der publizierten $\text{CO}_{2\text{eq}}$ -Fußabdrücke innerhalb eines tierischen Produkts oftmals größer als zwischen tierischen Produkten (FAO 2023). Insgesamt verstellt die pauschale Verwendung von durchschnittlichen Fußabdrücken die Sicht auf die eigentliche Herausforderung der künftigen Nutztierhaltung, Fütterungspraktiken mit hohen Fußabdrücken gezielt zu eliminieren und solche mit niedrigen Fußabdrücken auszubauen.

6 Pflanzenbasierte und zelluläre Alternativen zu tierischen Proteinen

Die Herstellung pflanzlicher „Alternativen“ für Milch, Fleisch und Eier aus landwirtschaftlichen Ernteprodukten hinterlässt wie alle anderen Lebensmittel pflanzlicher Herkunft unweigerlich große Mengen an nicht essbarer Biomasse. So gelangt beispielsweise beim Haferdrink nur ein Drittel der eingesetzten Biomasse des geernteten Haferkorns in das Verkaufsprodukt. Der Rest ist hochwertiges Nutztierfutter und wird auch als solches verwertet. Bildlich gesprochen zieht ein Glas Haferdrink ein weiteres Glas Kuhmilch nach sich. Diese Kombination ist durchaus sinnvoll, denn die ursprünglich eingesetzte Biomasse wird hierdurch vollständig verwertet. Pflanzliche Produkte sind somit keine Alternativen zu Milch, Fleisch und Eiern, sondern synergistische Partner einer Kreislaufwirtschaft der nicht essbaren Biomasse mit Nutztieren als deren Verwerter.

In-vitro-Fleisch ist dagegen anders zu beurteilen. Die biotechnologisch gehaltenen Muskelzellen sind von ihren Ansprüchen her nichts anderes als einzellige Nutztiere, die mit höchstwertiger Biomasse gefüttert werden müssen. So besteht das Kulturmedium für In-vitro-Fleisch aus reinsten Nährstoffen (Glukose, Aminosäuren, Fettsäuren usw.), die aus bereits existierender pflanzlicher Nahrung aufwendig extrahiert und sorgfältig gereinigt werden müssen. In-vitro-Fleisch ist somit ein massiver Nahrungskonkurrent des Menschen.

Weniger negativ sind Eiweißprodukte auf der Basis genmodifizierter Mikroorganismen zu beurteilen, wie etwa milchidentische Kaseine auf der Basis von Hefezellen. Sie werden in der Tat von Organismen erzeugt, die wie Pflanzen kein Futterprotein, sondern ausschließlich anorganischen Stickstoff benötigen. Der Schwachpunkt dieser Systeme liegt jedoch im Umstand, dass die verwendeten Mikroorganismen aero-

be Lebewesen sind, die die Nahrungsenergie der verfütterten Biomasse bis auf den Brennwert des Produkts vollständig verbrauchen. Wiederkäuer nutzen dagegen in ihren Vormägen anaerobe Mikroorganismen. Diese stellen etwa drei Viertel der in der mikrobiell umgesetzten Biomasse enthaltenen Nahrungsenergie als flüchtige Fettsäuren dem Wirtstier zur Verfügung. Auf diese Weise entsteht aus der nicht essbaren Biomasse des Futters weit mehr als nur das Milcheiweiß, nämlich auch noch das Fett und die Laktose der Milch, die dreimal so viel Nahrungsenergie für den Menschen bereitstellen als das Milcheiweiß. Zelluläre Produkte können somit durchaus mit Milcheiweiß konkurrieren, jedoch nicht mit der Milch als Ganzem. Aufgrund ihrer hohen Reinheit und stofflichen Definition haben sie jedoch für bestimmte industrielle Zwecke durchaus ihre Berechtigung.

7 Steigerung der Futtereffizienz

Kreislaufwirtschaft in der Nutztierfütterung bedeutet eine starke Limitierung von Menge und Qualität des verfügbaren Futters und damit zunächst ein Rückgang der Gesamtmenge an erzeugten Lebensmitteln tierischer Herkunft gegenüber der aktuellen Situation. Bei Milch und Fleisch von Wiederkäuern sind vergleichsweise geringe Einbußen zu erwarten, denn Wiederkäuer werden in Deutschland seit jeher überwiegend mit nicht essbarer Biomasse gefüttert. Die Produktion von Schweinefleisch und erst recht von Geflügelfleisch und Eiern würde jedoch massiv sinken, denn diese Tiere benötigen eine hohe Futterqualität. Umso wichtiger wird in dieser Situation die Maximierung der Futtereffizienz (Windisch und Flachowsky 2022). Sie beginnt mit einer optimierten Futterwirtschaft mit möglichst verlustarmen Techniken von Ernte, Konservierung und Fütterung von nicht essbarer Biomasse sowie einer Pflanzenzüchtung auf einen möglichst hohen Futterwert aller Teile der geernteten Pflanze (essbar und nicht essbar), gefolgt von „precision feeding“ und der Stabilisierung der Verdauungsfähigkeit der Nutztiere. Die stärkste Wirkung dürfte jedoch die Vermeidung von „unproduktivem“ Futterverzehr entfalten. In diesem Kontext wird häufig die Steigerung der individuellen tierischen Leistung genannt, über die der obligate Futterverbrauch zur Deckung des Erhaltungsbedarfs über eine größere Produktmenge verteilt wird. Dieser Verdünnungseffekt hat jedoch nur bei niedrigem Leistungsniveau eine quantitative Bedeutung. Zudem lässt der limitierte Futterwert der nicht essbaren Biomasse eine Steigerung der tierischen Leistung über ein mittleres Leistungsniveau in der Regel nicht zu. Die Vermeidung von unproduktivem Futterverzehr im gesamten Produktionssystem ist dagegen weit wirkungsvoller. Alle Maßnahmen zur Sicherstellung einer robusten und schnellen Jungtieraufzucht, ungestörte Produktionszyklen, eine längere Nutzungsdauer bzw. eine höhere Lebensleistung sowie ein besseres Tierwohl und eine stabilere Tiergesundheit verringern signifikant den unproduktiven Futterverzehr des Gesamtsystems unabhängig von der Qualität der nicht essbaren Biomasse. Dadurch sinkt auch noch die CH_4 -Bürde der von Wiederkäuern erzeugten Produkte, denn die enterische CH_4 -Bildung hängt in erster Linie vom Futterverzehr ab (GfE 2023).

8 Fazit

Das oberste Ziel der Landwirtschaft ist die Ernährung von möglichst vielen Menschen aus der begrenzt verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche mit einem Minimum an Umwelt- und Klimawirkungen. Dies gelingt nur unter Einbindung von Nutztieren unter Vermeidung von Nahrungskonkurrenz. Damit steht die Gewinnung von pflanzenbasierter Nahrung an erster Stelle der landwirtschaftlichen Tätigkeit, gefolgt von

der Verwertung der unvermeidlich anfallenden, nicht essbaren Biomasse über Nutztiere. Der Rest an Biomasse ist energetisch zu verwerten, etwa in einer Biogasanlage. Die Nutzungskaskade lautet demnach Teller > Trog > Tank. Dieses System weist der Nutztierhaltung die nicht essbare Biomasse als eine regenerierbare und limitiert verfügbare Ressource zu, die mit maximaler Effizienz zu nutzen ist. Damit lassen sich die Umwelt- und Klimaeffekte der Nutztierhaltung zwar drastisch reduzieren; es bleibt jedoch unklar, ob die derzeit zur Verfügung stehenden Verfahren der Steigerung der Effizienz ausreichen, um den Verlust an Produktivität aufgrund eines Rückzugs der Nutztierfütterung auf den limitierten Futterwert der nicht essbaren Biomasse auszugleichen.

Literatur

- Bryzinski, T. (2020): Erträge, Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Pflanzenbausysteme: Methodische Einflüsse und feldexperimentelle Ergebnisse. Dissertation an der Technischen Universität München
- Ertl, P.; Zebeli, Q.; Zollitsch, W.; Knaus, W. (2015): Feeding of by-products completely replaced cereals and pulses in dairy cow and enhanced edible feed conversion ratio. *Journal of Dairy Science* 98(2), pp. 1225–1233, <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8810>
- FAO (2023): Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Rome, FAO, <https://doi.org/10.4060/cc9029en>
- GfE (2023): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 12. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. Frankfurt am Main, DLG-Verlag
- Guggenberger, T.; Terler, G.; Herndl, M.; Fritz, C.; Grassauer, F. (2022). Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal
- Hörtenhuber, S.J.; Seiringer, M.; Theurl, M.C.; Größbacher, V.; Piringer, G.; Kral, I.; Zollitsch, W.J. (2022): Implementing an appropriate metric for the assessment of greenhouse gas emissions from livestock production: A national case study. *Animal* 16(10), <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100638>
- Kuhla, B.; Viereck, G. (2022): Enteric methane emission factors, total emissions and intensities from Germany's livestock in the late 19th century: A comparison with the today's emission rates and intensities. *Science of The Total Environment* 848, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157754>
- Manzano, P.; Rowntree, J.; Thompson, L.; del Prado, A.; Ederer, P.; Windisch, W.; Lee, M.R.F. (2023): Challenges for the balanced attribution of livestock's environmental impacts: the art of conveying simple messages around complex realities. *Animal Frontiers* 13(2), pp. 35–44, <https://doi.org/10.1093/af/vfac096>
- Neu, U. (2022): Climate effect and CO₂ equivalent emissions of short-lived substances. *Swiss Academies Communications* 17(5)
- Van Zanten, H.H.E.; Herrero, M.; Van Hal, O.; Röö, E.; Muller, A.; Garnett, T.; Gerber, P.J.; Schader, C.; De Boer, I.J.M. (2018): Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Glob Change Biol.* 24(9), pp. 4185–4194, <https://doi.org/10.1111/gcb.14321>
- Vorndran, A.M.; Steinhoff-Wagner, J.; Windisch, W. (2024): Ermittlung des Aufkommens an nicht-essbarer Biomasse aus dem Agrar- und Verarbeitungssektor Deutschlands. *Züchtungskunde* 69, S. 56–76
- Windisch, W.; Flachowsky, G. (2022): Livestock-based Bioeconomy. In: Thrän, D.; Moesenfechtel, U. (eds). *The Bioeconomy System*. Springer Berlin, Heidelberg, pp. 68–83, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64415-7>

Veränderung der Tierhaltung durch gesellschaftliche und regulatorische Entwicklungen aus Sicht eines Finanzierers

CHRISTIAN BOCK

1 Einleitung

Mit der Produktion von Lebensmitteln sind externe Effekte auf unsere Umwelt verbunden. Die Tierhaltung und die Bewirtschaftung des Bodens verursachen Treibhausgasemissionen, beeinflussen die Umwelt und damit auch die Biodiversität. Die Tierhaltung steht hier besonders im Fokus von Gesellschaft und Politik. Die Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL) betont, dass das Agrar- und Ernährungssystem darauf ausgerichtet werden muss, die positiven Wirkungen auf Klima, Umwelt, Biodiversität, Tierwohl und die menschliche Gesundheit zu steigern, während die schädlichen Effekte vermieden werden müssen (Zukunftskommission Landwirtschaft 2021).

Bei näherer Betrachtung wird deutlich, dass unser Agrar- und Ernährungssystem von zahlreichen Widersprüchen und Spannungen geprägt wird. Vorhandene Zielkonflikte erschweren die Entscheidungsfindung für klare Standards einer nachhaltigen Landwirtschaft innerhalb der EU. Die gesamte Gesellschaft und Wirtschaft steckt mitten in einem tiefgreifenden Transformationsprozess. Als Richtschnur der Transformation dient der europäische Green Deal (Europäische Kommission (2023)).

2 Regulatorische und gesellschaftliche Entwicklungen

Ein Ziel des Green Deals der EU ist eine nachhaltige, CO₂-neutrale Wirtschaft. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, gibt es auf europäischer sowie nationaler Ebene eine Vielzahl von rechtlichen Rahmenbedingungen, die alle Wirtschaftsbereiche und die Gesellschaft erfassen. Teil des Green Deals ist unter anderem die Sustainable-Finance-Strategie der EU, die die Rolle des Finanzsektors im Transformationsprozess beleuchtet und die in Deutschland durch die Sustainable-Finance-Strategie des Bundes konkretisiert wird (BMF 2021).

2.1 Sustainable Finance

Der Investitionsbedarf für die Transformation unserer Wirtschaft ist enorm hoch und kann nicht allein aus staatlichen Mitteln gedeckt werden. Die Sustainable-Finance-Strategie des Bundes verfolgt daher das Ziel, Kapital von Banken und anderen Finanzakteuren verstärkt in nachhaltige Aktivitäten zu lenken. Dieses Ziel soll insbesondere durch Vorgaben in den Bereichen Risikomanagement und Offenlegung erreicht werden.

Zum einen verfolgt die Bundesregierung mit dieser Strategie das Ziel der Finanzmarktstabilität, denn Nachhaltigkeitsrisiken sind Finanzmarktrisiken (BaFin 2020). Banken und Finanzakteure sind daher verpflichtet, ein angemessenes Risikomanagement zu etablieren, welches auch die Identifizierung, Bewertung und Steuerung von klimabezogenen Risiken in Form von physischen und transitorischen Risiken umfasst. Entsprechende Vorgaben werden in den Mindestanforderungen für das Risikomanagement von der Bankenaufsicht formuliert.

Zum anderen soll eine verstärkte Offenlegung, Nachhaltigkeitswirkungen der Finanzierungen sichtbar machen. Voraussetzung ist ein einheitliches Verständnis von Nachhaltigkeit. Zu diesem Zweck klassifiziert die

EU-Taxonomie Wirtschaftsaktivitäten nach deren Nachhaltigkeit. Die EU-Taxonomie soll damit eine einheitliche Definition für nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten schaffen, Greenwashing vorbeugen und die normative Grundlage für Investitionsentscheidungen in Nachhaltigkeit bilden.

Es gibt jedoch noch keine Taxonomiekriterien für die Landwirtschaft, die besagen, welche Investitionen als nachhaltig zu bezeichnen sind. Dies ist bedingt durch die Komplexität und die Vielfalt der Landwirtschaft. Zielkonflikte erschweren die Lösungsfindung. Beispielsweise geht die Umsetzung von höheren Tierwohlanforderungen häufig mit steigenden Treibhausgas(THG)-Emissionen einher. Ferner ist die Konsistenz der potenziellen Taxonomiekriterien mit den Vorgaben der gemeinsamen Agrarpolitik herzustellen. Sektoren wie das Finanz- und Versicherungswesen, das Baugewerbe und Immobilien, Energie (inkl. Gas und Kernenergie) und die Forstwirtschaft sind bereits in der EU-Taxonomie inbegriffen.

Die EU-Taxonomie ist gemeinsam mit der Offenlegungsverordnung und der Unternehmens-Nachhaltigkeitsberichterstattung (Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD), welche in nationales Recht überführt werden muss, eine der drei Säulen der Transparenzanforderungen der Sustainable-Finance-Strategie der EU. Banken und Unternehmen müssen sich nach diesen Vergaben ausrichten und die geforderten Daten liefern. Dadurch erhöhen sich auch die Anforderungen an Kreditnehmende.

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsanforderungen werden große und kapitalmarktorientierte Unternehmen (z. B. Banken) berichten, inwieweit ihre Geschäftsaktivitäten taxonomiekonform (also nachhaltig im Sinne der EU-Taxonomie) sind. Diese Berichtspflichten werden in den nächsten Jahren sukzessive auf kleinere Unternehmen ausgedehnt. Es ist davon auszugehen, dass der Großteil der landwirtschaftlichen Betriebe nicht berichtspflichtig wird. Indirekt werden sie aber zukünftig mehr Informationen an die von der Berichtspflicht betroffenen Unternehmen im Agrar- und Ernährungssystem oder auch an Banken liefern müssen (Abb. 1). Berichtspflichtige Unternehmen werden von ihrer Lieferkette die dazu benötigten Informationen einholen, wie es die Molkereien bereits tun. In diesem Zusammenhang empfiehlt die europäische Bankenaufsichtsbehörde eine einheitliche Definition „grüner“ Kredite in Anlehnung an die EU-Taxonomie sowie die Schaffung eines freiwilligen Labels für solche Kredite.

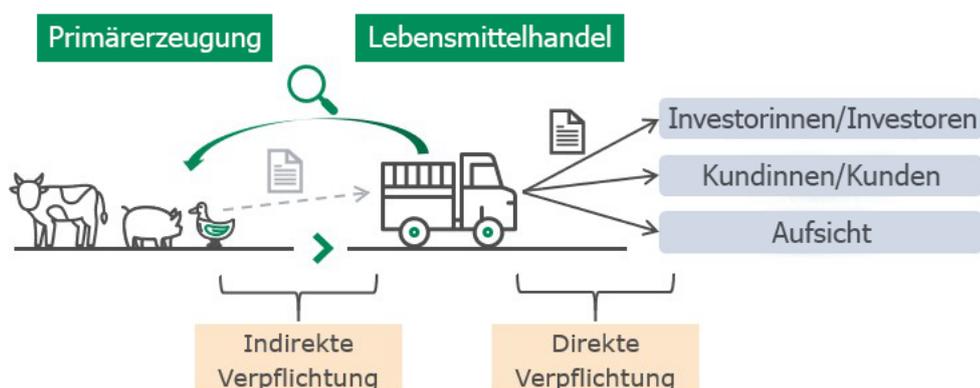


Abb. 1: Auswirkungen der Nachhaltigkeitsanforderungen (© Rentenbank)

Auch wenn ESG(Environment, Social, Governance)-Aspekte bei der Finanzierungsentscheidung berücksichtigt werden müssen, wird weiterhin die Frage im Mittelpunkt stehen: Handelt es sich um ein tragfähiges (nachhaltiges) Geschäftsmodell, das hier finanziert werden soll? Ist die Kapitaldienstfähigkeit gegeben? Diese Fragestellungen knüpfen unmittelbar an die dritte Dimension der Nachhaltigkeit an – die ökonomische. Das Ziel der ökonomischen Nachhaltigkeit liegt darin, ein Geschäftsmodell so zu betreiben, und es auch weiterzu-

entwickeln, dass es langfristig erfolgreich ist. Grundsätzlich ist das nichts Neues für die Landwirtschaft. Neu ist allerdings das Tempo, mit dem sich Rahmenbedingungen für Unternehmen ändern.

2.2 Politische und gesellschaftliche Veränderungen

Das Thema „Tierwohl“ wird weniger durch bankenaufsichtsrechtliche Vorgaben getrieben als vielmehr durch gesellschaftliche Anforderungen. Vor dem Hintergrund einer teils emotional geführten Debatte sind die Anforderungen an die tierhaltenden Betriebe in den letzten Jahren gestiegen. Die grundlegenden Anforderungen der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung wurden 2021 geändert (TierSchNutzTV 2021, DLG 2021). Diese Neuregelungen sind mit angepassten Übergangsfristen bis spätestens 2036 umzusetzen. Politik- und marktgetriebene Veränderungen sind nicht auszuschließen.

Im Rahmen des europäischen Green Deals und auch der Farm-to-Fork-Strategie wird das „Wohlergehen von Nutztieren“ ebenfalls angesprochen. Standards werden aber noch nicht definiert. Das soll folgen. Der Lebensmittelhandel und die „Initiative Tierwohl“ sind hier vorangegangen. Rewe, Kaufland, Lidl und Aldi wollen das Frischfleischsortiment bis 2030 konsequent auf Haltungsform 3 und 4 umstellen (Haltungsform.de 2022). Somit setzt der Lebensmittelhandel aktuell die Standards, die wichtige Orientierungspunkte für Banken bei der Bewertung von Geschäftsmodellen sind. Zielkonflikte, z. B. zwischen THG-Emissionen und Tierwohl, bleiben allerdings außen vor. Seit August 2023 zieht die Politik mit dem in Krafttreten des Tierhaltungskennzeichnungsgesetzes nach, das sich aktuell ausschließlich auf die Haltungsform von Mastschweinen bezieht (TierHaltKennzG 2023).

3 Schlussfolgerungen für die Tierhaltung

Banken haben aufgrund verschiedener regulatorischer Vorgaben einen zunehmenden Bedarf an nachhaltigkeitsbezogenen Daten ihrer Kreditnehmenden (Landwirtschaftliche Rentenbank 2023). Die THG-Emissionen der Kreditnehmenden spielen dabei sowohl in der Risikobetrachtung eine Rolle als auch im Rahmen zukünftiger strategischer Ausrichtungen von Banken – hin zu einem geringeren CO₂-Fußabdruck ihrer Finanzierungen. Die THG-Emissionen werden damit ein wichtiger Aspekt bei der Kreditvergabe.

Die Landwirtschaft, insbesondere die Tierhaltung, ist dabei eine Branche mit erhöhter Emissionstätigkeit. Wenn sich Kreditnehmende von diesem erhöhten Branchen-Score absetzen möchten, dürfte es zukünftig im Rahmen der Kreditvergabe von Vorteil sein, eigene CO₂-Bilanzen vorzulegen. Landwirtinnen und Landwirte sollten sich frühzeitig darauf einstellen, mehr Transparenz schaffen zu müssen.

Dabei wird auch wichtig sein, dass es regulatorisch zulässig ist, klimabezogene Effekte von anderen Unternehmen der Landwirtinnen und Landwirte bei der landwirtschaftlichen Kreditentscheidung zu berücksichtigen. Die Tatsache, dass ein tierhaltender Betrieb zusätzlich eine auf den Ausscheidungen der Tiere basierende Erzeugungsanlage von Biogas betreibt, sollte auch den ESG-Score der landwirtschaftlichen Geschäftstätigkeit verbessern.

Gesellschaftlich (und weniger regulatorisch) getriebene Marktveränderungen erschweren eine langfristige Planung baulicher Maßnahmen in der Tierhaltung. Aktuell setzt der Lebensmittelhandel mit den Haltungsformen und der „Initiative Tierwohl“ die Standards. Es ist davon auszugehen, dass tierhaltende Betriebe, die sich zukunftsgerichtet aufstellen möchten, in den Umbau zu einer höheren Haltungsform investieren müssen. Auch der Zielkonflikt zwischen Tierwohl und THG-Emissionen wird weiterhin eine Herausforderung bleiben. Möglicherweise wird sich dieser mittelfristig verstärken, da mit der THG-Emissionstätigkeit ein weiterer Indikator zur Einschätzung der Tierhaltung mit Blick auf die Nachhaltigkeit dazukommt.

Das Umfeld von Politik und Markt zum Thema „Tierhaltung“ ist sehr dynamisch. Im Hinblick darauf empfiehlt es sich, flexible Lösungen beim Neubau eines Stalls, die eine Erweiterung oder Umnutzung zulassen, einzuplanen. Außerdem sollte der volatile Markt unbedingt in Investitions- und Businessplänen in Form von Preisschwankungen berücksichtigt werden. Die Investitionszyklen in der Nutztierhaltung sind lang. Aus diesem Grund ist es umso wichtiger, dass ein klares Geschäftsmodell vorhanden ist (Lehmann 2023).

Neben den Herausforderungen für die Landwirtschaft im Zusammenhang mit den Zielen des europäischen Green Deals ergeben sich für diese Branche ebenfalls große Chancen. Die Land- und die Forstwirtschaft sind Branchen, die Kohlendioxid binden können. Zudem ist die Landwirtschaft in der Lage, für Biodiversität zu sorgen. Voraussetzung ist aber, dass diese Leistungen der Landwirtschaft durch Setzung von Standards auch nachvollziehbar sichtbar gemacht werden können. Eine Standardsetzung ermöglicht nicht nur die Erfüllung regulatorischer Berichtspflichten der Landwirtinnen und Landwirte an Banken, sondern unter anderem auch Marktsegmentierungen. Sind die Daten auf den landwirtschaftlichen Betrieben vorhanden, so können sie als positive Qualitätsabgrenzung gegenüber dem Branchendurchschnitt genutzt werden und eine höhere Bepreisung der Produkte begründen. Ebenso können sich neue Geschäftsfelder wie beispielsweise bestimmte Biodiversitätsmaßnahmen und das Binden von Kohlendioxid entwickeln.

Literatur

- BaFin (2020): Merkblatt zum Umgang mit Nachhaltigkeitsrisiken. Bonn, Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, https://www.bafin.de/SharedDocs/Downloads/DE/Merkblatt/dl_mb_Nachhaltigkeitsrisiken.html, Zugriff am 16.01.2024
- BMF (2021): Deutsche Sustainable Finance-Strategie. Berlin, Bundesministerium der Finanzen, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/deutsche-sustainable-finance-strategie-1911318>, Zugriff am 16.01.2024
- DLG e. V. (2021): Nutztierhaltungsverordnung konkretisiert. Frankfurt am Main, DLG e.V., <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2021/11/tierschutz-nutztierhaltungsverordnung-konkretisiert>, Zugriff am 16.01.2024
- Europäische Kommission (2023): Landwirtschaft und Grüner Deal. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/agriculture-and-green-deal_de, Zugriff am 16.01.2024
- Haltungsform.de (2022): Die vier Haltungsform-Stufen. Bonn, Gesellschaft zur Förderung des Tierwohls in der Nutztierhaltung mbH, <https://www.haltungsform.de/>, Zugriff am 16.01.2024
- Landwirtschaftliche Rentenbank (2023): Finanzierungsleitfaden – Informationen und Tipps zu Ihrem Agrarkredit. Frankfurt am Main, Landwirtschaftliche Rentenbank, <https://www.rentenbank.de/ueber-uns/publikationen/finanzierungsleitfaden/>, Zugriff am 16.01.2024
- Lehmann, N. (2023): Mit größeren Investitionen abwarten? Interview mit Nikola Steinbock, Vorstandssprecherin der Landwirtschaftlichen Rentenbank. *agrarheute* vom 30.11.2023, https://www.digitalmagazin.de/marken/agrarheute/magazin/2023-12/politik-gesellschaft/030_mit-groesseren-investitionen-abwarten, Zugriff am 16.01.2024
- TierHaltKennzG (2023): Gesetz zur Kennzeichnung von Lebensmitteln mit der Haltungsform der Tiere, von denen die Lebensmittel gewonnen wurden (Tierhaltungskennzeichnungsgesetz – TierHaltKennzG) vom 17.08.2023, <https://www.gesetze-im-internet.de/tierhaltkennzg/>, Zugriff am 16.01.2024
- TierSchNutzTV (2021): Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung – TierSchNutzTV), zuletzt geändert 29.01.2021, <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschnutztv/BJNR27580001.html>, Zugriff am 16.01.2024
- Zukunftskommission Landwirtschaft (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Berlin, Zukunftskommission Landwirtschaft, <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/abschlussbericht-zukunftskommission-landwirtschaft.html>, Zugriff am 16.01.2024

Nährstoffströme in der Landwirtschaft: Woher kommen wir? – Status quo und Ausblick auf die Zukunft

BERNHARD OSTERBURG

1 Einleitung

Landwirtschaftliche Düngung ist eine wesentliche Voraussetzung für einen produktiven Pflanzenbau und für die Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Ein ressourceneffizienter Umgang mit Nährstoffen trägt dazu bei, Nährstoffverluste insbesondere von Stickstoff und Phosphor in die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden. Ein effizienter Nährstoffeinsatz ist auch geboten, weil chemisch-synthetische Stickstoffdünger mit hohem Energieaufwand erzeugt werden, einen hohen Treibhausgas-Fußabdruck aufweisen und Phosphor ein knapper mineralischer Rohstoff ist.

Aufgrund nationaler und auf EU-Ebene festgelegter Ziele für eine Minderung der N- und P-Belastungen der Umweltmedien steht die deutsche Landwirtschaft in unterschiedlichen umweltpolitischen Handlungsfeldern vor großen Herausforderungen.

2 Umweltpolitiken und Zielwerte mit Bezug zu Nährstoffbelastungen aus der Landwirtschaft

Die Nährstoffbelastungen aus der Landwirtschaft werden durch EU- und nationale Regelungen in unterschiedlichen Handlungsfeldern adressiert:

- **Wasserschutz** (Nitratrichtlinie 91/676/EWG, Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (WRRL), Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie 2008/56/EG (MSRL)): Abbau zu hoher Nitratwerte im oberflächennahen Grundwasser und in Oberflächengewässern (WRRL: guter Zustand der Grund- und Oberflächengewässer bis Dezember 2015, Fristverlängerungen bis 2027 möglich) und zu hoher N- und P-Einträge in die Meere, darunter Einträge von Düngemitteln und anderen stickstoff- und phosphorhaltigen Stoffen aus der Landwirtschaft (MSRL: Sicherstellung des guten Zustands der Meeresumwelt bis zum Jahr 2020).
- **Luftreinhaltung** (NEC-Richtlinie 2016/2284 (National Emission Ceilings) über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe): Reduzierung der Ammoniakmissionen in Deutschland bis 2030 um 29 % gegenüber 2005. Das erste Nationale Luftreinhaltprogramm mit Maßnahmen zur Emissionsreduzierung wurde 2019 vorgelegt. Die Minderungsverpflichtungen für Ammoniak betreffen vor allem die Landwirtschaft, die etwa 95 % der Emissionen verursacht.
- **Klimaschutz** (Bundes-Klimaschutzgesetz und Klimaschutzprogramm 2030): Minderung der landwirtschaftlichen THG-Emissionen bis 2030 auf 56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, darunter auch Lachgas. Das Gesetz und das Programm dienen zugleich der Umsetzung von klimapolitischen Zielen der EU und des Klimaschutzübereinkommens von Paris.
- **Biodiversität** (Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie 92/43/EWG): Verringerung der N-Überschüsse, Erhaltung und Herstellung eines guten Erhaltungszustands gefährdeter Lebensräume u. a. in Hinblick auf Eutrophierung durch N-Deposition.

In der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2016 und ihrer Überarbeitung 2021 werden verschiedene Indikatoren und weiterentwickelte Ziele zu Stickstoff und Phosphor definiert (Bundesregierung 2021). Aktuelle Angaben zu den Indikatoren der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie sind auf den Webseiten des Statistischen Bundesamts zu finden, unter <https://dns-indikatoren.de>:

- **2.1.a Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft:** Verringerung der N-Überschüsse der Gesamtbilanz für Deutschland auf 70 kg/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) im fünfjährigen Mittel der Jahre 2028 bis 2032. Zwischen 2010 und 2016 galt ein Zielwert von 80 kg/ha LF. Im Jahr 2019 lag der fünfjährige Mittelwert bei 81,6 kg N/ha LF.
 - **3.2.a Emissionen von Luftschadstoffen:** Reduzierung des Mittelwerts der Indizes für fünf Luftschadstoffe, darunter Ammoniak um 29 % bis 2030 auf Basis des Jahres 2005. Der Mittelwert der Indizes der nationalen Emissionen von fünf Luftschadstoffen hat allerdings keine Aussagekraft bezüglich der Entwicklung der Ammoniakemissionen.
 - **6.1.a Phosphor in Fließgewässern:** Bis 2030 sollen die gewässertypischen Orientierungswerte für P-Gehalte, die in der Oberflächengewässerverordnung angegeben sind, an allen Messstellen eingehalten werden. Der Orientierungswert beträgt 0,1 mg/l an Phosphor, davon abweichend bei organisch geprägten Flüssen 0,15 mg/l, bei Marschgewässern 0,3 mg/l und bei tidebeeinflussten Übergangsgewässern 0,045 mg/l. Im Jahr 2022 wurden die Orientierungswerte an 43 % der Messstellen eingehalten.
 - **6.1.b Nitrat im Grundwasser:** Der Schwellenwert von 50 mg/l Nitrat im Grundwasser soll an allen Messstellen eingehalten werden. Im Jahr 2022 wurde der Schwellenwert an 84 % der Messstellen eingehalten.
 - **14.1 a Stickstoffeintrag über die Zuflüsse in die Nord- und Ostsee:** N-Eintrag über die Zuflüsse in die Nordsee soll unter 2,8 mg N/l und in die Ostsee unter 2,6 mg N/l liegen. Im Jahr 2021 wurden der maximale N-Eintrag in die Nordsee unterschritten (ca. 2,8 mg N/l), in die Ostsee überschritten (ca. 3,2 mg N/l).
 - **15.2 Eutrophierung der Ökosysteme:** Reduzierung des Flächenanteils empfindlicher Ökosysteme mit erhöhtem N-Eintrag um 35 % bis 2030 auf Basis des Jahres 2005. Im Jahr 2019 lag der Anteil der bewerteten Fläche empfindlicher Ökosysteme mit Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung durch Stickstoffeinträge bei 68,5 %, Ziel im Jahr 2030 sind maximal 52 % mit Überschreitung.
- Während beim Stickstoffüberschuss die Erreichung des Nachhaltigkeitsziels bei Fortsetzung des Trends zu erwarten ist und der Zielwert beim Nährstoffeintrag in die Nordsee bereits erreicht wurde, geht die Entwicklung der Indikatoren Gesamt-Phosphor in Fließgewässern, Nitrat im Grundwasser, Nährstoffeintrag in die Ostsee und Eutrophierung der Ökosysteme zwar in die gewünschte Richtung, das Ziel wird aber voraussichtlich deutlich verfehlt. Die Ammoniakemissionen nehmen ab und liegen derzeit unterhalb des linearen Reduktionspfads zwischen 2020 (minus 5 % gegenüber 2005) und 2030 (minus 29 % gegenüber 2005).

3 Nährstoffströme in der Landwirtschaft am Beispiel Stickstoff

Aufgrund der regelmäßigen Berichtspflichten zum Nachhaltigkeitsindikator Stickstoffüberschuss sind die Mengenströme der Landwirtschaft für Stickstoff auf nationaler Ebene gut dokumentiert. Auswertungen einzelbetrieblicher Stickstoffbilanzen sind dagegen aufgrund fehlender Datenerfassung bzw. Datenzugänge selten, nicht repräsentativ oder sie müssen mit Annahmen und Schätzung fehlender Angaben arbeiten. Regionale Nährstoffbilanzen sind Modellergebnisse, die auf Basis der regionalen Agrarstatistik berechnet werden. Weil regionale Statistiken z. B. zum Einsatz von Stickstoffhandelsdüngern fehlen, müssen Schätzungen der regionalen Verteilung vorgenommen werden. Hohe Stickstoffsalden treten regelmäßig in Betrieben mit hoher Viehbesatzdichte auf (Löw et al. 2021, Löw und Osterburg 2024). Entsprechend werden auch in regionalen Nährstoffbilanzen für Regionen mit hohem Viehbestand erhöhte N-Überschüsse ausgewiesen (Häußermann et al. 2019, Zinnbauer et al. 2023). Die nachfolgenden Darstellungen basieren auf den nationalen Daten zur Stickstoffbilanz, zu gasförmigen Emissionen und zu N-Austrägen in Gewässer. Zu den methodischen Grundlagen der Berechnungen siehe zur Stickstoffbilanz Bach et al. (2011), zu gasförmigen Emissionen Rösemann et al. (2023a) und zu N-Austrägen in Gewässer Zinnbauer et al. (2023).

Im Gegensatz zu Stickstoffbilanzen werden P-Bilanzen für die deutsche Landwirtschaft nicht regelmäßig berechnet. Ein Beispiel für eine sektorale P-Bilanz wurde von Frede und Bach (2010) publiziert, mit einem sektoralen P-Überschuss von 9,5 kg P/ha LF im Jahr 2007. Im Vergleich zu N-Bilanzen kommt organischen Düngemitteln in der P-Bilanz eine größere Bedeutung zu und bei der Abfuhr haben tierische Produkte eine höhere Bedeutung. Der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen (2020) weist für 2015 einen sektoralen flächenbezogenen Saldo von -1,3 kg P/ha LF aus und betont, dass es in Regionen mit hoher Tierbesatzdichte zu sehr hohen P-Überschüssen kommt, während es in Ackerbauregionen häufig zu negativen P-Salden kommt.

3.1 N-Flüsse der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2020

In Abbildung 1 werden die N-Flüsse der deutschen Landwirtschaft in Kilogramm Rein-N pro Hektar LF für das Jahr 2020 dargestellt. Links werden alle Elemente der N-Zufuhr in den Landwirtschaftssektor dargestellt, rechts die N-Abfuhr über Marktprodukte sowie die N-Mengen, die im Boden verbleiben oder in Gewässer und die Luft emittieren. In der Mitte sind die Gesamtbilanz (Hoftorbilanz) und die Teilbilanzen Flächenbilanz, Stallbilanz und Biogasbilanz dargestellt. Die wichtigsten Elemente der N-Zufuhr sind chemisch-synthetische N-Handelsdünger („Mineraldünger“) sowie Futtermittel. Bei den inländischen Futtermitteln entfallen knapp 70 % der N-Menge auf marktgängige Primärfuttermittel wie Getreide und 30 % auf Nebenprodukte aus der inländischen Verarbeitung von Lebensmitteln pflanzlichen Ursprungs. Da ein erheblicher Teil dieser Futtermittel aus pflanzlichen Marktprodukten stammt, führt ein Pfeil mit gepunkteter Linie von dort zu den Futtermitteln aus dem Inland. Unter Importfuttermitteln fallen Primärfuttermittel und Nebenprodukte wie eiweißhaltige Ölkuchen und -schrote.

Die internen Stickstoffmengenströme zwischen Pflanzenbau, Tierhaltung und Biogasproduktion werden als Flüsse zwischen der Flächen-, Stall- und Biogasbilanz dargestellt. In diesen Teilbilanzen der Gesamtbilanz werden in der Abbildung jeweils die N-Abfuhr ausgewiesen. Aus der Flächenbilanz geht Grundfutter an die Stallbilanz und Energiepflanzen gehen an die Biogasbilanz; aus der Stallbilanz gehen gut 80 % der Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in den Pflanzenbau (Flächenbilanz) und knapp 20 % in Biogasanlagen. Die Gärreste aus den Biogasanlagen gehen in den Pflanzenbau. Nicht dargestellt sind Erntereste als N-Fluss innerhalb der Flächenbilanz in Höhe von knapp 35 kg N/ha LF (Rösemann et al. 2023b).

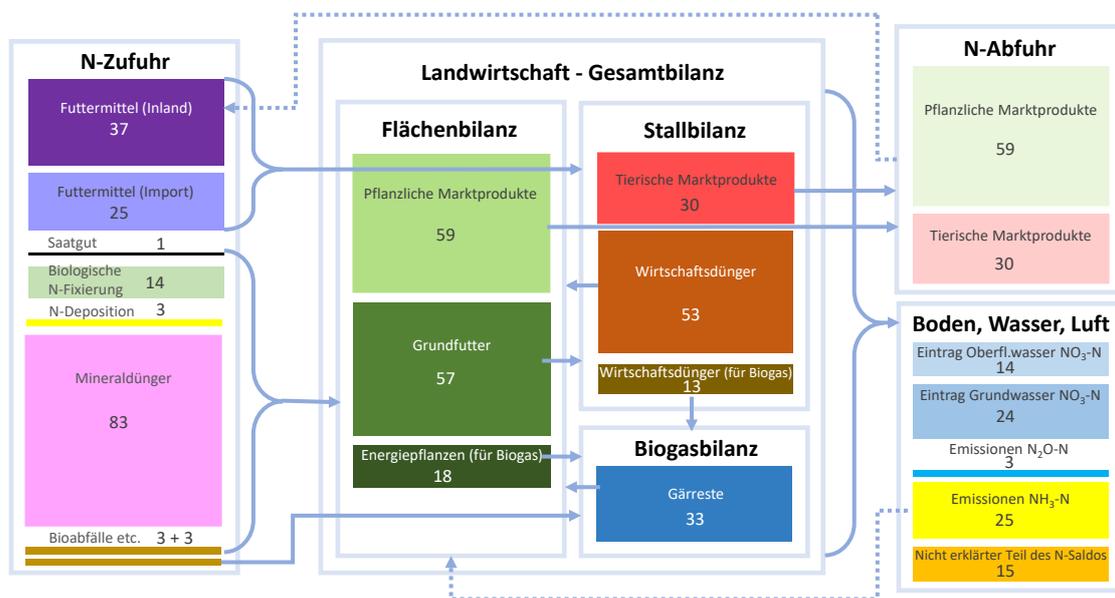


Abb. 1: Stickstoffflüsse der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2020 in kg N/ha LF
(Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BMEL (2023a und 2023b); Rösemann et al. 2023b, Zinnbauer et al. 2023)

Die Abfuhr über Marktprodukte beträgt zusammen 89 kg N/ha. Dem steht eine Zufuhr von insgesamt 169 kg N/ha gegenüber. Die Differenz ist der Stickstoffüberschuss der Gesamtbilanz in Höhe von 80 kg N/ha. Die Ammoniakemissionen entstehen vor allem in Ställen, Wirtschaftsdüngerlagern und bei der Ausbringung N-haltiger Düngemittel und damit aus den aktuellen N-Flüssen. Der Pfeil mit gepunkteter Linie zeigt, dass ein Teil der landwirtschaftlichen NH₃-Emissionen als N-Deposition auf landwirtschaftlichen Flächen gelangt. Auf dem Weg über die N-Deposition sind die NH₃-Emissionen außerdem an der Entstehung von N-Einträgen in Gewässer und Lachgasemissionen beteiligt. Die N-Einträge in die Gewässer und die als Lachgas freigesetzten N-Mengen stammen nicht nur aus den dargestellten jährlichen N-Flüssen, sondern können auch aus N-Umsetzungen im Boden und damit aus dem N-Vorrat im Boden kommen. Ein Teil des jährlichen N-Saldos wird durch die verschiedenen N-Austräge in Gewässer und Luft nicht erklärt. Hierbei kann es sich z.B. um eine Erhöhung des N-Vorrats im Boden oder um Freisetzungen von elementarem Stickstoff (N₂) handeln.

3.2 Entwicklungen der N-Flüsse der deutschen Landwirtschaft

Der N-Überschuss der Landwirtschaft, der für die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie im fünfjährigen Mittel bewertet wird, geht seit den 1990er-Jahren zurück, ausgehend von durchschnittlich 110 kg N/ha über gut 100 kg N/ha im Durchschnitt der 2000er-Jahre, 95 kg N/ha zwischen 2010 und 2015 und knapp 90 kg N/ha zwischen 2016 und 2019. Diese Entwicklung wird in Abbildung 2 gezeigt. Das in der ersten Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland im Jahr 2002 festgelegte Ziel eines N-Überschusses von unter 80 kg N/ha LF ab dem Jahr 2010 ist nicht eingehalten worden. Seit 2015 ist der N-Überschuss weiter zurückgegangen. In den Jahren 2019, 2020 und 2021 wurde der Wert von 80 kg N/ha LF unterschritten. Wenn sich diese Entwicklung fortsetzt, könnte auch der neue Zielwert der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 2016 in Höhe von maximal 70 kg N/ha im fünfjährigen Mittel 2028 bis 2032 erreicht oder unterschritten werden.

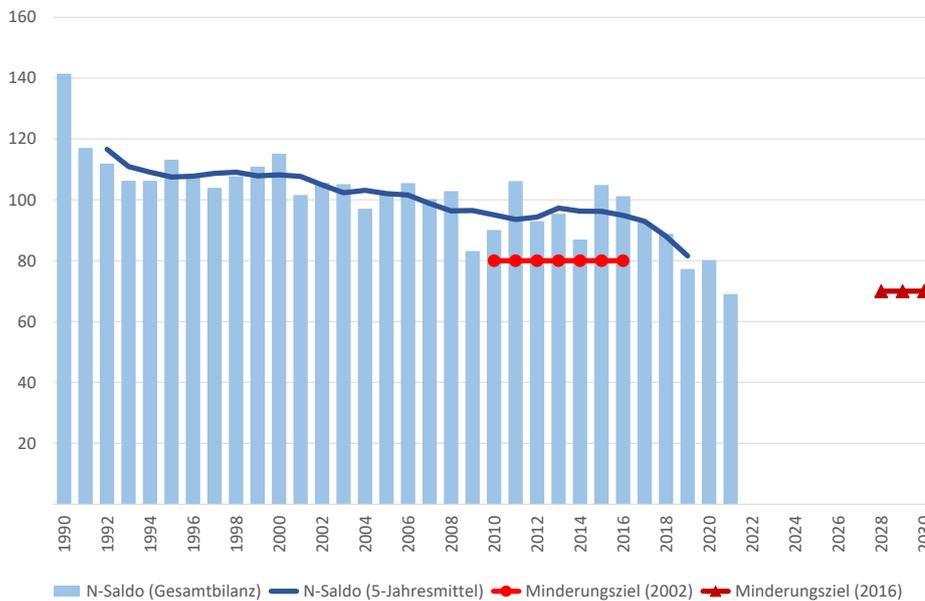


Abb. 2: Entwicklung des Stickstoffüberschusses der deutschen Landwirtschaft in kg N/ha LF (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BMEL (2023a))

In Tabelle 1 werden die fünfjährigen Mittelwerte der N-Gesamtbilanz der Jahre 1990 bis 1994 mit denen der Jahre 2017 bis 2021 verglichen. Der N-Überschuss ist um 35 kg N/ha zurückgegangen. Entscheidend für diese Entwicklung ist zum einen der Rückgang der N-Zufuhr über chemisch-synthetische N-Handelsdünger. Zum anderen hat sich der N-Überschuss aufgrund der Zunahme der N-Abfuhr über pflanzliche und tierische Marktprodukte verringert, also durch eine ansteigende Produktivität bezogen auf die N-Zufuhr. Die sektorale, rechnerische N-Ausnutzung oder „Nitrogen Use Efficiency“ (NUE) der Gesamtbilanz, also der Relation zwischen Abfuhr und Zufuhr, hat sich in diesem Zeitraum von unter 40 % auf 52 % erhöht.

Tab. 1: Veränderungen der Bilanzelemente der N-Gesamtbilanz zwischen 2 Zeitabschnitten in kg N/ha LF (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BMEL (2023a))

Bilanzelemente	1990–1994	2017–2021	Differenz
Mineraldünger	105	86	-19
Organische Düngemittel, Kofermente	3	6	4
N-Deposition (außerlandwirtschaftlich)	7	3	-4
Biologische N-Fixierung	14	13	0
Futtermittel (Inland)	32	36	3
Futtermittel (Import)	27	25	-2
Saatgut	1	1	0
Summe Zufuhr	189	171	-18
Pflanzliche Marktprodukte	50	59	10
Tierische Marktprodukte	23	30	7
Summe Abfuhr	72	89	17
Saldo	117	82	-35

3.3 Ausblick auf die künftige Entwicklung der Stickstoffüberschüsse

Welche Faktoren haben zum Rückgang des N-Überschusses von 2015 bis 2021 geführt? Werden diese Faktoren künftig weiter wirksam sein? Diese Fragen sind zu beantworten, um eine Einschätzung über die künftige Entwicklung abgeben zu können. Als mögliche Bestimmungsfaktoren werden im Folgenden betrachtet:

- Hohe N-Handelsdüngerpreise in Relation zu den Verkaufspreisen der Landwirtschaft
- Auswirkungen der Dürrejahre 2018 und 2019
- Auswirkungen der Änderungen des Düngegesetzes und der Düngeverordnung im Jahr 2017
- Auswirkungen des Angriffskrieges auf die Ukraine auf die Agrar- und Düngemittelmärkte

In Abbildung 3 wird die Entwicklung der Relation zwischen dem Preisindex für pflanzliche Produkte und dem Preis pro Tonne Rein-N Stickstoffdüngemittel dargestellt. Hohe Werte dieser Relation bedeuten, dass der Preis für N-Handelsdünger im Verhältnis zum Preis pflanzlicher Produkte niedrig ausfällt, geringe Werte dagegen, dass der Preis für N-Handelsdünger in dieser Relation vergleichsweise hoch liegt. Zusätzlich wird die Entwicklung des N-Handelsdüngerabsatzes abgebildet. In den 1990er-Jahren lag der Preis für N-Handelsdünger in Relation zu den Preisen für pflanzliche Produkte besonders niedrig und entsprechend stieg auch der Handelsdüngerabsatz, mit einer Zeitverzögerung von einem Jahr. Danach kehrte sich diese Entwicklung wieder um. Zwischen 2005 und 2015 lag der Preis für N-Handelsdünger wieder vergleichsweise höher, der Handelsdüngerabsatz schwankte in dieser Zeit auf etwas niedrigerem Niveau. Ab 2016/2017 lag die Preisrelation zwischen pflanzlichen Produkten und N-Handelsdünger wieder auf dem Niveau von 2000/2001. Die vergleichsweise niedrigeren N-Düngerpreise führten jedoch nicht zu einem Anstieg des Handelsdüngerabsatzes, wie dies aus ökonomischer Sicht zu erwarten wäre. Vielmehr ging der Absatz von ca. 100 kg N/ha LF in den Jahren 2015/2016 und 2016/2017 im Jahr 2017/2018 auf 90 kg N/ha LF zurück und nahm auch danach weiter ab (2018/2019: 80,5 kg N/ha LF; 2019/2020: 82,7 kg N/ha LF; 2020/2021: 76,3 kg N/ha LF). Mit der Entwicklung der Preise für N-Dünger und für pflanzliche Verkaufsprodukte kann der Rückgang des N-Düngemittelabsatzes und des N-Überschusses also nicht erklärt werden.

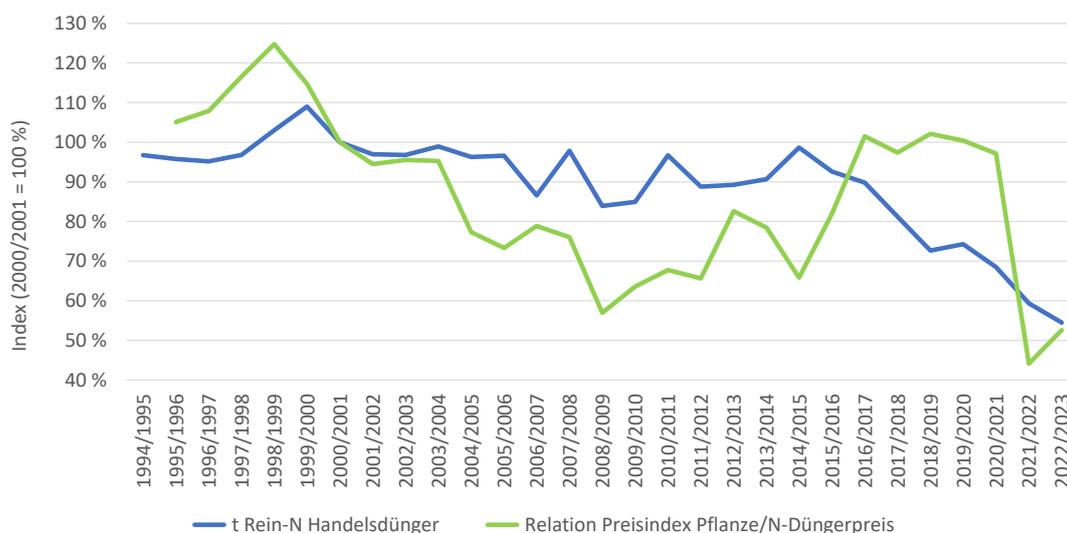


Abb. 3: Entwicklung des N-Handelsdüngerabsatzes sowie der Relation zwischen dem Preisindex für pflanzliche Produkte und dem Preis pro Tonne Rein-N Stickstoffdüngemittel (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von BMEL (2023c))

Taube (2021) verweist darauf, dass die Jahre 2018 und 2019 von Dürren geprägt waren. Der verringerte N-Handelsdüngerabsatz könne demzufolge im Zusammenhang mit dürrebedingt verringerten Erträgen stehen. Eine Anpassung der N-Düngung an wetterbedingte Ertragsrisiken ist allerdings in vielen Fällen nicht möglich, da die Düngung vor allem zu Beginn der Vegetationsperiode erfolgt und sich Dürrefolgen meist erst später zeigen. Eine Anpassung der N-Düngung ist dann nur noch bei der Spätdüngung zu Getreide und im Grünland möglich. Die N-Abfuhr der Flächenbilanz lag im Jahr 2018 bei nur 82 % des Mittelwerts der Jahre 2010 bis 2017, und im Jahr 2019 bei 92 %. Die geringeren Erträge könnten also eine geringere N-Düngung in diesen Jahren erklären. Im Jahr 2020 lag die N-Abfuhr bei 94 % und 2021 bei 100 % des Mittelwerts der Jahre 2010 bis 2017. Die geringe N-Düngung in den Jahren 2020 und 2021 ist demnach nicht mit Ernteausfällen zu erklären. Darüber, in welcher zeitlichen Frequenz sich künftig Dürrejahre ereignen werden, besteht große Unsicherheit. Welche Auswirkungen Extremwetterereignisse auf Düngung und Nährstoffbilanzen haben, wird im gerade laufenden Projekt „KlimaN“ am Thünen-Institut und dem Julius Kühn-Institut untersucht.

Die Änderungen im Düngerecht im Jahr 2017, insbesondere die Anpassung der Düngeverordnung mit erhöhten Anforderungen an den Nährstoffvergleich (Flächenbilanz), der emissionsarmen Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Einschränkungen der Düngung im Herbst sowie die Erhöhung der möglichen Bußgelder im Düngegesetz haben vermutlich zum Rückgang des N-Bilanzüberschusses beigetragen. Eine erste Auswertung im Rahmen des Projekts „KlimaN“ auf Basis der Testbetriebsnetzdaten hat gezeigt, dass fast alle Betriebe den N-Handelsdüngereinsatz zwischen 2016/2017 und 2021/2022 verringert haben. Betriebe, die gemäß Düngeverordnung 2017 den Kontrollwert für den Nährstoffvergleich im Mittel der Jahre 2016/2017 und 2017/2018 eingehalten haben, verringerten den N-Düngereinsatz von 2016/2017 und 2017/2018 bis 2020/2021 und 2021/2022 durchschnittlich um 7 kg N/ha LF. Etwa 25 % der untersuchten Betriebe hat den Kontrollwert in der Ausgangssituation überschritten. In dieser Gruppe von Betrieben wurde der N-Düngereinsatz im genannten Zeitraum durchschnittlich um 41 kg N/ha verringert. Die Senkung der N-Düngehöhe liegt in dieser Betriebsgruppe auch prozentual höher als in der Vergleichsgruppe mit Einhaltung des Kontrollwerts. Diese vorläufigen Ergebnisse sprechen dafür, dass die Änderungen des Düngerechts zur Senkung des N-Überschusses beigetragen haben.

Die dargestellten Entwicklungen der Stickstoffüberschüsse bis zum Jahr 2021 beinhalten noch nicht die durch den Angriffskrieg auf die Ukraine ausgelösten Veränderungen an den Agrar- und Düngemittelmärkten. Wie aus Abbildung 3 zu erkennen ist, sind die Preise für N-Düngemittel im Jahr 2021/2022 in Relation zu den Preisen pflanzlicher Produkte drastisch angestiegen. Der Preis für N-Düngemittel stieg von 2020/2021 bis 2022/2023 um den Faktor 2,7. Der Preisindex für pflanzliche Produkte stieg dagegen nur um den Faktor 1,45. Der Handelsdüngerabsatz ging aufgrund der für die Landwirtschaft ungünstigeren Preisrelation weiter zurück auf 66,1 kg N/ha LF (2021/2022) und 61,1 kg N/ha LF (2022/2023).

Bereits im Jahr 2022/2023 zeichnete sich eine leichte Verbesserung zugunsten der Landwirtschaft bei der Preisrelation zwischen pflanzlichen Produkten und N-Düngern ab. Die extreme Situation der letzten zwei Jahre wird daher voraussichtlich nicht lange andauern. Allerdings erscheint auch eine Rückkehr zu Preisen für N-Düngemittel auf das Niveau vor 2022 unwahrscheinlich. Auf längere Sicht wird auch die EU-Klimaschutzpolitik zu steigenden Preisen für chemisch-synthetische N-Düngemittel beitragen. Die Herstellung von N-Düngern ist sehr energieintensiv und erfolgt aktuell vor allem auf Basis von Erdgas. Steigende Preise für Erdgas in Verbindung mit steigenden CO₂-Zertifikatpreisen für die Düngemittelindustrie werden zu höheren Preisen für N-Dünger beitragen. Hinzu kommt, dass die steigenden CO₂-Zertifikatpreise in der EU durch einen neuen Klima-Außenschutz abgesichert werden sollen, um eine Abwanderung emissionsintensiver Industrien zu verhindern. Dafür wurde im Jahr 2023 die Verordnung (EU) 2023/956 zur

Schaffung eines CO₂-Grenzausgleichssystems als Teil des „Green Deal“ der EU beschlossen. Dieser klimapolitische Außenschutz wird zu gegenüber dem Weltmarkt erhöhten Preisen für N-Düngemittel führen, wenn für die im EU-Binnenmarkt hergestellten N-Dünger die vollen CO₂-Zertifikatepreise gezahlt werden müssen und für importierte Düngemittel entsprechend hohe Grenzausgleichszahlungen anfallen.

4 Fazit

Die vorgestellten Daten und Auswertungen zu Stickstoffflüssen in der Landwirtschaft zeigen, dass sich in den letzten Jahren ein beschleunigter Rückgang der N-Überschüsse abzeichnet. Offensichtlich spielen dabei verschiedene Ursachen eine Rolle. Erhöhte N-Düngerpreise in Relation zu den Preisen für pflanzliche Produkte erklären die Entwicklung zwischen 2015 und 2021 nicht, haben aber nach dem Angriffskrieg auf die Ukraine zu weiteren Rückgängen des N-Handelsdüngerabsatzes geführt. Dürrejahre wie 2018 und 2019 haben offenbar zu Einsparungen von N-Düngern geführt, dies erklärt aber nicht die gesamte Entwicklung der letzten Jahre. Aus betrieblichen Zeitreihendaten zur Düngung kann geschlossen werden, dass Änderungen des Düngerechts zur Senkung des N-Überschusses in den letzten Jahren beigetragen haben. Dies ist nicht nur auf verschärfte Auflagen und Düngeverbote zurückzuführen, sondern auch auf die beschleunigte Einführung moderner, emissionsarmer Ausbringungstechnologien. Diese helfen, Ammoniakemissionen zu verringern und erhöhen gleichzeitig den Düngewert der ausgebrachten Düngemittel. Angesichts der erneuten Änderung der Düngeverordnung im Jahr 2020 in Verbindung mit der Abschaffung des Nährstoffvergleichs ist allerdings nicht sicher, inwieweit diese Wirkungen fortauern werden.

Literatur

- Bach, M.; Godlinski, F.; Greef, J.-M. (2011): Handbuch Berechnung der Stickstoff-Bilanz für die Landwirtschaft in Deutschland. Jahre 1990–2008. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 159, Braunschweig
- BMEL (2023a): Statistischer Monatsbericht des BMEL – Kapitel A. Landwirtschaft. Nährstoffbilanzen und Düngemittel. Tabelle MBT-0111260-0000. <https://www.bmel-statistik.de/archiv/statistischer-monatsbericht>, Zugriff am 15.02.2024
- BMEL (2023b): Statistischer Monatsbericht des BMEL – Kapitel A. Landwirtschaft. Nährstoffbilanzen und Düngemittel. Tabellen MBT-0111130-0000, MBT-0111190-0000, MBT-0111330-0000. <https://www.bmel-statistik.de/archiv/statistischer-monatsbericht>, Zugriff am 15.02.2024
- BMEL (2023c): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten – Kapitel C. Landwirtschaft. 40. Inlandsabsatz von Handelsdünger. a. Nach Sorten und Nährstoffen; Kapitel E. Preise, Löhne, Wirtschaftsrechnungen. 218. Index der Erzeugerpreise landwirtschaftlicher Produkte nach Erzeugnissen; 224. Durchschnittliche Einkaufspreise der Landwirtschaft für Futtermittel, Düngemittel und Energie. <https://www.bmel-statistik.de/archiv/statistisches-jahrbuch/>, Zugriff am 15.02.2024
- Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1873516/9d73d857a3f7f0f8df5ac1b4c349fa07/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf?download=1>, Zugriff am 15.02.2024
- Frede, H.-G.; Bach, M. (2010): Phosphor in der deutschen Landwirtschaft – Bilanzen und Effizienzen. In: Bundesarbeitskreis Düngung (BAD) (Hg.): Phosphor- und Kaliumdüngung – brauchen wir neue Düngekonzepte? Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e.V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) am 20. und 21. April 2010 in Würzburg, S. 7–14
- Häußermann, U.; Bach, M.; Klement, L.; Breuer, L. (2019): Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017. Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen. Abschlussbericht, UBA-Texte 131, Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt

- Löw, P.; Osterburg B. (2024): Evaluation of nitrogen balances and nitrogen use efficiencies on farm level of the German agricultural sector. *Agric Syst* 213, 103796, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103796>
- Löw, P.; Osterburg, B.; Garming, H.; Neuenfeldt, S.; Schultheiß, U. (2021): Bericht über die Auswirkungen der verbindlichen Stoffstrombilanzierung. BT-Drucksache 20/411, Berlin, Deutscher Bundestag
- Rösemann, C.; Vos, C.; Haenel, H.-D.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2023a): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2021: Report on methods and data (RMD) Submission 2023. <https://git-dmz.thuenen.de/vos/EmissionsAgriculture2023/-/wikis/home>, Zugriff am 15.02.2024
- Rösemann, C.; Vos, C.; Haenel, H.-D.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2023b): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2021: Input data and emission results. https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00085974, Zugriff am 15.02.2024
- Taube, F. (2021): Die Regelungen zur guten fachlichen Praxis der Düngung (DüV 2020) widersprechen der Zweckbestimmung des Düngegesetzes und tragen zur Verfehlung der Umweltziele Deutschlands und der EU bei. Expertise zur Bewertung des neuen Düngerechts (DüngeG, DüV, AVV GeA) von 2020 in Deutschland aus Sicht des Trinkwasserschutzes. Gutachten im Auftrag von: BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. https://www.bdew.de/media/documents/PI_20210707_Expertise-Prof-Taube-Bewertung-D%C3%BCngerecht-2020.pdf, Zugriff am 15.02.2024
- Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen (2020): Recyclingphosphate in der Düngung – Nutzen und Grenzen. Standpunkt des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/duengung/recyclingphosphate.pdf, Zugriff am 15.02.2024
- Zinnbauer, M.; Eysholdt, M.; Henseler, M.; Herrmann, F.; Kreins, P.; Kunkel, R.; Nguyen, H.; Tetzlaff, B.; Venohr, M.; Wolters, T.; Wendland, F. (2023): Quantifizierung aktueller und zukünftiger Nährstoffeinträge und Handlungsbedarfe für ein deutschlandweites Nährstoffmanagement – AGRUM-DE. Thünen Rep 108, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, <https://doi.org/10.3220/REP1684153697000>

Modellgestützte Bilanzierung und Optimierung von Nährstoffkreisläufen in landwirtschaftlichen Betriebssystemen

KURT-JÜRGEN HÜLSBERGEN, JOSEPH DONAUER, MARTIN MITTERMAYER, AURELIA OSTERMAIER, HARALD SCHMID

1 Einleitung

Ein wesentlicher Aspekt nachhaltiger Wirtschaftsweisen ist eine ausgeglichene Stickstoffbilanz. Der Stickstoffbedarf der Kulturpflanzen und die Stickstoffzufuhr, vor allem durch die organischen und mineralischen Dünger sowie die N_2 -Fixierung der Leguminosen, sollten in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Stickstoffüberschüsse verursachen Nitratbelastungen des Grundwassers, Ammoniak- und Lachgasemissionen (acatech 2023). In Deutschland gibt es Acker- und Grünlandflächen, Betriebe und Regionen mit hohen Bilanzüberschüssen an Stickstoff und Phosphor (Wiesler et al. 2016). Es existieren aber auch landwirtschaftliche Nutzflächen und Betriebe mit deutlich negativen Nährstoffbilanzen und abnehmenden Bodennährstoffgehalten. Daher besteht ein erheblicher Optimierungsbedarf.

Die Ursachen für Nährstoffüberschüsse und -defizite sind vielfältig: Sie betreffen

- die Struktur der Betriebe (Flächenstruktur, Fruchtfolge, Tierbesatz, Biogassysteme),
- die Nutztierfütterung und -haltungsform (z. B. Weideanteil, Stallsystem),
- die Wirtschaftsdüngerlagerung und -aufbereitung,
- die Düngungsintensität (organisch, mineralisch),
- das Düngungsmanagement (Menge, Terminierung, Verteilung, Applikationstechnik),
- die Bewirtschaftungsform (konventionell, ökologisch)
- und somit den gesamten betrieblichen Stoffkreislauf.

Für die Untersuchung betrieblicher Nährstoffkreisläufe wurden leistungsfähige Modelle entwickelt, in Deutschland z. B. das Umwelt- und Betriebsmanagementsystem REPRO (Hülsbergen 2003, Küstermann et al. 2010). REPRO wurde in praxisorientierten Projekten wie dem deutschlandweiten Netzwerk von 80 Pilotbetrieben eingesetzt (Chmelikova et al. 2021), um Stickstoff-, Phosphor-, Kalium- und Kohlenstoffkreisläufe zu analysieren und zu optimieren (Küstermann et al. 2008). Hierbei wurden Erfahrungen zum Datenbedarf, zur Datenverfügbarkeit, zum Analyseaufwand sowie zur Aussagekraft der Bilanzen gesammelt. Es hat sich gezeigt, dass Nährstoffkreisläufe und -bilanzen bei Entscheidungsprozessen im Betriebsmanagement sehr hilfreich sein können, wenn sie anschaulich dargestellt werden und einfach zu interpretieren sind (Schmid et al. 2022). Als große Herausforderung bei der Anwendung von REPRO in landwirtschaftlichen Betrieben hat sich die Datenerfassung erwiesen. Die relevanten Betriebsdaten liegen in unterschiedlichsten Formaten, sowohl digital wie auch nicht digital vor. Die Daten aus unterschiedlichen Quellen müssen für die Auswertung betrieblicher Nährstoffkreisläufe mit vertretbarem Aufwand in einem System (REPRO) zusammengeführt werden.

Ein weiteres Forschungsfeld im Bereich des digitalen Nährstoffmanagements sind sensor- und satellitengestützte Stickstoffdüngesysteme und Bilanzierungssysteme (Mittermayer et al. 2021, Schuster et al. 2022), die nicht den gesamten Schlag, sondern einzelne Teilflächen bzw. Rasterelemente (z. B. 10×10 m) als Berechnungsgrundlage nutzen. Die höhere Auflösung ermöglicht insbesondere auf heterogenen Stand-

orten eine präzisere Düngung und kann zur Einsparung von Düngemitteln sowie zur Reduktion von Nährstoffverlusten beitragen.

Seit einigen Jahren werden die webbasierten Nährstoffmanagementsysteme webBESyD (für den konventionellen Landbau) und Web-Man (für den ökologischen Landbau) von der Technischen Universität München, der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie sowie weiteren Partnern entwickelt.

Die Bilanzierung von Nährstoffkreisläufen in webBESyD und Web-Man basiert auf den methodischen Grundlagen von REPRO. Die Datenerfassung, die Algorithmen und Modellparameter werden aber weiterentwickelt und dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasst.

Ein übergeordnetes Entwicklungsziel ist die Sicherung einer hohen Praxistauglichkeit und Akzeptanz. Dazu sind Landwirte und Berater in den Entwicklungsprozess eingebunden.

Ziel des Beitrages ist,

- methodische Grundlagen und Ergebnisse der Analyse betrieblicher Nährstoffkreisläufe am Beispiel des Modells REPRO darzustellen,
- das neue Modul Nährstoffkreislauf und dessen Einbindung in die webbasierten Nährstoffmanagementsysteme webBESyD und Web-Man zu beschreiben,
- einen Ausblick auf die Verknüpfung von Stoffkreislaufanalysen mit sensor- und satellitengestützten teilflächenspezifischen Stickstoffbilanzierungssystemen zu geben.

2 Modellierung betrieblicher Nährstoffkreisläufe

2.1 Grundlagen des Modells REPRO

Das Modell REPRO ist ein Bilanzierungsmodell zur Bewertung der Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Systeme. Ein Kernelement von REPRO ist die Abbildung betrieblicher Nährstoffkreisläufe. Die Datengrundlage für die Berechnung von Nährstoffkreisläufen in REPRO bilden Informationen zu Standortbedingungen und Anbauverfahren im Pflanzenbau, zur Tierhaltung, zum Zu- und Verkauf von Düngern, pflanzlichen und tierischen Produkten. Das Modell REPRO enthält Algorithmen und Modellparameter, um Nährstoffflüsse auf Grundlage der Betriebsdaten zu berechnen. So werden bei der Kalkulation der N_2 -Fixierleistung von Klee-Luzerne-Gras die Leguminosenarten, der Leguminosenanteil, der Biomassertrag sowie die Ertragsverwendung (Mulch- oder Schnittnutzung) berücksichtigt (Küstermann et al. 2010). Der Nährstoffanfall der Wirtschaftsdünger wird anhand des Tierbesatzes, der Fütterung, der Tierleistungen, der Aufstallungsart (Festmist- oder Flüssigmistsystem) sowie der Wirtschaftsdüngerlagerung berechnet (Schmid et al. 2022).

REPRO ist hierarchisch aufgebaut. Niedere Systemebenen (Schläge, Fruchtfolgen, Ställe) werden als Elemente höherer Systemebenen (Betrieb) aufgefasst. Die Interaktionen zwischen den Betriebsteilen, z. B. Pflanzenbau und Tierhaltung, werden als verknüpfte Stoffflüsse dargestellt (Abb. 1). Bei der Modellierung der innerbetrieblichen Nährstoffflüsse gilt, dass die Nährstoffoutputs eines Subsystems den Nährstoffinputs des folgenden Subsystems entsprechen. Dies ermöglicht die konsistente Modellierung von Betriebssystemen.

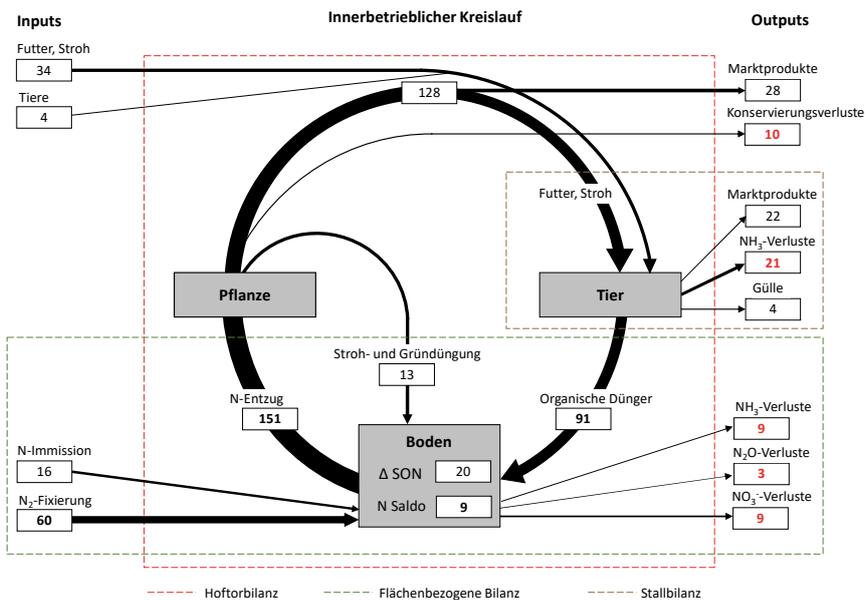


Abb. 1: Stickstoffkreislauf eines ökologischen Gemischtbetriebes mit Rinderhaltung. Stickstoffflüsse in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$, berechnet mit dem Modell REPRO (nach Küstermann et al. 2010)

Um ausgehend vom N-Saldo eines Schlags die potenziellen N-Verluste abschätzen zu können, enthält REPRO ein N-Umsatzmodul. Damit werden unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs, der Bodeneigenschaften, des Bodenprofilaufbaus sowie relevanter Managementmaßnahmen (z. B. Menge und Zeitpunkt einer N-Düngung, Termin eines Klee-Gras-Umbruchs) die N-Mineralisierung sowie die N-Verluste quantifiziert (Abraham 2001). Die Modellierung der N-Verluste mit dem N-Umsatzmodul erfordert umfangreiche schlagspezifische Modelleingangsdaten (z. B. bodenphysikalische Parameter, Bodenprofilaufbau). Die Nitratverluste können nur im Zusammenhang mit den jeweiligen Standortparametern, z. B. nutzbare Feldkapazität, Verdunstung, Sickerwasserrate, Austauschrate, interpretiert werden.

Eine Besonderheit des Modells besteht darin, die Stickstoffmineralisierung durch Humusabbau und die Stickstoffimmobilisierung durch Humusaufbau, also die Boden-N_{org}-Vorratsänderung (ΔN_{org}) in der Bilanz zu berücksichtigen (Tab. 1). Dies erfolgt durch eine Verknüpfung mit der dynamischen Humusbilanz (Hülsbergen 2003).

Tab. 1: Flächenbezogene Stickstoffbilanz ökologischer und konventioneller Betriebe, Projekt Netzwerk der Pilotbetriebe (nach Chmelikova et al. 2021, gekürzt)

Parameter	Einheit	Ökologischer Landbau		Konventioneller Landbau	
		Marktfrucht- betrieb (n = 12)	Milchvieh- Gemischtbetrieb (n = 18)	Marktfrucht- betrieb (n = 12)	Milchvieh- Gemischtbetrieb (n = 18)
Stickstoffzufuhr ¹⁾	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	142 ^a (97–185)	173 ^a (118–240)	246 ^b (177–313)	280 ^b (205–344)
N ₂ Fixierung	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	44 ^a	52 ^a	3 ^b	21 ^c
Organischer Dünger	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	37 ^a	91 ^b	26 ^a	134 ^c
Mineraldünger	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	0 ^a	0 ^a	158 ^c	91 ^b
Stroh/Gründünger	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	38 ^b	10 ^a	37 ^b	11 ^a
N-Entzug	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	116^b (94–139)	166^a (110–236)	186^a (155–210)	222^c (173–310)
Δ N _{org} Boden	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	3 ^{ab}	13 ^b	-14 ^a	-4 ^a
N-Saldo (ohne Δ N _{org})	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	26 ^a	8 ^a	60 ^b	58 ^b
N-Saldo (mit Δ N _{org})	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	23 ^a	-5 ^a	74 ^b	62 ^b
N-Effizienz (ohne Δ N _{org})	%	83 ^a	95 ^b	77 ^a	80 ^a

Δ N_{org} Boden = Veränderung des Boden-N_{org}-Vorrats

1) Stickstoffzufuhr einschließlich der N-Deposition und des Saatguteinsatzes.

Der N-Saldo (Abb. 1) kennzeichnet das Verlustpotenzial an reaktiven N-Verbindungen und ist einer der wichtigsten Agrar-Umweltindikatoren. Je höher der N-Saldo, umso größer ist die Gefahr von Stickstoffverlusten in die Umwelt. Negative N-Salden im Pflanzenbau zeigen an, dass der N-Entzug der Pflanzen die N-Zufuhr übersteigt und die Boden-N-Vorräte abnehmen. In zahlreichen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass der Indikator N-Saldo in Beziehung zu gemessenen N-Verlusten steht, z. B. den Nitratatragern (Mittermayer et al. 2021) und den N₂O-Emissionen (van Groenigen et al. 2010, Vinzent et al. 2018).

2.2 Ergebnisse der Anwendung des Modells REPRO

Das Modell REPRO kam in zahlreichen Forschungsprojekten (z. B. Hülshbergen et al. 2017) und betrieblichen Fallstudien (z. B. Küstermann et al. 2010, Lin et al. 2016) zum Einsatz. Ein besonders umfangreicher Datensatz liegt aus dem Projekt „Netzwerk der Pilotbetriebe“ vor, in dem über zehn Jahre Nährstoff-, Humus-, Energie- und Treibhausgasbilanzen analysiert wurden (Hülshbergen et al. 2022). Nachfolgend werden Ergebnisse zur flächenbezogenen Stickstoffbilanz dargestellt. Die Stickstoffflüsse werden untersucht, um folgende Fragen zu beantworten:

- Wie hoch sind die Stickstoffinputs, die Stickstoffsalden der ökologischen und konventionellen Betriebe? Gibt es systembedingte Unterschiede?
- Wie hoch ist die einzelbetriebliche Variabilität der Stickstoffflüsse?
- Welchen Einfluss haben die Betriebsstruktur (Fruchtfolge, Tierbesatz), die Produktionsrichtung und die Düngungsintensität auf die Stickstoffbilanz?
- In welchen Betriebssystemen treten negative, in welchen hohe N-Salden auf?
- Durch welche Maßnahmen können Stickstoffkreisläufe und -bilanzen optimiert werden?

In den Pilotbetrieben treten unterschiedliche Düngungsniveaus auf (Tab. 1). Die ökologischen Marktfruchtbetriebe weisen mit $142 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ die geringsten N-Inputs im Betriebsvergleich auf. Ökologische Milchvieh-Gemischtbetriebe führen den Böden im Mittel $173 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zu; die N-Zufuhr der konventionellen Betriebe liegt im Mittel ca. $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ höher. Bei der Analyse der N-Bilanzen ist die unterschiedliche Qualität und Wirkung der N-Dünger zu berücksichtigen. Im ökologischen Landbau werden überwiegend Dünger mit hohem Anteil an organisch gebundenem Stickstoff (z. B. Stallmist, Komposte) verwendet, die zur N-Akkumulation im Boden- N_{org} -Pool führen und langfristig wirken. Daher müssen Systemvergleiche die N-Mineralisation/N-Immobilisierung einbeziehen, um Fehlbewertungen zu vermeiden.

Die N-Entzüge der Betriebsgruppen unterscheiden sich deutlich. Die ökologischen Marktfruchtbetriebe erreichen 58%, die ökologischen Milchviehbetriebe 62% der N-Entzüge der entsprechenden konventionellen Pilotbetriebe. Um die N-Salden und N-Verlustpotenziale möglichst genau zu bestimmen, sind bei den N-Bilanzen die Boden-N-Vorratsänderungen (ΔN_{org}) einbezogen. In der ökologischen Milchviehhaltung besteht ein Potenzial zur N-Speicherung in der organischen Bodensubstanz (ΔN_{org} ist positiv), während im konventionellen Marktfruchtbau mit einer Abnahme der N-Vorräte (ΔN_{org} ist negativ) zu rechnen ist. Bei den beiden anderen Betriebsgruppen wurden geringere N_{org} -Vorratsänderungen berechnet.

Die N-Salden der ökologisch wirtschaftenden Betriebe sind deutlich geringer als die N-Salden der konventionellen Betriebe. Einige konventionelle Betriebe weisen sehr hohe N-Salden auf. Die mittleren flächenbezogenen N-Salden der Milchviehbetriebe sind (bei Berücksichtigung der Boden-N-Vorratsänderungen) etwas niedriger als die der Marktfruchtbetriebe, was auf eine gute N-Ausnutzung der applizierten organischen Dünger sowie bei den konventionellen Betrieben auf eine dem N-Bedarf der Kulturpflanzen und dem Wirtschaftsdüngeraufkommen angepasste Mineral-N-Düngung hinweist.

In Tabelle 1 sind zusammengefasste Ergebnisse der Analyse der Stickstoffkreisläufe dargestellt, die Ergebnisse zur einzelbetrieblichen Optimierung der Stickstoffkreisläufe sind dem Forschungsbericht zum Netzwerk der Pilotbetriebe (Schmid et al. 2022) zu entnehmen.

2.3 Grundlagen und Anwendung der Managementsysteme webBESyD/Web-Man

Die webbasierten Nährstoffmanagementsysteme webBESyD und Web-Man sind modular aufgebaut. Sie enthalten Modellkomponenten zur Analyse von Nährstoffkreisläufen sowie Module zur Düngebedarfsermittlung, Humusbilanzierung, Modellierung des Stickstoffumsatzes und Entscheidungsunterstützung (Abb. 2).

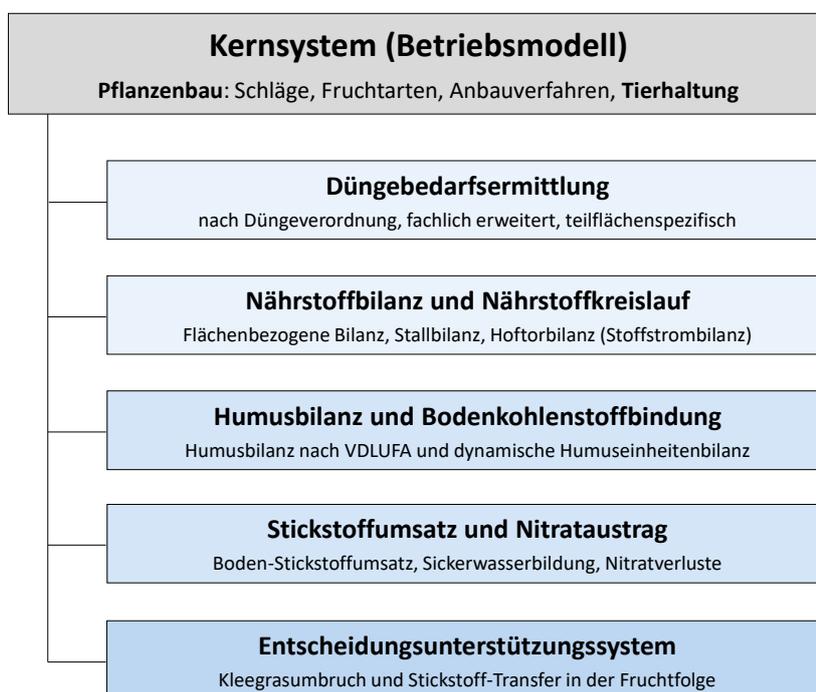


Abb. 2: Modularer Aufbau des webbasierten Nährstoffmanagementsystems Web-Man

Die für das Nährstoffmanagement erforderlichen Standort- und Betriebsdaten werden zentral im Kernsystem (Betriebsmodell) gespeichert. Das Kernsystem dient dazu, die Struktur und Verfahren des landwirtschaftlichen Betriebes abzubilden; bei der Bearbeitung entsteht schrittweise ein Modell des landwirtschaftlichen Betriebes. Im Pflanzenbau werden wie in einer digitalen Schlagkartei die Acker- und Grünlandschläge angelegt, relevante Daten (Schlagkontur, Schlaggröße, Bodenart, Humusgehalt ...) erfasst oder über Schnittstellen eingelesen. Schlagspezifisch werden Daten zu angebauten Fruchtarten, Anbauverfahren, Düngung (Art, Menge, Termin), Ertrag, Ertragsverwendung, etc. erfasst. In der Nutztierhaltung (noch in der Entwicklung) werden u. a. Haltungssysteme, Tierbestände, Tierleistungen, Futtereinsatz, Weidegang, Nährstoffausscheidung, Düngieranfall und Düngeraufbereitung abgebildet. Alle Fachmodule greifen auf die Daten des Kernmodells zu. Zur Unterstützung der Nutzer wird bei jedem Fachmodul angezeigt, ob alle erforderlichen Daten vorhanden sind oder Daten ergänzt werden müssen.

Die Düngbedarfsermittlung erfolgt (a) nach Düngeverordnung (DüV) und (b) optional nach einer erweiterten Methode, die aus dem sächsischen Düngeprogramm BESyD stammt. Sie folgt den gleichen Grundprinzipien wie die DüV, berücksichtigt aber mehr Einflussfaktoren, z. B. die Bestandsentwicklung. In Vorbereitung ist (c) die Integration der sensor- und satellitengestützten teilflächenspezifischen Düngung. Somit können die Nutzer mit sehr einfachen Anwendungen beginnen und z. B. nur die gesetzlich vorgeschriebene Düngbedarfsermittlung durchführen, oder schrittweise immer anspruchsvollere Module nutzen. Auch die anderen Fachmodule, wie z. B. die Module zur Humusbilanzierung und zum Nährstoffumsatz im Boden, greifen auf die gleichen Standort- und Pflanzenbaudaten zu, sodass neue Module ohne weiteren oder mit nur geringem Datenerfassungsbedarf angewendet werden können.

Im Modul Nährstoffbilanz werden (analog zum Modell REPRO) die flächenbezogene Nährstoffbilanz, die Stallbilanz und die Hoftorbilanz kombiniert, um den landwirtschaftlichen Stoffkreislauf abzubilden

(Abb. 3). Die Analyse der Stoffströme der Nutztierhaltung ist relativ aufwendig, da verschiedene Haltungssysteme, das Herdenmanagement, die Futterwirtschaft sowie der leistungs- und fütterungsbedingte Nährstoffanfall abgebildet werden müssen. Digitale Tools zur Lagerhaltung und zur Unterstützung der Düngerverteilung (Düngerverteilplan) werden derzeit implementiert.

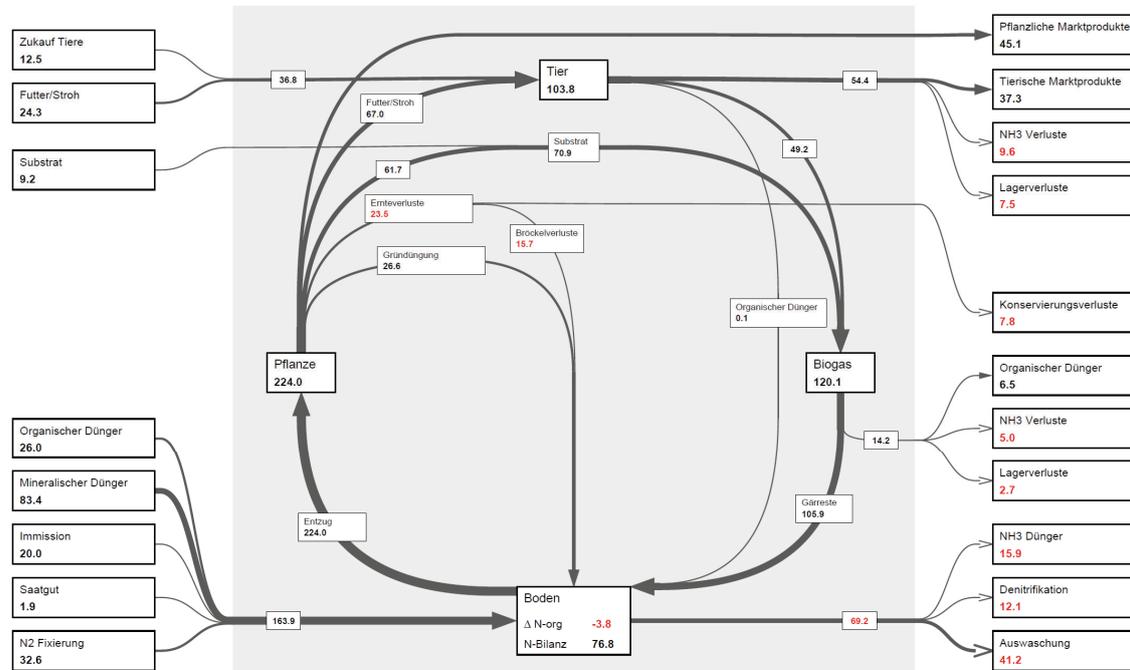


Abb. 3: Stickstoffkreislauf eines konventionellen Betriebes mit Tierhaltung und Biogasanlage. Stickstoffflüsse in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$, Bildschirmanzeige Web-Man.

Web-Man ist so aufgebaut, dass nicht nur der Stoffkreislauf Boden – Pflanze – Tier – Boden (wie in REPRO) abgebildet werden kann, sondern künftig auch Biogasanlagen und die eigenbetriebliche Kompostierung bzw. Transfer-Mulch-Systeme modelliert werden können.

2.4 Sensor- und satellitengestützte teilflächenspezifische Nährstoffbilanzierung

In webBESyD und Web-Man ist die Integration von Precision Farming-Modulen konzeptionell vorgesehen, aber noch nicht realisiert. Durch die Nutzung vorhandener Komponenten (z. B. Geographisches Informationssystem) kann der Entwicklungsaufwand begrenzt werden. Für die Anwender wird der Einstieg in ein teilflächenspezifisches Management in webBESyD deutlich vereinfacht, da sie ein bekanntes System nutzen können.

Voraussetzung für die teilflächenspezifische N-Bilanzierung (Abb. 4) ist die Verfügbarkeit georeferenzierter Daten zur N-Düngung, zu Erträgen und N-Entzügen, die in unterschiedlicher räumlicher Auflösung, Genauigkeit, Kosten und Verfügbarkeit ermittelt werden können. Mittermayer et al. (2021) wiesen nach, dass die N-Salden auf einheitlich gedüngten Schlägen kleinräumig erheblich variieren. So schwankten die N-Salden auf einem 13 ha großen Ackerschlag zwischen -116 bis $+72 \text{ kg ha}^{-1}$; der mittlere N-Saldo betrug 10 kg ha^{-1} . In Niedrigertragszonen wurden hohe umweltgefährdende N-Verluste nachgewiesen, während in Hohertragszonen stark negative N-Salden auftraten.

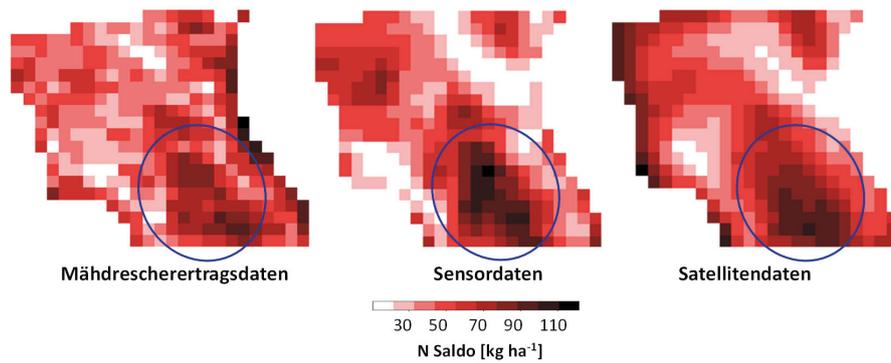


Abb. 4: Räumliche Variabilität des N-Saldos auf einem Ackerschlag (4,15 ha) mit Winterweizen (2019) in Niederbayern (nach Mittermayer et al. 2022)

Eine Innovation besteht in der Verknüpfung räumlich hochauflösender Bodendaten, Management- und Prozessdaten (z. B. Mährescher-Ertrags erfassungssysteme), Sensordaten (multispektrale Sensoren) und Satellitendaten in Nährstoffmanagementsystemen zur Analyse der teilflächenspezifischen Ertragspotenziale, der Humus- und Nährstoffversorgung, der Stickstoffsalden und der Auswaschunggefährdung von Acker- und Grünlandflächen (Abb. 5).

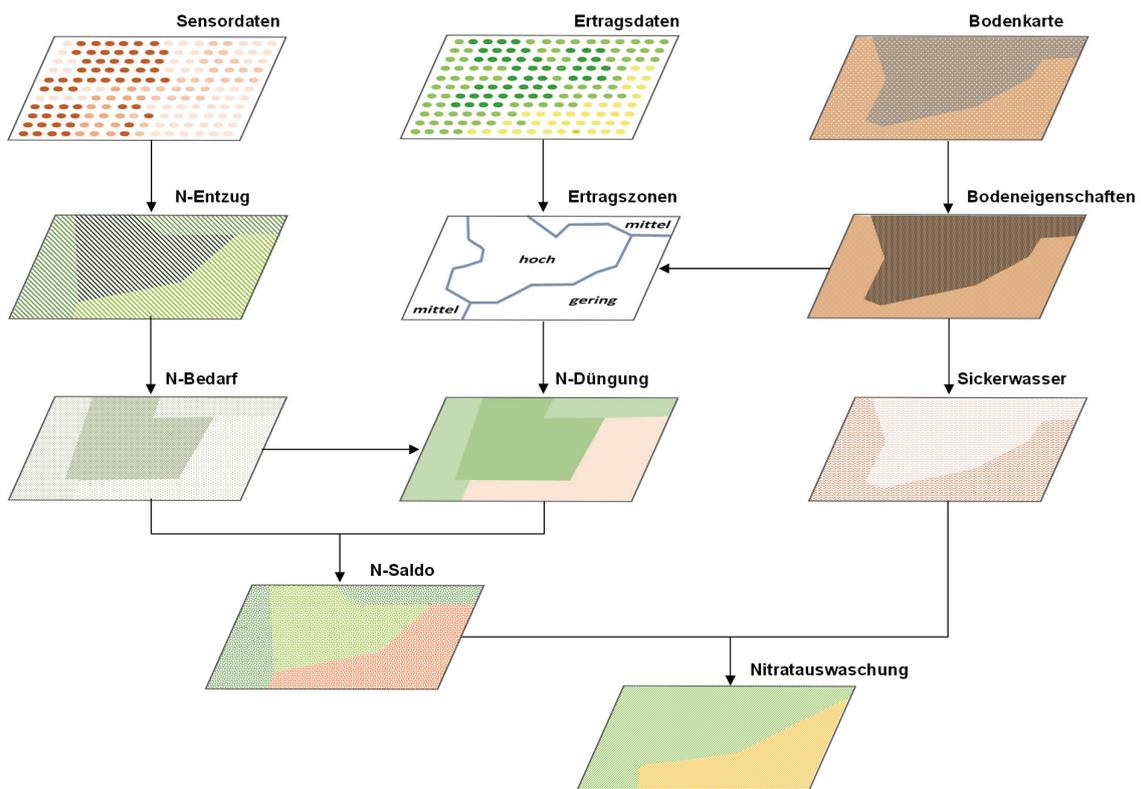


Abb. 5: Schema der teilflächenspezifischen Stickstoffbilanzierung (nach Weckesser et al. 2021)

3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Digitale Managementsysteme können dazu beitragen, das Nährstoff- und Humusmanagement zu optimieren, indem sie sowohl gesamtbetriebliche Nährstoffkreisläufe abbilden können als auch die detaillierte teilflächenspezifische Nährstoffbilanzierung ermöglichen.

Das System REPRO hat sich als wissenschaftliches Modell zur Analyse von Nährstoffkreisläufen in vielen Forschungsprojekten bewährt. Die methodischen Grundlagen zur Analyse und Bewertung von Nährstoffkreisläufen werden derzeit in webBESyD/Web-Man integriert. Beide Modelle sind für Anwendungen in Praxis und Beratung konzipiert.

Es gibt viele wissenschaftliche Arbeiten, in denen nachgewiesen wurde, dass Precision Farming-Technologien, wie z.B. die sensorgestützte Stickstoffdüngung, zur Einsparung von Mineraldünger (Spiecker 2017) und zur wirksamen Minderung von N-Überschüssen und N-Verlusten (Mittermayer et al. 2022, Schuster 2022) beitragen können. Nach der Studie von Gabriel und Gandorfer (2022) zur Nutzung digitaler Technologien in der Landwirtschaft werden sensorgestützte Düngungssysteme und die digitale Ertrags Erfassung am Mähdrescher aber nur von maximal 10% der Landwirte genutzt. Die teilflächenspezifische Düngung und Nährstoffbilanzierung hat sich noch nicht in der Breite der Landwirtschaft durchgesetzt. Hierfür gibt es Gründe wie hohe Investitionskosten und Anforderungen an die Qualifikation, z.T. auch hohes Fehlerpotenzial (Ertragserfassung am Mähdrescher), für die Anwender intransparente Algorithmen oder noch nicht ausgereifte Technik (Mittermayer 2022).

In weiteren bereits laufenden oder beantragten Forschungsprojekten geht es daher um die Lösung noch vorhandener technischer Probleme der digitalen Nährstoffmanagementsysteme, die Sicherung eines effizienten Datenaustauschs sowie die Verbesserung der Genauigkeit, der Robustheit und Praxistauglichkeit der Systeme. Durch die aktive Beteiligung von Landwirten und Beratern sollen die Anwendbarkeit und Akzeptanz der digitalen Systeme verbessert und damit Voraussetzungen für den verstärkten Praxiseinsatz geschaffen werden.

Literatur

- Abraham, J. (2001): Auswirkungen von Standortvariabilitäten auf den Stickstoffhaushalt ackerbaulich genutzter Böden unter Berücksichtigung der Betriebsstruktur, der standortspezifischen Bewirtschaftung und der Witterungsbedingungen. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Aachen, Shaker-Verlag
- acatech (2023): Nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, München. acatech POSITION, https://doi.org/10.48669/aca_2023-1
- Chmelikova, L.; Schmid, H.; Anke, S.; Hülsbergen, K.-J. (2021): Nitrogen-use efficiency of organic and conventional arable and dairy farming systems in Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10126-9>
- Gabriel, A.; Gandorfer, M. (2022): Adoption of digital technologies in agriculture – an inventory in a european small-scale farming region. *Precision Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09931-1>
- Hülsbergen, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Aachen, Shaker Verlag
- Hülsbergen, K.-J.; Maidl, F.X.; Forster, F.; Prücklmaier, J. (2017): Minderung von Nitratausträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch optimiertes Stickstoffmanagement. Forschungsbericht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Technische Universität München

- Hülsbergen, K.-J.; Schmid, H.; Paulsen, H. M. (Hg.) (2022): Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Thünen Rep 92, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, <https://doi.org/10.3220/REP1646034190000>
- Küstermann, B.; Kainz, M.; Hülsbergen, K.-J. (2008): Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(1), pp. 38–52
- Küstermann, B.; Christen, O.; Hülsbergen, K.-J. (2010): Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135(1–2), pp. 70–80
- Lin, H.-C.; Huber, J.A.; Gerl, G.; Hülsbergen, K.-J. (2016): Nitrogen balances and nitrogen-use efficiency of different organic and conventional farming systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 105(1), pp.1–23
- Mittermayer, M.; Gilg, A.; Maidl, F.-X.; Nätscher, L.; Hülsbergen, K.-J. (2021): Site-specific nitrogen balances based on spatially variable soil and plant properties. *Precision Agriculture* 22, pp. 1416–1436
- Mittermayer, M.; Maidl, F.-X.; Nätscher, L.; Hülsbergen, K.-J. (2022): Analysis of site-specific N balances in heterogeneous croplands using digital methods. *European Journal of Agronomy* 133, 126442
- Schmid, H.; Chmelikova, L.; Anke, S.; Hülsbergen, K.-J. (2022): Analyse der ökologischen Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz mit Stoff-, Energie- und Treibhausgasbilanzen. In: Hülsbergen, K.-J.; Schmid, H.; Paulsen, H.M. (Hg.): Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Thünen Rep 92, S. 31–105, <https://doi.org/10.3220/REP1646034190000>
- Schuster, J.; Mittermayer, M.; Maidl, F.-X.; Nätscher, L.; Hülsbergen, K.-J. (2022): Spatial variability of soil properties, nitrogen balance and nitrate leaching using digital methods on heterogeneous arable fields in southern Germany. *Precision Agriculture* 24, pp. 647–676
- Van Groenigen, J. W.; Velthof, G. L.; Oenema, O.; Van Groenigen, K. J.; Van Kessel, C. (2010): Towards an agronomic assessment of N₂O emissions: a case study for arable crops. *European Journal of Soil Science* 61, pp. 903–913
- Vinzent, B.; Fuß, R.; Maidl, F.-X.; Hülsbergen, K.-J. (2018): N₂O emissions and nitrogen dynamics of winter rapeseed fertilized with different N forms and a nitrification inhibitor. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 259, pp. 86–97
- Wiesler, F.; Hund-Rinke, K.; Gäth, S.; George, E.; Greef, J.M.; Hölzle, L.E.; Holz, F.; Hülsbergen, K.-J.; Pfeil, R.; Severin, K.; Frede, H.-G.; Blum, B.; Schenkel, H.; Horst, W.; Dittert, K.; Ebertseder, T.; Osterburg, B.; Philipp, W.; Pietsch, M.; Nessel, T. (2016): Use of organic fertilizers and organic wastes in agriculture. *Berichte über Landwirtschaft* 94(1), pp. 1–14
- Weckesser, F.; LeBke, F.; Luthardt, M.; Hülsbergen, K.-J. (2021): Conceptual Design of a Comprehensive Farm Nitrogen Management System. *Agronomy* 11(12), 2501

Nährstoffausscheidungen und –bilanzen bei besonders tiergerechten Haltungsverfahren

STEPHAN SCHNEIDER

1 Einleitung

Einerseits sind die Nährstoffausscheidungen von Nutztieren ein zentraler Baustein einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft. Andererseits sind in den letzten Jahren vermehrt die negativen Umweltwirkungen der Nährstoffausscheidungen in den Fokus gerückt, welche bei einer unsachgemäßen Verteilung und Ausbringung entstehen können. Die Nutztierhaltung mit ihrer Erzeugung tierischer Produkte, wie Fleisch, Milch oder Eier, verursacht Stickstoff(N)-Emissionen, da ein Großteil des im Futter enthaltenen Proteins nicht verwertet, sondern über Kot und Harn ausgeschieden wird. Stickstoff aus Kot und Harn kann zu Emissionen in die Gewässer – in erster Linie über Nitrat – oder in die Luft – in erster Linie als Ammoniak (NH_3) – führen (Spiekers und Schneider 2019). Der Gesetzgeber behandelt das Thema Nährstoffausscheidungen in unterschiedlichen Gesetzen und Verordnungen und verschärft zunehmend die Vorgaben in der Umwelt- und Düngegesetzgebung (DüV 2021, StoffBilV 2017, TA Luft 2021). Die DLG empfiehlt deswegen nährstoffangepasste Fütterungsverfahren mit reduzierten Rohprotein- und Phosphorgehalten. Durch den Einsatz von Phytase und synthetischen Aminosäuren bei den Monogastriern (Geflügel, Schwein) werden Nährstoffausscheidungen und Emissionen verringert und gleichzeitig die Ressourceneffizienz erhöht. Dies ist notwendig, um die gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich des Nährstoffanfalls und der Emissionsreduktion aus der Schweinehaltung zu erfüllen (Schneider et al. 2021). Die DLG definierte hierfür beispielsweise bei Schweinen Vorgaben für stark und sehr stark N-/P-reduzierte Fütterungsverfahren (DLG 2014, 2019), welche in der Praxis zunehmend eingesetzt werden.

Die Förderung des Tierwohls und die Transformation der Haltungsbedingungen landwirtschaftlicher Nutztiere stehen auf der Agenda der aktuellen Politik und greifen die veröffentlichte Forderung nach mehr Tierwohl auf. Nutztierhaltende Betriebe werden deshalb in der Umsetzung von Tierwohlmaßnahmen durch verschiedene öffentliche Mittel der Länder, des Bundes und der EU unterstützt, wobei die Ausgestaltung vieler Fördermaßnahmen den Bundesländern obliegt.

Es stellt sich die Frage, wie die als „besonders tiergerecht“ eingestuftten Haltungsverfahren hinsichtlich deren Nährstoffausscheidung und Umweltwirkung zu bewerten sind.

2 Organisches Beschäftigungsmaterial und –futter

Für die Verbesserung der Haltungssituation und des Tierverhaltens wird organischem Beschäftigungsmaterial, am besten verzehrbar, häufig eine zentrale Bedeutung zugewiesen (BLE 2018). So wurden Auslegungshinweise zu gesetzlichen Vorgaben bezüglich Rohfaser sowie Sattfütterung und Beschäftigung von Schweinen in den letzten Jahren zunehmend auf organische Materialien ausgerichtet. In der Initiative Tierwohl lautet beispielsweise eines der beiden Wahlpflichtkriterien „Angebot von Raufutter“, womit unterschiedliche Grobfutter gemeint sind (BLE 2018).

Die Bundesländer fördern die Transformation der Tierhaltung zu besonders tiergerechten Haltungsverfahren mit unterschiedlichen Programmen. In Baden-Württemberg ist ein Ziel des Förderprogramms für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl die Förderung einer artgerechten Tierhaltung, auch im Bereich der Mastschweinehaltung. Für die verschiedenen Förderstufen müssen unterschiedliche Voraussetzungen und Auflagen erfüllt werden, unter anderem bezüglich des Platzangebots, der Gruppengröße, einer Buchtenstrukturierung und des Beschäftigungsmaterials. Ein erhöhtes Platzangebot geht, wenn es sich um zusätzlich verschmutzte Fläche handelt, jedoch mit einer Erhöhung der emissionsaktiven Fläche, höheren Emissionen und somit Nährstoffverlusten einher. Dem kann nur durch eine funktionierende Buchtenstrukturierung bzw. anderen technischen Maßnahmen entgegengewirkt werden.

Zusätzlich aufgenommenes Beschäftigungsfutter zum Hauptfutter führt zu einer höheren Gesamtfuteraufnahme und erhöhter Kotausscheidung. Es kommt jedoch aufgrund der insgesamt geringen Menge an verbrauchtem Beschäftigungsfutter häufig zu keiner Hauptfuttermittelveerdrängung (Preißinger et al. 2015, 2016, Scholz et al. 2016). Wichtig ist daher, dass die angebotene Menge nicht zu hoch ist, damit die Verluste, die später teilweise in den Wirtschaftsdüngern erscheinen, begrenzt werden. Aber auch wenn die „Faser“ in die Ration eingemischt wird und die Gesamtfuteraufnahme nicht ansteigt, nimmt die Kotmasse zu. Dies ist dadurch zu begründen, dass Futtermittel, die als Beschäftigungsfutter eingesetzt werden, wasserbindend sind und die Passage des Nahrungsbreis beschleunigen, was wiederum zu reduzierter Wasserresorption und erhöhter Kotmasse führt (BLE 2018).

Das Angebot von Beschäftigungsmaterial bzw. -futter führt somit zu einem erhöhten Nährstoffeintrag ins System. Zudem können durch nicht verzehrte organische Beschäftigungsmaterialien bzw. -futter Probleme mit dem Entmistungssystem entstehen, da dieses in der Regel nicht auf hohe Fasergehalte ausgelegt ist. Sollte das Beschäftigungsmaterial bzw. -futter von außerhalb des Betriebes (Hof-Tor) zugeführt werden, erhöht dies den Nährstoffinput in den Gesamtbetrieb und somit die Bilanzwerte in der Stoffstrombilanz.

3 Faserhaltige Futtermittel und Faserbewertung

Um das Auftreten von Schwanzbeißen bei Schweinen zu reduzieren, fordert die EU für Schweine einen Mindestgehalt von 4% Rohfaser im Futter (BLE 2018). Die Verfütterung von faserhaltigen Futtermitteln wie Weizenkleie, Obsttrester, Grünmehl oder Sojabohnenschalen kann zur Gesunderhaltung des Darms beitragen, jedoch führt ihre Verfütterung häufig zur Verringerung der ilealen Verdaulichkeit von Nährstoffen. Zudem kann sie eine Belastung mit Mykotoxinen von Fusarien mit sich bringen (BLE 2018). Mit steigenden Rohfasergehalten in der Ration nimmt insbesondere die Verdaulichkeit von Rohprotein kontinuierlich ab, sodass mehr Stickstoff ungenutzt ausgeschieden wird. Dies führt zu einer Verschlechterung der Stickstoffbilanz (Stangl et al. 2014). Die Erhöhung der Faseraufnahme ist jedoch ein wichtiges Mittel, um die Ammoniak- und Geruchsemissionen zu reduzieren (Leek et al. 2007).

Forderungen nach mehr Rohfaser oder anderen Faserfraktionen wie aNDFom (aschefreie neutrale Detergentien-Faser) oder ADFom (aschefreie saure Detergentien-Faser) in Futtermitteln für Schweine sind derzeit verfrüht, da wissenschaftliche Erkenntnisse zu deren Wirkung auf das Tierwohl fehlen. Dies gilt ebenso für diverse Faserbewertungen, wie WHC (Wasserhaltekapazität), WBC (Wasserbindekapazität), Quellvermögen, bfS (bakteriell fermentierbare Substanz) oder verdauliche Faser (BLE 2018), welche derzeit diskutiert werden. Die kürzliche Einführung von VDLUFA-Methodenvorschriften zur Bestimmung der WHC, WBC und des Quellvermögens gehen hier in die richtige Richtung, es fehlen jetzt systematische Versuche mit unterschiedlichen Rationsgehalten.

4 Weitere Fütterungsmaßnahmen zur Verringerung der Nährstoffausscheidungen

Von Seiten der Fütterung sind die Verringerung der Rohproteinaufnahme, eine Verschiebung der Stickstoffexkretion vom Harn zum Kot und eine Absenkung des pH-Wertes von Urin und Kot Ansatzpunkte, um die Auswirkungen der Tierhaltung auf die Umwelt abzuschwächen. Von geringeren Ammoniakemissionen profitieren auch die Tiere und die Tierbetreuer.

Die Verschiebung der N-Ausscheidung vom Harn zum Kot durch mikrobielle Bindung von Stickstoff im Dick- und Blinddarm funktioniert, wenn im Dickdarm mehr Energie zur Bildung der Mikrobenmasse zur Verfügung steht. Dies kann beispielsweise durch einen höheren Anteil an Nicht-Stärke-Polysacchariden in den Rationen erreicht werden, da dies durch eine erhöhte mikrobielle Aktivität im Dickdarm zu einer Verschiebung weg vom Harn-N hin zum Kot-N führt. Dies hat eine geringere Ammoniakemission zur Folge (Canh et al. 1997).

Bei Mühlennebenprodukten muss der hohe P-Gehalt berücksichtigt werden, der sich negativ auf die Nährstoffbilanzen auswirkt. Ein weiterer Nachteil beim Einsatz faserhaltiger Produkte ist häufig der Preis. Im Rahmen von Erprobungen zum Verzicht auf das Schwänzekupieren zeichnet sich ab, dass faserhaltige Futterkomponenten eine wesentliche Rolle einnehmen könnten (BLE 2018). Die letztgenannten Ansatzpunkte zur Verringerung der Nährstoffausscheidungen und Emissionen sind nicht nur bei besonders tiergerechten Haltungsverfahren möglich.

5 Fazit

Die Fütterung muss zukünftig immer mehr Aufgaben erfüllen: Zusätzlich zur bedarfsgerechten Energie-, Nähr- und Wirkstoffversorgung, der Gesunderhaltung der Tiere und ökonomischen Fütterung gewinnt das Wohlergehen der Tiere und die Schonung der Umwelt weiter an Bedeutung. Konfligierende Ziele zwischen Tierwohl, Ressourcenschutz, Umweltschutz und Ökonomie sind zu adressieren und müssen gelöst werden. Bevor neue Richtlinien und Vorgaben für die Schweinehaltung beschlossen werden, müssen erst fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse und Praxiserfahrungen gemacht werden.

Literatur

- BLE – Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2018): Gesamtbetriebliches Haltungskonzept Schwein – Mastschweine. Bonn, BLE
- Canh, T.T.; Verstegen, M.W.A.; Aarnink, A.J.A.; Schrama, J.W. (1997): Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *J. Anim. Sci.* 75(3), pp. 700–706
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (2019): Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen. Merkblatt 418, Frankfurt am Main, DLG-Verlag
- DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG, Band 199, Frankfurt am Main, DLG-Verlag
- DüV (2021): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die zuletzt durch Artikel 97 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
- Leek, A.G.B.; Hayes, E.; Curran, T.P.; Callan, J.J.; Dodd, V.A.; Beattie, V.E.; O'Doherty, J.V. (2007): The influence of manure composition on emissions of odour and ammonia from finishing pigs fed different concentrations of dietary crude protein. *Bioresource Technol.* 98, pp. 3431–3439
- Preißinger, W.; Hahn, E.; Lindermayer, H.; Propstmeier, G. (2015): Zum Tierwohl – Kraftfutterverdrängung durch unterschiedliche Rohfaserträger in der Ferkelaufzucht? In: Tagungsband Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Verband der Landwirtschaftskammern in Zusammenarbeit mit DLG e.V., 14.–15.04.2015, Fulda, S. 220–223
- Preißinger, W.; Propstmeier, G.; Scherb, S. (2016): Verschiedene faserreiche Futtermittel als organische Beschäftigungsmaterialien in der Ferkelaufzucht mit Flüssigfütterung. In: Tagungsband Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Verband der Landwirtschaftskammern in Zusammenarbeit mit DLG e.V., 12.–13.04.2016, Fulda, S. 160–163.
- Schneider, S.; Brunlehner, E.-M.; Spiekers, H. (2021): Nährstoffkreislauf in Schweinebetrieben: Ergebnisse und gesamtbetriebliche Beratungsansätze aus dem Verbundprojekt „demonstration farms“. *Züchtungskunde* 93, S. 19–41
- Scholz, T.; Stalljohann, G.; Norda, C.; von und zur Mühlen, F.; Visscher, C. (2016): Einsatz verschiedener Grobfuttermittel in der Schweinemast. In: Tagungsband Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Verband der Landwirtschaftskammern in Zusammenarbeit mit DLG e.V., 12.–13.04.2016, Fulda, 164–167
- Spiekers, H.; Schneider, S. (2019): Stickstoffemissionen aus deutschen Rinderbetrieben – haben wir die Nase vorn oder gerümpft? *LBH: 10. Leipziger Tierärztekongress, Tagungsband 3*, S. 99–105
- StoffBilV (2017): Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung) vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360), die durch Artikel 98 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
- Stangl, G.I.; Schwarz, F.J.; Roth, F.X.; Südekum, K.-H.; Eder, K. (2014): *Kirchgeßner Tierernährung*. Frankfurt am Main, DLG-Verlag
- TA Luft (2021): Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021, GMBI 2021 Nr. 48–54, S. 1050

Mehr Tierwohl – wie verändern sich die Emissionen?

EVA GALLMANN

1 Einleitung

Die gesellschaftlichen und politischen Anforderungen an die Nutztierhaltung steigen und haben einen bedeutsamen strukturellen und baulichen Transformationsprozess angestoßen. Die Anforderungen zahlreicher Tierwohl-Label sowie Ergebnisse von Befragungen zeigen, dass –vereinfacht gesagt– ein erhöhtes und strukturiertes Platzangebot, Einstreu sowie der Zugang zu Außenklima oder Weide als Nutztierhaltungssysteme der Zukunft angesehen werden (Bernhardt 2022, Opderbeck et al. 2024).

Zur Einordnung, am Beispiel der Schweinehaltung: Im Jahr 2020 waren noch knapp 96 % der Schweinestallplätze auf Vollspalten- bzw. Teilspaltenboden, bei Sauen rund 93 % und bei den übrigen Schweinen gut 96 %. Nur rund 1 % der Haltungplätze der Schweine waren mit einem Zugang zu einem Auslauf versehen und etwa 4 % der Stallplätze durch einen Außenklimastall gekennzeichnet (Deblitz et al. 2023).

Das Potenzial von Automatisierung und Digitalisierung zur 1) Unterstützung der Steuerung und Regelung verfahrenstechnischer Prozesse, 2) zum Monitoring von Tiergesundheit, Tierverhalten, Nährstoffflüssen und Emissionen sowie 3) als Bausteine von Entscheidungshilfe- und Farmmanagementsystemen ist weiterhin sehr hoch (Bernhardt 2022, Opderbeck et al. 2024).

2 Von der Theorie zur Praxis

Die Bildungs- und Freisetzungprozesse der Emissionen von Ammoniak, Methan, Feinstaub und Geruch sind grundsätzlich bekannt. Maßgebliche Einflussfaktoren sind je nach Substanz u.a. Temperatur, Luftfeuchte, pH-Wert, Luftströmung, Nachlieferungspotenzial, Menge leicht abbaubarer organischer Substanz, Menge, Struktur und Häufigkeit von Einstreu, Sauerstoffverfügbarkeit, inhibierende oder fördernde Stoffe, Fütterungs- und Tierabhängigkeit der Ausscheidung sowie Umwandlungsprozesse (KTBL 2023).

Besondere Aufmerksamkeit gilt den Oberflächen im (Flüssig-)Mistkanal und den mit Kot-Harn-Gemisch verschmutzten Flächen in den Lauf- bzw. Aktivitäts- und Liegebereichen. Das konkrete Emissionspotenzial an den unterschiedlichen Oberflächen hängt wiederum von den Bedingungen an der Oberfläche selbst und an der Phasengrenzschicht zur Luft ab, die durch Verschmutzung, Reinigung, Abtrocknung, Temperatur, Tieraktivität sowie Luftströmung permanenten Änderungen unterliegen.

Diese Effekte werden für die verschiedenen Strategien zur Ammoniakemissionsminderung im Stall an den Oberflächen genutzt: kühlen, ansäuern, reinigen, hemmen, verschmutzte Oberflächen verkleinern, Kot und Harn trennen, Luftaustausch reduzieren (KTBL 2023, Hahne 2023).

Je nach Ausführung kann also die Interaktion von Flächengestaltung und -größe, Tierverhalten (wo wird Kot und Harn abgesetzt), Entmistungs-, Fütterungs- und Lüftungsmanagement in Tierwohlstallkonzepten als auch in konventionellen Ställen grundsätzlich sowohl zu geringen oder zu erhöhten Emissionen führen. Smarte Lösungen bei der Automatisierung, Steuerung und Regelung und eine hohe Tierakzeptanz für begrenzte Kot-Harn-Bereiche können das Zusammenspiel so unterstützen, dass es eher zu geringeren Emissionen führt (Oettl et al. 2023).

Die Kühlung von Ställen kann durch die Minderung der Wärmebelastung sowohl dem Tierwohl, der Tiergesundheit und der Produktivität zuträglich sein, als auch emissionsmindernd wirken, da der Temperatureinfluss bei der Gasbildung und -freisetzung sehr ausgeprägt ist. Dieser Aspekt gewinnt im Kontext der aktuellen und prognostizierten Klimaveränderungen zunehmend an Bedeutung (Hempel 2019).

Für die Beurteilung von Ammoniak und Geruch im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ist nicht nur die Emission entscheidend, sondern auch die Ausbreitung und Immissionskonzentration in empfindlichen Gebieten. Hier sind insbesondere die Ableit-, Ausbreitungs-, (An-)Strömungs- und Standortbedingungen zu beachten. Diffuse und bodennahe Quellen (wie z. B. Offenställe, Ausläufe und Laufhöfe, die wiederum als typische Tierwohlstallkonzepte angesehen werden) stellen auch angesichts der sich schnell ändernden Durchströmungsbedingungen (Doumbia et al. 2021) eine Herausforderung für die Ausbreitungsmodellierung und Beurteilung dar.

Der richtige Einsatz von Einstreumaterialien kann Harn binden und durch den Abdeckungseffekt Emissionen mindern; Einstreu stellt aber auch eine Partikel- und Bioaerosolquelle dar (Clauß 2020). In der Gesamtbeurteilung von Tierwohlstallkonzepten mit Ausläufen und Weide sind die Risiken für die Tiergesundheit durch z. B. Mykotoxine, Salmonellen oder Parasiten ebenso zu berücksichtigen. Ein hoher Krankenstand im Tierwohlstall beeinflusst die Emissionen beispielsweise indirekt über eine veränderte Ausscheidung, reduzierte Futtereffizienz, längere Produktionszyklen und Medikamenteneinsatz (Weißensteiner und Winckler 2019).

3 Fazit

Die Frage „Mehr Tierwohl – wie verändern sich die Emissionen?“ ist nicht einfach zu beantworten. Es bedarf einer differenzierten Betrachtung, da zum einen der Überbegriff „Tierwohl“ vielfältige tierbezogene, ressourcen- und managementbezogene Parameter und Begrifflichkeiten subsummiert. Zum anderen werden die Emissionen auf den verschiedenen Skalen Haltungssystem, Stallgebäude, Standort sowie generell entlang der gesamten Verfahrenskette multifaktoriell beeinflusst. Schließlich finden sich entsprechend vielfältige Interaktionen und Abhängigkeiten zwischen „Tierwohl“ und „Emissionen“, die zudem eine ausgeprägte zeitliche Dimension aufweisen. Neben der Stallkonzeption ist vor allem das Management entscheidend, ob ein Mehr an Tierwohl mit einem Weniger an Emissionen einhergehen wird.

Literatur

- Bernhardt, H. (2022): Technik in der Rinderhaltung. In: Frerichs, L. (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik 2022. Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 1–18, <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202303081049-0>
- Clauß, M. (2020): Emission von Bioaerosolen aus Tierhaltungsanlagen – Methoden und Ergebnisse verfügbarer Bioaerosoluntersuchungen in und um landwirtschaftliche Nutztierhaltung. Thünen Working Paper 138, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, <https://doi.org/10.3220/WP1578478975000>
- Deblitz, C.; Verhaagh, M.; Efken J. (2023): Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Ferkelerzeugung und Schweinemast. Braunschweig, Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
- Doumbia, E.; Janke, D.; Yi, Q.; Prinz, A.; Amon, T.; Kriegel, M.; Hempel, S. (2021): A Parametric Model for Local Air Exchange Rate of Naturally Ventilated Barns. *Agronomy* 8, p. 1585, <https://doi.org/10.3390/agronomy11081585>
- Hahne, J. (2023): Möglichkeiten zur Emissionsvermeidung und -verminderung. In: Frerichs, L. (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik 2022, Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 1–12, <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202301130843-0>

Hempel, S.; Menz, C.; Pinto, S.; Galán, E.; Janke, D.; Estellés, F.; Müschner-Siemens, T.; c Wang, X.; Heinicke, J.; Zhang, G.; Amon, B.; del Prado, A.; Amon, T. (2019): Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potenzial impacts. *Earth Syst. Dynam.* 10, pp. 859–884, <https://doi.org/10.5194/esd-10-859-2019>

KTBL (2023): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Tagung am 10. und 11. Oktober 2023 in Bonn, <https://www.ktbl.de/themen/emissionstagung>, Zugriff 25.02.2024

Oettl, D.; Zentner, E.; Zentner, A.; Mair, R.; Oettl, H.; Kropsch, M. (2023): Assessment of Odour and Ammonia Impacts for a Novel Fattening Piggery Tailored for Animal Welfare and Low Emission Rates. *Atmosphere* 14(1), 75, <https://doi.org/10.3390/atmos14010075>

Opderbeck, S.; Grossklos-Bumbalo, J.; Gallmann, E. (2024): Technik in der Schweinehaltung. In: Frerichs, L. (Hg.): *Jahrbuch Agrartechnik 2023*. Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 1–12, <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171550-1>

Weißensteiner, R.; Winckler, C. (2019): Tierwohl und Umweltschutz – Zielkonflikt oder Win-Win-Situation. UBA-Texte 51/2019, Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt

Minderung von Ammoniakemissionen durch die Zugabe von Güllezusatzstoffen während der Lagerung

SUSANNE HÖCHERL, VERONIKA FLAD, BETTINA MÖSSNANG, HELMUT RAMPPELTSHAMMER, MICHAEL KUTZOB, STEFAN NESER, EBERHARD HARTUNG, FABIAN LICHTI

1 Einleitung

Die neue NEC-Richtlinie sieht eine deutliche Senkung der Ammoniakemissionen vor. Demnach müssen diese in Deutschland bis zum Jahr 2030 um 29% gegenüber dem Referenzjahr 2005 gesenkt werden. Dies erfordert gerade im Bereich der Tierhaltung Reduktionsmaßnahmen. Um die Ammoniakemissionen im Stall, Lager oder während der Ausbringung zu senken, gibt es bereits viele Möglichkeiten, welche jedoch zumeist mit erhöhten Investitionskosten verbunden sind. Die bodennahe streifenförmige Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger gilt bislang als ein Standardverfahren zur Reduzierung von Ammoniakemissionen während der Ausbringung, welche bislang die wirksamste und kostengünstigste Möglichkeit ist. Daneben gewinnen Güllezusätze zunehmend an Bedeutung. So gilt die Ansäuerung von Gülle bereits als ein verifiziertes und wissenschaftlich anerkanntes Verfahren zur Emissionsminderung. Daneben gibt es auf dem Markt noch eine Vielzahl an Zusatzstoffen wie Präparate mit effektiven Mikroorganismen (EM), Pflanzkohle oder Steinmehle, welche laut Hersteller die Ammoniakfreisetzung mindern sollen. Die Wirkungsweise dieser teils kommerziell erhältlichen Produkte konnte bisher nicht eindeutig belegt werden. So fehlte ein standardisiertes Verfahren, um Güllezusätze in vielfacher Wiederholung unter den gleichen Bedingungen testen zu können. Ziel des Projektes „EmiAdditiv“ war die Entwicklung einer standardisierten Versuchsanlage, mit welcher das Ausmaß der Ammoniakreduktion während der Lagerung flüssiger Wirtschaftsdünger durch eine Zugabe von Zusatzstoffen reproduzierbar und statistisch belastbar geprüft werden konnte. Anschließend wurden Güllezusätze mit unterschiedlichen Wirkrichtungen getestet und Veränderungen der Mikroorganismenpopulationen nach einer biologischen Güllebehandlung untersucht.

2 Material und Methodik

2.1 Versuchsdesign

In einer vollautomatisierten Versuchsanlage wurden je Durchgang sechs Güllezusätze, eine unbehandelte Rindergülle als Nullvariante und eine Variante mit Milchsäure in vierfacher Wiederholung unter standardisierten Bedingungen (Versuchstemperatur, Luftgeschwindigkeit) über eine Dauer von zwei Monaten getestet. In vier Versuchen betrug die Versuchstemperatur 20 °C. In einem weiteren Versuch wurden hingegen vor allem biologisch wirkende Güllezusätze bei einer Temperatur von 15 bis 18 °C über eine Dauer von 17 Tagen getestet. Dadurch sollte ein möglicher Temperatureinfluss auf die Wirkungsweise biologisch wirkender Güllezusätze geprüft werden. Die Messung der Ammoniakkonzentration erfolgte mit einem Diodenlaser (LGD-Compact, Fa. Axetris). Die Versuchsbehälter wurden an Tag 1 mit Rindergülle befüllt. Nach 24 Stunden erfolgte ein Einrühren der Güllezusätze. Erst zu Versuchsende wurde die (un-)behandelte Gülle erneut gerührt, um ein Aufrühren des Güllelagers in der Praxis zu simulieren. Dabei wurden die NH₃-Emissionsmessungen auch während der Rührvorgänge durchgeführt.

2.2 Ausgewählte Güllezusätze und Rindergülle

Insgesamt wurden 20 Güllezusätze getestet, darunter neun biologisch wirkende Güllezusätze wie Kohlenstoffquellen, Reststoffe und Präparate auf der Basis von effektiven Mikroorganismen. Drei Zusatzstoffe wurden in unterschiedlichen Konzentrationen bzw. bei zwei unterschiedlichen Temperaturstufen geprüft. Außerdem umfassten die Untersuchungen neun physikalisch wirkende Güllezusätze wie Tonminerale, (bioaktive) Pflanzenkohle und (aktivierte) Steinmehle sowie zwei kosmisch wirkende Güllezusätze.

3 Ergebnisse und Diskussion

In den durchgeführten Gülle-Lagerungsversuchen wurde vor allem bei den biologisch wirkenden Zusatzstoffen eine Minderung der Ammoniakemission festgestellt. Dabei führte die Zugabe von Kohlenstoffquellen (z. B. Glucose, Zuckerrübenmelasse, Zuckerrohrmelasse) zu Rindergülle zu einer teils deutlichen Minderung der Ammoniakfreisetzung infolge einer mikrobiologischen Umsetzung und der damit einhergehenden biologischen Ansäuerung. Jedoch konnte dabei zum Teil auch eine vermehrte Bildung von Schaum sowie eine verstärkte Geruchsbelastung wahrgenommen werden (Abb. 1).

Beobachtung Variante	Zugabemenge	Einfluss auf die NH ₃ -Freisetzung (sign.)	Maximale pH-Wert-Senkung auf	Schaumbildung - keine + leichte ++ starke	Geruchsbelastung - Verbesserung 0 gleichbleibend + leichte Zunahme ++ starke Zunahme	Bildung/ Bindung von flüchtigen Fettsäuren - Bindung 0 gleichbleibend + geringe Bildung ++ vermehrt	Bildung von Buttersäure - nein + leicht ++ erhöht
Milchsäure	4,2 bis 7 l/m ³	+	6,5	++	+	+	+
Süßmolke	10%	+	6,5	+	+	+	+
Glucose	10%	+	4,3	++	++	++	++
EM-Additiv 5 und Glucose	5% und 10%	+	4,4	+	++	++	++
Glucose	1%	+	6,3	+	+	+	-
Zuckerrübenmelasse	5%	+	5,9	++	++	++	++
Zuckerrohrmelasse	5%	+	5,6	++	++	++	++

Effekt ■ = positiv ■ = schwach negativ ■ = negativ ■ = stark negativ

Abb. 1: Beobachtungen bei der Zugabe von Kohlenstoffquellen zu Rindergülle (20 °C, zwei Monate)
(© Susanne Höcherl)

Bei den physikalisch wirkenden Güllezusätzen konnte nur bei Leonardit, Zeolith (Zugabemenge 10%) und Calciumcarbonat die Ammoniakfreisetzung signifikant reduziert werden. So verfügen Zeolithe über eine hohe Kationenaustauschkapazität (McCrary und Hobbs 2001). Sie binden Ammoniumstickstoff und reduzieren so die Ammoniakfreisetzung (Lefcourt und Meisinger 2001). Bei den kosmisch wirkenden Güllezusätzen erzielte nur Calciumcarbonat in energetisierter Form eine signifikante Emissionsminderung. Jedoch fand sich kein signifikanter Unterschied zu Calciumcarbonat ohne Energieaufladung.

4 Fazit

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass nur ein Absenken des pH-Werts durch chemische oder biologische Ansäuerung die Ammoniakemissionen aus Rindergülle verlässlich senkt. Diese Verfahren sind jedoch auch mit Zielkonflikten, wie vermehrter Schaumbildung und/oder verstärkter Geruchsbelastung verbunden. Zudem müssen bei der Anwendung von Kohlenstoffquellen zumeist hohe, praxisuntaugliche Mengen eingesetzt werden, die zu hohen Kosten bei der Anwendung führen. Bei den physikalisch wirkenden Güllezusätzen konnte die Ammoniakfreisetzung nur durch die Zugabe von Leonardit, Zeolith und Calciumcarbonat gesenkt werden. Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Wirtschaftsdünger unterschiedlicher Herkunft auszuweiten und Dosis-Wirkungs-Beziehungen näher zu betrachten, sind noch weitere Versuche notwendig.

Literatur

- McCrary, D. F.; Hobbs, P.J. (2001): REVIEWS AND ANALYSES. Additives to Reduce Ammonia and Odor Emissions from Livestock Wastes: A Review. In: *Journal of environmental quality* (30), pp. 345–355
- Lefcourt, A. M.; Meisinger, J. J. (2001): Effect of Adding Alum or Zeolite to Dairy Slurry on Ammonia Volatilization and Chemical Composition. *Journal of Dairy Science* 84, pp. 1814–1821

Danksagung

Vielen Dank an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus für die Förderung der Projekte EmiAdditiv I (FKZ: G2/KS/ 19/03) und EmiAdditiv II (FKZ: A/22/17).

Vieh gibt Gas: Biogas als integraler Bestandteil der Tierhaltung zur Emissionsminderung

PETER KORNATZ, JAQUELINE DANIEL-GROMKE, WALTER STINNER, GERD REINHOLD, NADJA RENSBERG

1 Einleitung

Die Tierhaltung in Deutschland ist im Sektor Landwirtschaft eine beträchtliche Quelle für klimawirksame Emissionen. Ein bedeutender Anteil davon wird durch tierische Exkremente verursacht, die als Wirtschaftsdünger gelagert und im Sinne der Kreislaufwirtschaft ausgebracht werden. Seit der Einführung des EEG und dem Ausbau der Biogaserzeugung wurde Wirtschaftsdünger vermehrt in Biogasanlagen genutzt. Diese Nutzung im Biogasprozess ist eine geeignete Strategie, um Treibhausgase bzw. Emissionen aus der Tierhaltung zu vermeiden.

Für das Bezugsjahr 2020 lässt sich das technische Potenzial der als Wirtschaftsdünger nutzbaren tierischen Exkremente in Deutschland auf 16,8 Mio. t Trockenmasse (TM) beziffern (DBFZ 2024), was ca. 153 Mio. t Frischmasse (FM) entspricht (Majer et al. 2019).

Bisher wird nur etwa ein Drittel des Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen zur Energieerzeugung genutzt, wobei es starke regionale Unterschiede gibt. Dies bedeutet, dass rund zwei Drittel des technischen Potenzials ungenutzt bleiben. Die Bundesregierung strebt gemäß dem Klimaschutzplan 2030 an, 70 % der anfallenden Wirtschaftsdüngermengen in Biogasanlagen zu verwerten und die Gärreste gasdicht zu lagern. Die Biogastechnologie ist derzeit die einzige technisch und wirtschaftlich etablierte Option, Wirtschaftsdünger sinnvoll zu verwerten, um die entsprechenden Emissionen zu reduzieren. Durch die Nutzung von Biogas wird das Methanbildungspotenzial der Wirtschaftsdünger weitgehend ausgeschöpft und über die Biogasverwertung energetisch genutzt. Solange die Anlage ordnungsgemäß betrieben wird, führt dies nur zu minimalen Methanemissionen.

Trotz des derzeitigen Rückgangs des Anlagenbestands mit Wirtschaftsdüngervergärung ist es wichtig, die eingesetzten Wirtschaftsdüngermengen in der Vergärung zu halten und ihren Anteil zu erhöhen. Das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung sieht die Stärkung der Vergärung von tierischen Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen als eine der wichtigsten Maßnahmen für den Sektor Landwirtschaft vor.

Zur konkreten Erhöhung der Wirtschaftsdüngernutzung wurde die Förderrichtlinie „Investitionen in emissionsmindernde Maßnahmen bei der Vergärung von Wirtschaftsdüngern“ etabliert. Mit dem Scheitern des Sondervermögens des „Klima- und Transformationsfonds“ stehen für diese Förderrichtlinie im Bundeshaushalt nun keine zusätzlichen Mittel mehr bereit (FNR 2024). Es ist somit davon auszugehen, dass der Ausbau der Wirtschaftsdüngernutzung in Verbindung mit zahlreichen rechtlichen Hemmnissen sowie den negativen Skaleneffekten bei der Erschließung von Wirtschaftsdünger an kleineren Betrieben, seine Ziele verfehlt. Die Klimaschutzziele im Sektor Landwirtschaft sind hiermit akut gefährdet.

Die zukünftige Integration von Biogaserzeugung in Tierhaltungsbetriebe zum wirtschaftlich tragfähigen Emissionsschutz ist jedoch als unabdingbar anzusehen, ggf. verbunden mit dem grundsätzlichen Strukturwandel der Tierhaltungsbetriebe. Im Folgenden werden die aktuellen Entwicklungen dargestellt und Wege für die zukünftige Entwicklung in einer Tierhaltung mit Biogas skizziert.

2 Ausgangslage in Deutschland

Die Lagerung tierischer Exkremente in offenen Güllelagern führt in Deutschland zu erheblichen klimawirksamen Emissionen von Lachgas, Methan und indirekt klimawirksamen von Ammoniak. Jährlich werden über 250.000 Tonnen Methan bzw. 6,3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente durch die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern freigesetzt (Haenel et al. 2020). Bei der Biogasvergärung werden diese Emissionen vermieden. Die Lachgasemissionen bleiben aufgrund der Abwesenheit von Sauerstoff aus; auch die Ammoniakemissionen sind unter den vorherrschenden Bedingungen (pH-Wert, Temperatur, gasdichte Abdeckung mit geringen Verlusten durch Diffusion) vernachlässigbar (Haenel et al. 2020).

Die Biogastechnologie mit gasdichter Gärrestlagerung stellt gegenwärtig die einzige technisch und wirtschaftlich etablierte Option dar, diese Emissionen gleichzeitig zu minimieren. Durch die Nutzung von Biogas wird das Methanbildungspotenzial der Gülle weitgehend ausgeschöpft und energetisch genutzt. Bei ordnungsgemäßem Betrieb treten – bis auf die nicht vermeidbaren Verluste wie Diffusion durch Folien oder Methanschlupf bei Blockheizkraftwerken (BHKW) – keine Methanemissionen in die Umwelt auf. Eine gasdichte Lagerung des Gärrests führt dazu, dass weder Restmethan noch Lachgas- oder Ammoniakemissionen auftreten (Haenel et al. 2020).

Der Ausbau erneuerbarer Energien spielt eine entscheidende Rolle für die Energiewende, existierende Bioenergieanlagen erfüllen bereits jetzt wichtige Funktionen in der Bereitstellung regenerativer Energie sowie Systemdienstleistungen für die Energiewirtschaft, die Landwirtschaft und den Umweltschutz (Matschoss et al. 2020).

In Deutschland sind derzeit rund 8.600 Biogasanlagen in Betrieb, überwiegend im landwirtschaftlichen Bereich, die mittels Kraft-Wärme-Kopplung Strom und Wärme produzieren. Zusätzlich gibt es etwa 240 Biogasanlagen, die Biogas zu Biomethan aufbereiten. Aktuell werden etwa 60 Millionen Tonnen Wirtschaftsdünger pro Jahr zur Biogasproduktion genutzt, was knapp einem Drittel der verfügbaren Menge entspricht. Die Bundesregierung strebt jedoch an, gemäß dem Klimaschutzplan möglichst 70 % der anfallenden Güllemengen in Biogasanlagen zu verwerten.

Dieser Wirtschaftsdüngeranteil zur Biogaserzeugung macht etwa ein Sechstel der Gesamtstromerzeugung aus Biogas in Deutschland aus, die jährlich etwa 30 Terawattstunden beträgt (Abb. 1). Sowohl die Menge anfallender Wirtschaftsdünger (Abb. 2) als auch die Nutzung der Gülle in Biogasanlagen zeigen erhebliche regionale Unterschiede (Abb. 3).

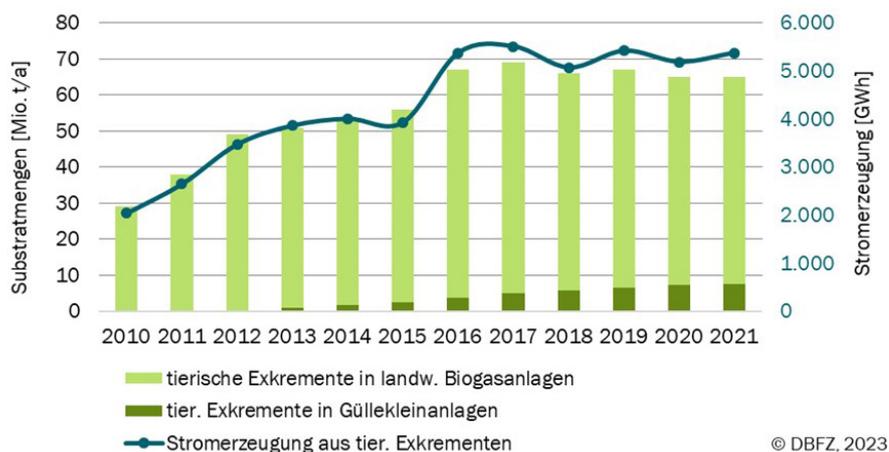


Abb. 1: Entwicklung des Einsatzes der Güllemengen zur Stromproduktion aus Biogas als Abschätzung auf Basis der jährlichen Betreiberbefragungen und Stromerzeugung aus Biogas (Rensberg et al. 2023)

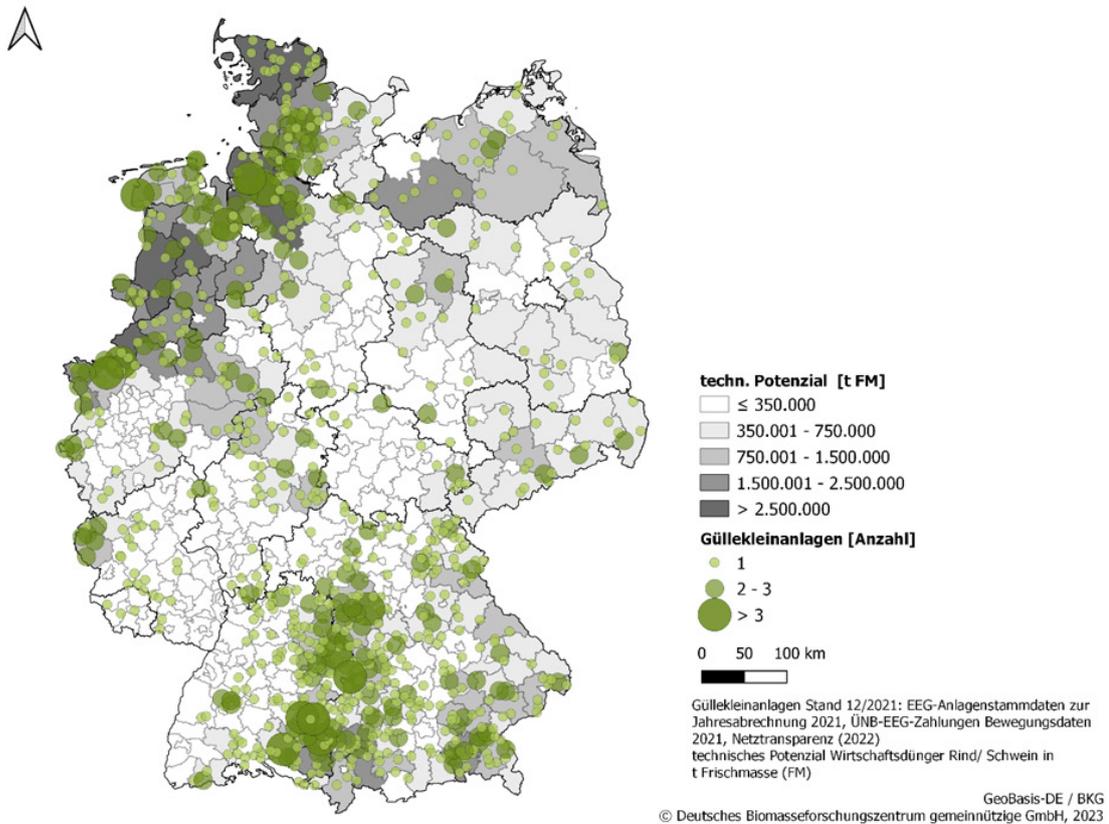


Abb. 2: Regionale Verteilung des technischen Potenzials tierischer Exkremate (Rind und Schwein) und Standorte der Güllekleinanlagen gemäß EEG (Daten nach: Netztransparenz 2022, Majer et. al 2019 (Rensberg et al. (2023))

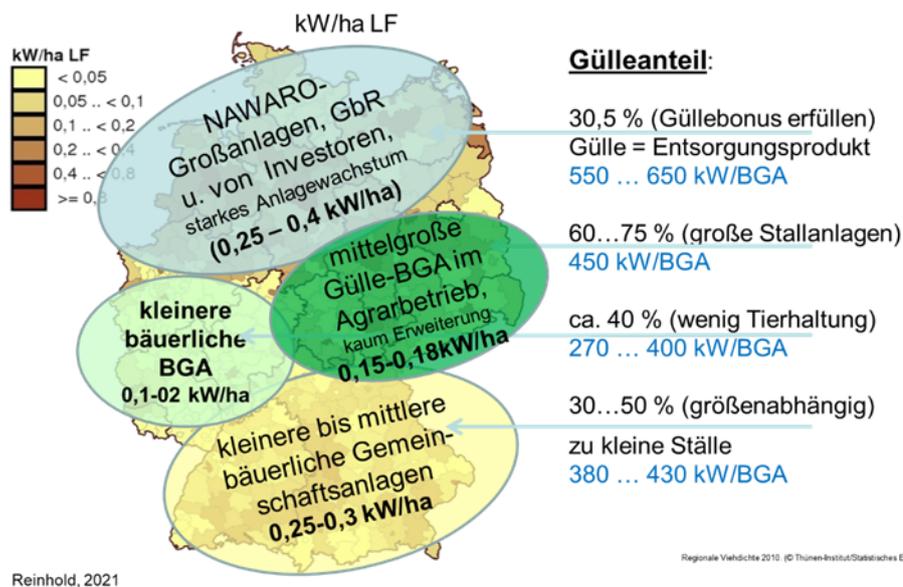


Abb. 3: Regionale Unterschiede hinsichtlich des Anlagenbestandes von Biogasanlagen und ihrem Gülleinsatz in Deutschland (Reinhold 2021)

Die Mehrheit der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Deutschland ist in den nordwestlichen und südlichen Regionen mit hoher Tierhaltungsintensität lokalisiert. In den meisten Anlagen wird bereits Wirtschaftsdünger, hauptsächlich Gülle und Festmist, für die Biogaserzeugung genutzt. Diese machen im Durchschnitt etwa die Hälfte des Substratinputs aus (massebezogen). Laut einer Befragung des DBFZ gaben etwa 61 % der Biogasanlagenbetreiber mit Gülleeinsatz an, dass ungenutzte Wirtschaftsdüngermengen aus eigenen oder Nachbarbetrieben in geringer Transportentfernung verfügbar sind (Vorhaben „HemBio“/Scholwin et al. 2019).

Die Vergärung von Gülle und Festmist in Biogasanlagen bietet die Möglichkeit, Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern erheblich zu reduzieren. Das dabei entstehende Methan wird weitgehend genutzt, um regenerative Energie in Form von Strom und Erdgassubstituten zu produzieren. Lachgasemissionen treten aufgrund der Abwesenheit von Sauerstoff nicht auf, und auch die Ammoniakemissionen sind unter den gegebenen Prozessbedingungen vernachlässigbar (Haenel et al. 2020). Durch diese Methode könnten Methanemissionen aus herkömmlichen Güllelagern und -ausbringungen um beeindruckende 80 bis 90 % reduziert werden (Rösemann et al. 2021). Zudem führt die Substitution fossiler Brennstoffe durch das erzeugte Biogas zu weiteren Emissionseinsparungen (FNR 2021).

Die gasdichte Abdeckung von Gärproduktlagern stellt eine effektive Maßnahme dar, um gleichzeitig Methan-, Lachgas-, Ammoniak- und Geruchsemissionen zu vermeiden. In Deutschland sind etwa 55 % der Gärproduktlager gasdicht geschlossen, 37 % sind offen und etwa 8 % sind nicht gasdicht geschlossen (Bezugsjahr 2018, n = 439 (Rensberg et al. 2023)).

Herausforderungen für eine verstärkte Wirtschaftsdüngervergärung liegen in der dezentralen Entstehung von Wirtschaftsdüngern, die zu ungünstigen Skaleneffekten und/oder hohen Transportkosten führt. Die rechtlichen Rahmenbedingungen, einschließlich erhöhter Lagerfristen und unterschiedlicher Bewertungen von Gülle und Gärrest nach verschiedenen Verordnungen, haben Biogasanlagen in den letzten Jahren dazu veranlasst, den Wirtschaftsdüngereinsatz zu reduzieren. Die Förderung einer verstärkten Wirtschaftsdüngervergärung erfordert daher verbesserte wirtschaftliche, technische und organisatorische Lösungen sowie eine obligatorische Integration als Baustein der modernen Tierhaltung.

3 Hemmnisse der Wirtschaftsdüngernutzung und Konzepte zur Erhöhung der Wirtschaftsdüngernutzung als Mittel zur Erreichung der Klimaziele

Das Ziel des Klimaschutzplans 2030, die Wirtschaftsdüngermenge zu erhöhen, wird durch die aktuellen Rahmenbedingungen konterkariert. Dies betrifft einerseits Aspekte der Finanzierung durch das EEG und andererseits rechtliche Vorgaben durch z.B. AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen), die Düngeverordnung oder andere. Im Folgenden werden Hemmnisse skizziert und mögliche Konzepte gezeigt, um die Rahmenbedingungen zu verbessern.

3.1 Wirtschaftsdüngerbezogene rechtliche Hemmnisse

Die Beseitigung von rechtlichen Hemmnissen stellt grundsätzlich eine einfache und kostengünstige Möglichkeit dar, den Wirtschaftsdüngereinsatz zu steigern ohne Finanzierungsinstrumente finden zu müssen. Darüber hinaus kann diese Maßnahme relativ schnell bewerkstelligt werden.

Bisher besteht eine Unterscheidung zwischen Wirtschaftsdünger und Gärresten in Verordnungen und Regularien. Konkrete Beispiele sind hier Düngeverordnung und AwSV. Gärreste werden strikter reglementiert in Bezug auf die Lagerung, was in der Regel zu höheren Kosten führt. Wirtschaftsdünger ändert bei der Nutzung in Biogasanlagen somit ihren Status und unterliegen nach der Biogasnutzung strikteren Regularien. Dadurch wird die Wirtschaftsdüngernutzung erschwert. Die Unterscheidung zwischen Wirtschaftsdünger und Gärrest ist diesbezüglich aus fachlicher Sicht nicht zu rechtfertigen, da das Gefahrenspektrum bei Wirtschaftsdünger und Gärrest identisch ist. Die Abschaffung der Ungleichbehandlung von Wirtschaftsdünger und Gärrest ist somit fachlich sinnvoll und kann die Ausweitung der Wirtschaftsdüngernutzung zur Emissionsminderung zumindest begünstigen.

Zusätzlich würde die Übernahme der Regelungen der TA Luft zur Mindestverweilzeit im gasdichten Raum sowie zur Bestimmung des Restgaspotenziales deutliche Erleichterungen für die Beibehaltung des Wirtschaftsdüngereinsatzes in bestehenden Anlagen und die Erschließung neuer Potenziale schaffen.

3.2 EEG als Mittel zur Zielerreichung

Das EEG ist ein bestehendes und etabliertes Mittel zur Erhöhung der rezenten Energieträger in Deutschland. Hierfür wird explizit auf die Vergütung der Stromproduktion abgezielt. Die eingesetzten Wirtschaftsdüngermengen lassen sich somit nur indirekt über die Vergütung des Energieanteils aus Wirtschaftsdüngern steuern. In der Vergangenheit ist das durch den Güllebonus oder durch die Regelung für Güllekleinanlagen geschehen. Die Wirkung ist jedoch vor allem auf kleine bis mittlere Tierbeständen begrenzt, die über einen ausreichenden Anfall von Wirtschaftsdünger verfügen, was mit den Skaleneffekten und den hohen Stromgestehungskosten im Kleinanlagenbereich begründet ist. Für Güllekleinanlagen wurde die Obergrenze mittlerweile auf 150 kW installierter Leistung angehoben und die Möglichkeit der Anrechnung von Klee gras geschaffen sowie die Vergütung bis 75 kW Bemessungsleistung erhöht. Mit Blick auf die Stromgestehungskosten in Bezug zu den Skaleneffekten zeigt sich jedoch, dass die bisherigen Vergütungsstrukturen die Güllevergärung nicht ausreichend abbilden. Abbildung 4 zeigt die Stromgestehungskosten für Rindergüllevergärungsanlagen in Abhängigkeit zur installierten Leistung und eine daraus ableitbare Staffelung für Vergütungsklassen im Güllekleinanlagensegment auf Basis von Neuanlagen. Eine höhere Vergütung der kleineren Bemessungsleistung (z. B. bis 40 kW Bemessungsleistung) entsprechend des Vorschlags von Scholwin et. al (2018) führt zu kostengerechten Anreizen ohne Überförderung. Darüber hinaus ist für Bestandsanlagen eine Anschlusslösung zur verstärkten Wirtschaftsdüngervergärung zu finden. Momentan ist diese nicht vorhanden und wirkt somit der Wirtschaftsdüngernutzung entgegen. Auch könnte die Ausweitung der Ko-Vergärung von Wirtschaftsdünger mit trockensubstanzreicheren Substraten den verfahrenstechnischen Nachteilen des geringen Trockensubstanzgehaltes der Gülle kompensieren und so Anreize zur verstärkten Erschließung des Potenzials der Wirtschaftsdünger und damit zur Emissionsminderung schaffen.

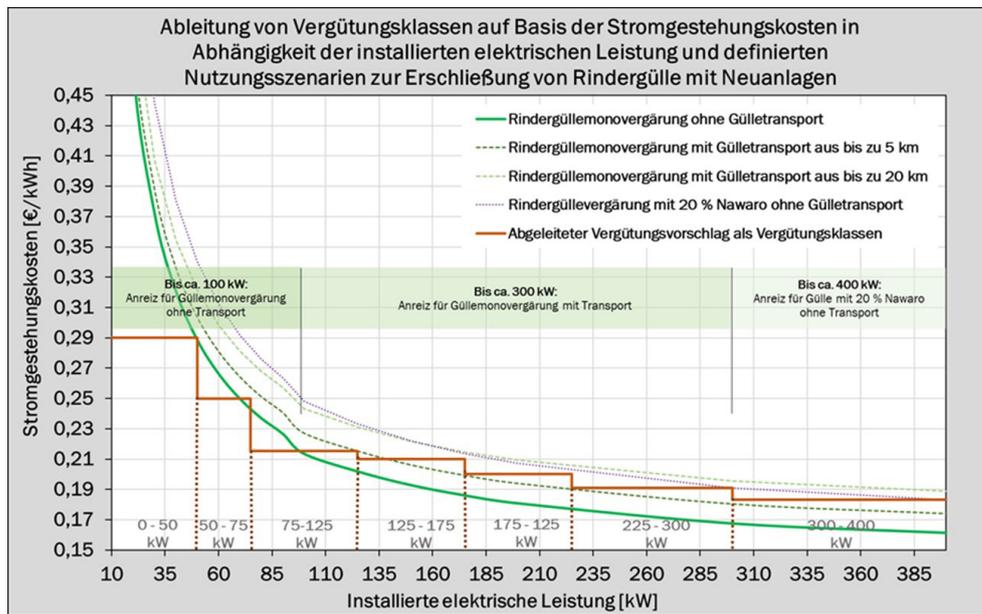


Abb. 4: Ableitung von Vergütungsklassen auf Basis der Stromgestehungskosten in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung zur Erschließung von Rindergülle mit Neuanlagen (Majer et al. 2019)

3.3 Finanzierungskonzepte außerhalb des EEG

Neue Finanzierungskonzepte außerhalb des EEG scheinen langfristig erstrebenswert. Die Förderrichtlinie „Investitionen in emissionsmindernde Maßnahmen bei der Vergärung von Wirtschaftsdüngern“ ist hierzu ein Ansatz, der jedoch durch die Vorkommnisse bezüglich des Sondervermögens „Klima- und Transformationsfonds“ vorerst wirkungslos sein wird.

Investitionsförderungen sind grundsätzlich als interessantes Mittel der Infrastrukturetablierung zu bewerten, ohne durch eine langjährige Förderung der Betriebskosten den Bundeshaushalt zu belasten. Die Fortführung der Investitionsförderungen ist unbedingt anzustreben, auszubauen und weiter auf das Ziel der Emissionsminderung im Sektor Landwirtschaft zu spezifizieren.

Eine weitere Überlegung ist die Nutzung der Klimaschutzeffekte der Wirtschaftsdüngervergärung im Verkehrssektor auch bei Verstromung des aus Wirtschaftsdünger erzeugten Biogases. Damit wären die damit verbundenen Erlöse nicht auf Biomethan und damit auf sehr große Vergärungsanlagen beschränkt. So würde auf dem EEG-unabhängigen Markt des Verkehrsbereiches eine Chancengleichheit für Biomethan und Biogasstrom aus Wirtschaftsdüngern geschaffen. Wegen des dezentralen Anfalls von Wirtschaftsdüngern und der ebenfalls dezentralen Verteilung von Biogasanlagen mit Verstromung könnte so die Vergärung von Wirtschaftsdünger zugunsten des Verkehrssektors viel stärker angereizt werden. Bei passender Ausgestaltung könnte gleichzeitig die Elektromobilität durch lukrative Quotenanrechnung gefördert und der Wegfall der Zuschüsse für E-Fahrzeuge kompensiert werden.

Eine weitere Möglichkeit ist eine Verbindung von Ordnungsrecht mit verursachergerechter Kostenumlage. Voraussetzung ist hierfür aber entweder ein globaler fairer Agrarhandel oder ein Grenzausgleich für importierte Produkte, um faire Wettbewerbsbedingungen als Voraussetzung herzustellen. Hierbei wird die Wirtschaftsdüngervergütung per Ordnungsrecht für große Tierproduktionsbetriebe (Stallhaltung) verpflichtend vorgeschrieben. Eine Bagatellgrenze für kleine Betriebe ist hierbei notwendig. Die Kosten der Wirtschaftsdüngerbehandlung werden auf die Produkte und somit auf den Verbraucher umgelegt, der das Bedürfnis nach tierischen Produkten hat. Hier findet eine Abkehr der Vergütung der Energie statt, hin zu der Behandlung des Koppelprodukts Wirtschaftsdünger zur Emissionsminderung. Die energetische Nutzung ist hier nicht obligatorisch, jedoch wirtschaftlich sinnvoll. Werden in dem Konzept Wirtschaftsdünger energetisch verwertet, kann durch die Zusatzerlöse die Umlage auf den Verbraucher gemindert werden. Für die Betreiber besteht somit ein betriebswirtschaftlicher Anreiz zur sinnvollen Wirtschaftsdüngerbehandlung. Gleichzeitig hätte der mündige Verbraucher die Möglichkeit, eine freie Entscheidung zu treffen, ob er die Kosten trägt oder auf pflanzliche Produkte ausweicht. Gleichzeitig würden Seiteneffekte einer Förderung im EEG vermieden, wie z. B. Gülleproduktion zur Biogasproduktion durch Anreize einer Güllevergütung.

4 Fazit und Ausblick

Es ist zu erwarten, dass das Ziel der Erhöhung der Wirtschaftsdüngervergütung zur Emissionsminderung im Sektor Landwirtschaft, wie im Klimaschutzplan 2030 festgelegt, deutlich verfehlt wird. Im Sinne einer klimafreundlichen Tierproduktion ist die momentane Lage unbefriedigend. Eine kurzfristige Möglichkeit zur Erhöhung der Wirtschaftsdüngervergütung bietet das etablierte EEG. Wenn die Vergütung den Kosten angepasst wird und Anschlusslösungen für Bestandsanlagen im Güllekleinanlagensegment geschaffen werden, ist zu erwarten, dass als Minimalziel zumindest momentan genutzte Wirtschaftsdünger in der Biogasnutzung bleiben. Ob durch diese Maßnahmen eine Erhöhung des Wirtschaftsdüngeranteils bewirkt werden kann, muss geprüft werden.

Darüber hinaus ist die regulatorische Diskriminierung von Gärrest zu beseitigen, um Chancen für die Wirtschaftsdüngervergütung zu schaffen. Ebenso ist die Benachteiligung der Verstromung wirtschaftsdüngerbasierten Biogases im Vergleich zur Nutzung von wirtschaftsdüngerbasiertem Biomethan im Verkehrssektor zu beseitigen, um dezentrale Potenziale zu erschließen.

In Bezug auf eine moderne Tierhaltung ist langfristig die Kostenumlage der Güllevergütung/Güllebehandlung zur Emissionsminderung auf den Verbraucher zu diskutieren, soweit Möglichkeiten zur vergleichbaren Belastung importierter tierischer Produkte gefunden werden. Es können auch moderne Stallsysteme eine Rolle spielen, die der Emissionsminderung dienen.

Die unerschlossenen Wirtschaftsdüngermengen in Deutschland haben ein hohes Emissions-, aber auch durchaus ein hohes energetisches und stoffliches Potenzial im Sinne der Düngernutzung im Kreislaufwirtschaftssystem. Die Biogasnutzung bietet hier eine sehr gute Option zur Verwertung bei gleichzeitiger Emissionsminderung. Ohne Biogasnutzung der Wirtschaftsdünger werden sich die Klimaziele im Sektor Landwirtschaft unter Beibehaltung der Tierhaltung nicht erreichen lassen.

Literatur

- DBFZ (2024): DBFZ Ressourcendatenbank, DE-Top-Biomassen. <https://datalab.dbfz.de/resdb/ranking?lang=de>, Zugriff am 02.02.2024
- FNR (2024): Biogas aus Wirtschaftsdüngern. Investitionsförderung für den Klimaschutz. <https://wirtschaftsduenger.fnr.de/>, Zugriff am 02.02.2024)
- FNR (2021): Modellvorhaben für die Vergärung von Wirtschaftsdüngern. BMEL unterstützt innovative Konzepte mit Vorbildcharakter, FNR-Pressemitteilung vom 27.09.2021, <https://news.fnr.de/fnr-pressemitteilung/modellvorhaben-fuer-die-vergaerung-von-wirtschaftsduengern>, Zugriff am 05.02.2024
- Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2020): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2018. Report on methods and data (RMD) Submission 2020, Thünen Report 77, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, DOI:10.3220/REP1584363708000
- Majer, S.; Kornatz, P.; Daniel-Gromke, J.; Rensberg, N.; Brosowski, A.; Oehmichen, K.; Liebetrau, J. (2019): Stand und Perspektiven der Biogaserzeugung aus Gülle. Leipzig, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, https://www.dbfz.de/fileadmin//user_upload/Referenzen/Broschueren/Broschuere_Peggue.pdf, Zugriff am 02.02.2024
- Matschoss, P.; Wern, B.; Baur, F. (2020): Die Rolle des Biogases in der Energiewende. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 70(10), S. 37–41, www.researchgate.net/publication/344507747_Die_Rolle_des_Biogases_in_der_Energiewende, Zugriff am 02.02.2024
- Netztransparenz (2022): EEG-Anlagenstammdaten zur Jahresabrechnung 2021. <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten>, Zugriff am 02.02.2024
- Reinhold, G. (2021): Hemmnisse und Lösungsansätze zur Erhöhung der Güllennutzung in Biogasanlagen. In: FNR/KTBL-Kongress „Biogas in der Landwirtschaft“, 28.–29.09.2021, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
- Rensberg, N.; Denysenko, V.; Daniel-Gromke, J. (2023): Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Report zum Anlagenbestand Biogas und Biomethan, DBFZ-Report 50, Leipzig, DBFZ, doi: 10.48480/zptb-yy32
- Rösemann, C.; Haenel, H.-D.; Vos, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2021): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2019. Report on methods and data (RMD) Submission 2021, Thünen Report 84, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, doi: 10.3220/REP1616572444000
- Scholwin, F.; Grope, J.; Clinkscales, A.; Daniel-Gromke, J.; Rensberg, N.; Denysenko, V.; Stinner, W.; Richter, F.; Rausen, T.; Kern, M.; Turk, T.; Reinhold, G. (2019): Aktuelle Entwicklung und Perspektiven der Biogasproduktion aus Bioabfall und Gülle. FKZ 37EV 17 104 0, Endbericht, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktuelle-entwicklung-perspektiven-der>, Zugriff am 05.02.2024

Aufbereitung und Transport von Gülle und Festmist aus praktischer und ökonomischer Sicht

HANS-JÜRGEN TECHNOW

1 Einleitung

Nährstoffüberschüsse durch einen hohen Wirtschaftsdüngeranfall in den Regionen mit intensiver Tierhaltung auf der einen und ackerbaulich geprägte Regionen mit einem Nährstoffbedarf auf der anderen Seite kennzeichnen die Situation in Niedersachsen. Die Anforderungen der Düngeverordnung bewirken durch die Nährstoffobergrenzen für Stickstoff und Phosphat die Verbringung von Wirtschaftsdüngern in entferntere Aufnahmeregionen. Verlängerte Ausbringsperrzeiten und eine bedarfsgerechte Pflanzendüngung erfordern eine Erhöhung der Lagerkapazitäten. Doch Transport und Behälterbau sind mit hohen Kosten verbunden, die durch Aufbereitungsverfahren vermindert werden können. In den letzten Jahren haben sich die Rahmenbedingungen im Wirtschaftsdüngermanagement durch globale Ereignisse deutlich verändert. Welchen Einfluss diese auf die Verbringung und die Aufbereitung von Gülle und Gärresten haben, wird in dem Beitrag betrachtet.

2 Neue Rahmenbedingungen für die Aufbereitung und Verbringung

Die Auswirkungen des Ukrainekrieges haben die Entwicklungen im Wirtschaftsdüngermanagement maßgeblich beeinflusst. Die Schweinebestände reduzierten sich in Niedersachsen aufgrund der höheren Futter- und Energiekosten 2022 um 10 % gegenüber dem Vorjahr. Auch die Rinderbestände haben sich weiterhin reduziert; hier fand der größte Abbau, aufgrund des geringen Milchpreises, allerdings schon vor drei bis vier Jahren statt. Dadurch verminderten sich auch die anfallenden Wirtschaftsdünger- und Nährstoffmengen. Mit dem sinkenden Nährstoffanfall aus der Tierhaltung gingen auch die erforderlichen Wirtschaftsdüngerexporte aus den Tierhaltungsregionen leicht zurück. Dennoch muss ein Großteil des Wirtschaftsdüngers aus den Landkreisen mit hoher Tierdichte exportiert werden. Die Verknappung der Energieressourcen und Importrestriktionen führten 2022 zu einem deutlichen Anstieg der Mineraldüngerpreise. Gegenüber dem Kriegsvorjahr stiegen diese um das Doppelte bis Dreifache, sodass Wirtschaftsdünger zu einem „nachgefragten Gut“ wurden. Der monetäre Nährstoffwert der Gülle zog deutlich an. Demzufolge sanken auch die Abgabekosten für den Gülleexport von ihrem Hoch im Jahr 2020, mit ca. 13 bis 15 €/m³, auf ca. 5 bis 6 €/m³ im Jahr 2023. Zu beachten ist, dass dies nur Durchschnittswerte sind, die je nach Transportentfernung und Nährstoffgehalt eine große Spannbreite aufweisen. Die Ausbringkosten und weitere Konditionen sind hierbei nicht berücksichtigt. Aktuell ist wieder eine anziehende Tendenz bei den Abgabekosten zu verzeichnen.

Die Kosten für eine Investition in Aufbereitungsverfahren stiegen pandemie- und kriegsbedingt deutlich an. Lag der Mehraufwand (Inflation) in diesem Bereich im Jahr 2020 gegenüber dem Vorjahr noch bei 3 %, so stieg er 2022 auf 10 bis 15 % und betrug 2023 auch noch 10 %. Die Betriebskosten der Separations- bzw. Aufbereitungsanlagen erhöhten sich durch höhere Strom- und Dieselpreise ebenfalls.

Die gestiegene Wirtschaftsdüngernachfrage bei reduzierten Abgabekosten und steigenden Investitions- und Betriebskosten der Aufbereitungstechniken führten bei der Gärrestabgabe – trotz steigender Gesamtmenge – zu einer verringerten Abgabemenge von separierten Feststoffen bzw. getrockneten Gärresten.

Noch extremer ist dieser Wert bei der Abgabe von separierten Feststoffen aus der Schweinegülle. Hier halbierte sich die abgegebene Feststoffmenge fast gegenüber dem Vorjahr. Die reduzierten Schweinebestandszahlen verstärken den Effekt. Bei der Separation von Schweinegülle kommen bevorzugt Zentrifugen zum Einsatz. Diese haben hohe Nährstoffabscheideraten, aber auch hohe Separationskosten je Kubikmeter Gülle. Dies förderte die Abgabe von unseparierter Schweinegülle.

In den Biogasanlagen werden zunehmend pflanzliche Substrate durch Wirtschaftsdünger ersetzt. So wurden im Wirtschaftsjahr 2021/2022 ca. 42 % des Substrateinsatzes durch Wirtschaftsdünger abgedeckt. Darin hat die Gülle mit ca. 76 % zwar noch den größten Anteil, aber der Einsatz von Geflügelmist, Festmist und separierten Güllefeststoffen ist in den letzten 5 Jahren um 19 % gestiegen. Es wird zunehmend auf feste Wirtschaftsdünger zurückgegriffen, die gegenüber den flüssigen Güllesubstraten eine höhere Gasausbeute aufweisen. Dies erklärt auch die über die Jahre zunehmenden separierten Feststoffmengen aus Rindergülle. Vielerorts wird zunehmend mehr Geflügelmist eingesetzt. Hähnchenmist ist annähernd ein gleichwertiger Maisersatz. Der zunehmende Einsatz von nährstoffreichen, festen Wirtschaftsdüngern findet sich auch in den höheren Trockensubstanz(TS)- und Nährstoffgehalten der Gärreste wieder. Auch die Separations- und Abscheideraten der nachfolgenden Aufbereitungsverfahren werden dadurch beeinflusst. In Niedersachsen werden ca. 19 % der anfallenden Wirtschaftsdünger vorab in den Biogasanlagen energetisch verwertet, bevor sie als Gärrest auf die Felder gelangen.

3 Gülle abgeben oder separieren

Für den viehhaltenden Betrieb mit abzugebenden Nährstoffüberschüssen stellt sich die Frage, ob er diese direkt mit der Gülle oder mittels einer Separation – durch eine Pressschnecke oder Zentrifuge – über die abgetrennten Feststoffe abgibt.

Für den direkten Vergleich bzw. der Vorzüglichkeit zwischen der Gülleabgabe und der Feststoffseparation muss eine Vergleichsbasis ermittelt werden. Diese besteht in der Nährstoffmengengleichheit bei der Abgabe des entsprechenden Wirtschaftsdüngers. Das heißt, wieviel Kubikmeter Gülle müssen separiert werden, um auf die gleiche Nährstoffmenge in den Feststoffen zu kommen, wie sie für die Abgabe von einem Kubikmeter Gülle vorhanden wäre. Diese Separationsfaktoren setzen sich aus dem Feststoffmengenanteil und dessen Nährstoffgehalt zusammen und werden auf den Phosphorgehalt in der Gülle bezogen. Die Separationsfaktoren liegen für Phosphor (P) bei der Separation von Rindergülle mit einer Pressschnecke bei 4,0 und beim Einsatz der Zentrifuge in Schweinegülle bei 1,3. Am Beispiel betrachtet: Werden 1.000 m³ Rindergülle mit 7,7 % TS abgegeben, enthalten diese 1.200 kg Phosphor. Erfolgt keine Abgabe der Rohgülle, sondern werden diese 1.000 m³ mit einer Pressschnecke separiert, fallen 168,5 t Feststoffe an. Diese enthalten bei einem P-Gehalt von 1,8 kg/t Feststoff, 303 kg Phosphor. Um aber auf die gleiche P-Abgabemenge von 1.200 kg zu kommen, müssen daher 4.000 m³ Gülle (Faktor 4,0) separiert werden. Aufgrund der höheren Phosphorgehalte in den Feststoffen der separierten Schweinegülle müssen mit der Zentrifuge, bei einer angenommenen Abgabemenge von 1.000 m³ Gülle, dagegen nur 1.300 m³ (Faktor 1,3) separiert werden, um auf die gleiche Nährstoffmenge zu kommen.

Dementsprechend müssen auch die Separationskosten bei der Pressschnecke mit dem Faktor 4 bzw. 1,3 bei der Zentrifuge multipliziert werden. So liegen die tatsächlichen, nährstoffbasierten Separationskosten in einem deutlich höheren Bereich. Außerdem fallen noch Kosten für die Filtratausbringung und Kosten oder Erlöse für die Feststoffabgabe an. Im Vergleich der Jahre 2020/21 zu 2023 sind die reinen Separationskosten durch höhere Aufwendungen für die Technikanschaffung und höhere Stromkosten angestiegen. Werden alle Faktoren zusammengefasst, zeichnet sich bei den Verfahrenskosten ein gegenläufiger Trend ab. Sie sind im Vergleich von 2020 zu 2023 deutlich gesunken. Bei einer jährlichen Güllemenge von 4.000 m³ verringerten sie sich bei der Pressschnecke von 13,60 auf 7,90 €/m³. Die Werte der Zentrifuge sanken im gleichen Zeitraum von 15,50 auf 11,40 €/m³. Ursächlich dafür waren die reduzierten Feststoffabgabekosten und die deutlich erhöhten monetären Nährstoffwerte der im Betrieb verbleibenden separierten Dünngülle. Als Vergleichsbasis zur Rentabilität einer betriebseigenen, stationären Gülleseparation wurden im März 2023 Gülleabgabekosten von 6,00 €/m³ angenommen. Liegen die Verfahrenskosten der Separation unter diesem Betrag, ist der Einsatz einer stationären Pressschnecke bzw. Zentrifuge rentabel durchführbar. Sind diese Kosten höher, ist die Gülleabgabe vorzuziehen.

Auf die Separationskosten hat neben der Güllemenge auch der Trockensubstanzgehalt der eingesetzten Rohgülle einen großen Einfluss. Je geringer der Trockensubstanzgehalt der Ausgangsgülle ist, desto mehr Gülle muss für eine Tonne Feststoff separiert werden. Dünne Schweinegülle lassen sich daher nicht kostendeckend separieren. Für die Zentrifugenseparation von Schweinegülle sollte daher gerade bei Gülle mit niedrigem Trockensubstanzgehalt eine „Voreindickung“ mit dem Sedimentationsverfahren erfolgen. Wird nur die sedimentierte Dickgülle separiert, kann die benötigte Güllemenge ca. um die Hälfte reduziert werden.

4 Aufbereitungsverfahren in Niedersachsen

Für die Separation von Gülle und Gärresten stehen in der Praxis mehrere Verfahren zur Verfügung. Welche Aufbereitungstechnik geeignet ist, hängt vorwiegend von der Struktur und Beschaffenheit der zu separierenden flüssigen Substrate und der Verfügbarkeit von Wärmeenergie ab. Dünne, wässrige Schweinegülle weist ein anderes Trennverhalten auf als trockenstoffreiche, grobfaserige, viskose Rindergülle bzw. Gärreste.

Voraussetzung für die Durchführung der Gülleindickung sind mindestens ein, besser jedoch zwei Behälter. Bei diesem Verfahren wird das Sedimentationsverhalten der Gülle, die Sinkschichtbildung, zur Erzeugung der Dickphase ausgenutzt. Hierzu verbleibt die Gülle über mehrere Wochen im Behälter und wird zur Entnahme erst in einem zweiten Schritt aufgerührt. Während dieser Zeit sedimentieren die schwereren und nährstoffreicheren Bestandteile und bilden die Sinkschicht. Darüber entsteht eine Dünngülleschicht mit geringeren Trockensubstanz- und reduzierten Nährstoffgehalten. Die dünne Phase wird zuerst entnommen und verbleibt zur Düngung der eigenen Flächen auf dem Veredelungsbetrieb. Danach wird die Dickgülle aufgerührt und in die Ackerbauregionen transportiert. Besonders effizient ist dieses Verfahren bei dünnen Schweinegülle.

Bei Zentrifugen erfolgt der Trennvorgang durch die auftretende Fliehkraft einer sich schnell drehenden Trommel. Im Prinzip erfolgt die Trennung durch einen beschleunigten Sedimentationsvorgang der unterschiedlich schweren festen Bestandteile der Gülle.

Die Trommel dreht sich mit einer Drehzahl von etwa 2.500 Umdrehungen pro Minute. In der Trommel sitzt eine Austragschnecke, die die angelagerten Feststoffe hinausbefördert. Die Separation mit der

Zentrifuge erbringt deutlich höhere Nährstoffgehalte und Abscheideraten in den Feststoffanteil. Während bei der Pressschnecke je nach Siebgröße vorwiegend nur größere Partikel abgeschieden werden, erfolgt beim Einsatz der Zentrifuge auch eine Abtrennung der phosphorreichereren, kleineren Partikelfractionen in die Feststoffe. Zentrifugen werden bevorzugt in der Separation von Schweinegülle eingesetzt. Bei grobfaserigen, viskosen Rindergüllen und Gärresten mit höheren Trockensubstanzgehalten von über 6,5 bis 7% TS stoßen sie an ihre Einsatzgrenze. Durch die höhere Viskosität findet der Trennvorgang nur noch in vermindertem Umfang statt.

Bei Pressschneckenseparatoren erfolgt die Trennung durch einen Sieb- und einen darauffolgenden Pressvorgang. Ein Großteil der flüssigen Phase wird im Siebkorb abgetrennt. Die voreingedickten Feststoffe werden im zweiten Schritt durch die sich langsam drehende Pressschnecke gegen eine Stauklappe gedrückt. Durch den sich aufbauenden Gegendruck erfolgt die weitere Abpressung von Flüssigkeit. Mit der Steuerung des Gegendrucks wird der Abpressgrad bzw. der Trockensubstanzgehalt der Feststoffe eingestellt. Höhere Gegendrücke bewirken höhere Trockensubstanzgehalte in den Feststoffen. Für die Nährstoffabscheideraten sind eher niedrige Abpressgrade mit Trockensubstanzgehalten von bis zu 25% TS von Vorteil.

Mit Pressschnecken und Zentrifugen erfolgt die Fest-/Flüssigtrennung der separierten Gülle bzw. der Gärreste. Sie sind in der Regel die Grundlage für die weiterführenden Aufbereitungsverfahren. Die Flüssigphase enthält jedoch noch immer ca. 40 bis 50% der ursprünglich vorhandenen Menge an Trockenmasse. Bei einigen Aufbereitungsverfahren sind daher Wendelfilterseparatoren mit feineren Sieben nachgeschaltet. Damit können zusätzliche Partikel- und Phosphorfrachten aus der flüssigen Phase entfernt werden. Zu beachten ist jedoch, dass der Wartungsaufwand für diese Feinseparatoren relativ hoch sein kann. Durch die mechanische Separation findet nur eine Phasentrennung statt. Die ursprüngliche Ausgangsmenge von Gülle oder Gärrest bleibt erhalten.

Für eine weitere Volumenreduzierung und Aufkonzentration des Wirtschaftsdüngers ist der Wasserentzug aus den Substraten erforderlich. Dies ist nur durch zusätzlichen Energieaufwand möglich: Entweder durch Wärmezufuhr wie bei Trocknern und Vakuumverdampfern oder durch elektrische Energie, die für den Betrieb von Ultrafiltrations- und Membran-Aufbereitungsanlagen erforderlich ist. Biogasanlagen sind daher der ideale Standort für solche Aufbereitungstechniken, sofern überschüssige Wärmeenergie vorhanden ist. Da das freie Wärmepotenzial auf vielen Biogasanlagen durch die Fermenterheizung und externe Verbraucher begrenzt ist, wird zunehmend auch die direkte Abgaswärme der BHKW-Motoren genutzt. Mit auslaufendem EEG- bzw. KWK-Bonus im Jahr 2032 dürfte die weitere wirtschaftliche Nutzung der wärmegebundenen Technologien jedoch offen sein.

Die Gärresterwärmung bedingt die Freisetzung von gasförmigem Ammoniak. Dieser muss in Brüdenwäschern durch Schwefelsäurezugabe als Ammoniumsulfatlösung (ASL) gebunden werden. Der Mengenanteil der ASL liegt bei ca. 2 bis 5% von der ursprünglichen Roh-Gärrestmenge. Der pH-Wert der ASL sollte über 5 liegen, um Ätzsäuren an den Pflanzen während der Ausbringung zu verhindern. Für die überbetriebliche Abgabe und Handelbarkeit als Mineraldünger muss ein Mindestgehalt von 5% Stickstoff und 6% Schwefel vorhanden sein. Sind die Brüdenwäscher ausreichend groß dimensioniert, lassen sich Stickstoffgehalte von 7 bis 8% erreichen.

Einfache Trocknervarianten trocknen nur die separierten Feststoffe. Diese weisen in der Regel niedrigere Nährstoffgehalte und ein „spreuartiges“, lockeres Substrat auf. Trockner mit Rückmischeinrichtung trocknen den kompletten Gärrest. Das Substrat hat höhere Nährstoffgehalte, ist „granulatartig“, kompakter und lässt sich besser ausbringen. Durch eine nachfolgende Pelletierung kann die Dichte und der Nährstoffgehalt der getrockneten Gärreste noch mehr erhöht werden. Dies ist aber mit Kosten von um die

70 €/t Trockengut verbunden. Zu beachten ist, dass mit den Trocknungsverfahren nur ca. 30 bis 40% des vorhandenen Gärrestes getrocknet werden können.

Vakuumverdampfungsanlagen unterscheiden sich nach dem Ort der Schwefelsäurezugabe und Anzahl der Vakuumverdampfungsstufen. Diese sind kaskadenartig hintereinandergeschaltet, um den Wärmebedarf je Kubikmeter verdampften Wassers möglichst gering zu halten. Es gibt ein- bis vierstufige Verdampfer. Mit zunehmender Stufenanzahl steigt die Effizienz der Wärmenutzung.

Wird die Säure dem Gärrest direkt vor der Erwärmung zugegeben, bleibt das Ammonium im erwärmten Substrat durch die pH-Wert-Absenkung erhalten. Es erfolgt keine ASL-Herstellung. Allerdings sind im Gärrestlager eventuelle Gefährdungen durch eine Schwefelwasserstoffbildung zu beachten. Beim anderen Verfahren wird die Schwefelsäure nach jeder Verdampfungsstufe dem Brüdenwäscher zugegeben, um das im Wasserdampf enthaltene Ammoniak als ASL zu binden. Das Volumen der eingedampften Dickphase verringert sich dadurch um ca. 50 bis 55% und, falls Ammoniumsulfatlösung (ASL) erzeugt wird, werden auch die Ammoniumstickstoffgehalte reduziert. Die Dickphase wird daher in der Regel innerbetrieblich verwertet. Die separierten Feststoffe sind mit Phosphat angereichert und die ASL weist hohe Stickstoff- und Schwefelgehalte auf. Die Nährstoffabgabe erfolgt daher über die separierten Feststoffe bzw. die ASL. Die Dickphase dient in der Regel nur der Volumenreduzierung und damit der Einsparung von teurem Gärrestlageraum.

Statistiken über die Anzahl der Aufbereitungsverfahren in den niedersächsischen Biogasanlagen sind nicht vorhanden. Für eine Hochrechnung bzw. Abschätzung der vorhandenen Verfahren wurden daher die Angaben im „Nährstoffbericht für Niedersachsen 2020/2021“ (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2022) zu den abgegebenen separierten Gärrestfeststoffmengen (965.809 t) bzw. getrockneten Gärrestmengen (35.937 t) als Berechnungsgrundlage für eine Abschätzung der Anlagenanzahl herangezogen. Die daraus resultierenden aufbereiteten Roh-Gärrestmengen wurden über angenommene durchschnittliche Abscheidegrade aus der Separation bzw. über Aufkonzentrationsfaktoren bei der Gärresttrocknung abgeleitet.

Die Anzahl der Biogasanlagen in Niedersachsen ($n = 1.676$) und die durchschnittliche Bemessungsleistung von 531 kWel je Biogasanlage wurden aus der „Biogasinventur 2021 für Niedersachsen“ (3N Kompetenzzentrum 2023) ermittelt. 531 kWel entsprechen in etwa einer Gärrestmenge von 12.000 t/Jahr. Mit der überschüssigen Wärmemenge können ca. 3.700 t Gärrest/Jahr und Anlage getrocknet werden. Daraus ergeben sich in der Abschätzvariante ca. 440 Biogasanlagen mit einer Gärrestseparation (26% der Anlagen) und ca. 100 Anlagen mit einer Gärresttrocknung (6% der Anlagen). Weiterhin sind ca. 12 Vakuumverdampfungsanlagen (0,7% der Anlagen) und 2 bis 3 Ammoniak-Strippanlagen in Betrieb. Zur biologischen Aufbereitung der Flüssigphase sind 1 bis 2 Biogasanlagen und eine Gülleanlage vorhanden. Zwei Anlagen zur großtechnischen Aufbereitung befinden sich im Bau, davon eine im Emsland mit 120.000 t/Jahr. Die andere Anlage entsteht im Landkreis Cloppenburg und wird die größte Biogasanlage Europas (33 MW) mit 500.000 bzw. 1 Mio. t Substratinput im Endausbau. Die Gärreste sollen mit einer Vollaufbereitung dann weiter behandelt werden.

5 Transportwürdigkeit der aufbereiteten Substrate

Für den Vergleich der Transportwürdigkeit der aufbereiteten Substrate sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen. Neben den Transportkosten sind die Nebenkosten für Ausbringung, Mehraufwand und ein monetärer Anreiz für die Aufnahme der Substrate zu berücksichtigen. Die Nebenkosten können schon allein betrachtet, je nach Konditionen, einen Betrag von bis zu 8 €/t Substrat ausmachen. Weiterhin ist der Nährstoffwert und die Düngewirkung von Bedeutung. Am Anfang der Transportkette sind auch die „Herstellungskosten“ der aufbereiteten Produkte zu berücksichtigen, die je nach Verfahren große Unterschiede aufweisen. Angefangen beim Sedimentationsverfahren mit 3,70 €/m³ Dickgülle, der Rindergülleseparation mit 9,50 bis 11,70 €/t Feststoff, der Zentrifugenseparation von Schweinegülle mit 46,70 €/t Feststoff, gehen sie bis hin zur Trocknung mit ca. 155,00 €/t Trockengut. Mit weitergehender Pelletierung liegt dieser Wert bei 265,00 €/t Pellets. Kosten für die Wärmebereitstellung bzw. der KWK-Bonus sind hierbei nicht berücksichtigt. Neben der Nährstoffaufkonzentration muss auch die dadurch bedingte geringere Transportmenge für die gleiche Nährstofffracht berücksichtigt werden. Dieser positive Effekt kann aber durch die höheren Aufbereitungskosten teilweise wieder zunichte gemacht werden. Deutlich wird dies an einem Beispiel mit Mastschweinegülle (6% TS/ 3,2 kg P₂O₅/m³). Für den Export von 1.000 kg Phosphor müssen 313 t Rohgülle, 156 t sedimentierte Dickgülle, aber nur 55 t mit der Zentrifuge separierte Feststoffe abgegeben werden. Die Abgabekosten, bezogen auf 100 km Transportweg, inklusive Nebenkosten und Aufbereitung ergeben ein anderes Bild. Die Rohgülleabgabe beträgt 4.475 € für 1.000 kg Phosphor. Obwohl mit der Zentrifugenseparation nur 55 t Feststoff abgegeben werden müssen, betragen die Kosten dafür 3.372 €. Die Abgabe der sedimentierten Dickgülle ist in diesem Fall mit 2.823 € die günstigere Variante.

6 Fazit

In Niedersachsen muss ein Großteil der Wirtschaftsdünger durch die Nährstoffobergrenzen der Düngerverordnung in entferntere Aufnahmeeregionen transportiert werden. Die Hälfte der Abgabemenge machen dabei die Gärreste aus, gefolgt von Substraten aus der Schweinehaltung (22%) und der Rinderhaltung (21%). Die Abgabe der Wirtschaftsdünger kann entweder als unbehandeltes Rohsubstrat oder als aufbereitetes Produkt erfolgen. Durch Pandemie- und Kriegsereignisse haben sich die Rahmenbedingungen im Wirtschaftsdüngermanagement in den letzten Jahren deutlich verändert. Die Energiekosten haben sich im Jahr 2022 deutlich erhöht. Dies führte zu steigenden Mineraldüngerkosten und höheren Aufwendungen für den Betrieb der Aufbereitungstechniken. Wirtschaftsdünger wurde zu einem „nachgefragten Gut“. In Kombination mit rückläufigen Tierbeständen haben sich die Abgabekosten mehr als halbiert. Infolgedessen sanken die als separierte Feststoffe bzw. getrocknete Substrate abgegebenen Gärrestmengen. Durch die verringerten Schweinebestände (-10%) und die höheren Betriebskosten der zur Separation eingesetzten Zentrifugen halbierten sich die separierten Feststoffmengen aus Schweinegülle. Die Abgabemengen von separierten Feststoffen aus Rindergülle stiegen im Verlauf der letzten Jahre kontinuierlich an. Dies ist im zunehmenden Einsatz von festen Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen begründet.

Welche Gülle- bzw. Gärrest-Aufbereitungstechnik geeignet ist, hängt vorwiegend von der Struktur und Beschaffenheit der zu separierenden flüssigen Substrate und der Verfügbarkeit von Wärmeenergie ab. Zur Separation von grobfaseriger, viskoser Rindergülle bzw. von Gärresten kommen bevorzugt Pressschnecken-separatoren zum Einsatz. Zentrifugen werden vorwiegend bei flüssigen Substraten mit geringeren Trockensubstanzgehalten, wie es bei Schweinegülle der Fall ist, eingesetzt. Bei Biogasanlagen kann – sofern

verfügbar – überschüssige Wärmeenergie für die Wasserverdampfung in Trocknungs- und Vakuumverdampfungsanlagen eingesetzt werden. Gerade Vakuumverdampfungsanlagen dienen hauptsächlich der Reduzierung von teurem Gärrestlagerraum (–50%). Die Nährstoffabgabe erfolgt bevorzugt über die vorab separierten Feststoffe bzw. die Ammoniumsulfatlösung.

Die Transportwürdigkeit der aufbereiteten Substrate wird – abgesehen von den reinen Transportkosten – von den Nebenkosten für die Abgabe (Ausbringung, Mehraufwand, monetärer Anreiz), dem Nährstoffwert (Mineraldüngerkosten) und den Aufbereitungskosten des abzugebenden Substrates beeinflusst. Aufbereitungsverfahren mit hohen Nährstoffaufkonzentrationsraten sind in der Regel auch sehr kostenintensiv, sodass der Vorteil der Nährstoffanreicherung zum Teil durch die hohen Verfahrenskosten wieder egalisiert wird. Dies ist gerade bei den derzeitigen Rahmenbedingungen mit niedrigen Abgabekosten für Wirtschaftsdünger zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird auch die praktische Umsetzung von vielversprechenden Aufbereitungstechniken, mit dem Mineraldünger ähnlichen Substraten, nur noch verhalten angegangen.

7 Literatur

- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2022): Nährstoffbericht für Niedersachsen 2020/2021. Oldenburg, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/pflanzen_und_dungemanagement/nahrstoffbericht/naehrstoffbericht-132269.html, Zugriff am 01.02.2024
- 3N Kompetenzzentrum (2023): Biogas in Niedersachsen – Inventur 2021. Werlte, 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe und Bioökonomie e.V., https://www.3-n.info/media/4_Downloads/pdf_WssnSrc_Srvc_Biogas_BiogasinventurNiedersachsen2021.pdf, Zugriff am 01.02.2024

Humus- und Nährstoffwirkung von (aufbereiteten) Wirtschaftsdüngern

THOMAS EBERTSEDER

1 Einleitung

Die Nährstoffwirkung organischer Düngen ist sehr eng mit dem Umsatz der darin enthaltenen organischen Substanz verknüpft. Dies gilt insbesondere für Nährstoffe, die in großem Umfang in organischen Bindungen vorliegen, wie Stickstoff und Schwefel. Die Stabilität der organischen Substanz sowie deren Umsetzungsverhalten bestimmen wesentlich die Freisetzung oder Festlegung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen. Komplementär dazu sind diese Eigenschaften auch entscheidend für die Humuswirkung dieser Dünger.

Der folgende Beitrag soll zunächst die Aspekte des Umsetzungsverhaltens beleuchten, bevor darauf aufbauend einzelne Wirtschaftsdünger hinsichtlich ihrer Nährstoff- und Humuswirkung charakterisiert werden. Aus dem Verständnis der Zusammenhänge heraus soll zusammenfassend ein einfaches Bewertungsschema zur Abschätzung der Wirkung unterschiedlicher organischer Dünger abgeleitet werden.

2 Grundlagen zum Umsatz organischer Dünger

Organische Dünger enthalten in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial und dem Ab- bzw. Umbau während der Entstehung, der Aufbereitung und der Lagerung (z. B. Verdauung, Vergärung, Kompostierung) organische Substanz in unterschiedlicher Qualität, d. h. mit unterschiedlichen Anteilen an mikrobiell leicht bzw. schwer abbaubaren Verbindungen. Nährstoffe liegen sowohl in organischer Bindung als auch in mineralischer Form vor (je nach Nährstoff mit unterschiedlichen Anteilen). Je höher der Anteil schwer abbaubarer Kohlenstoffverbindungen, desto stärker humuswirksam ist der Dünger nach der Ausbringung. Leichter abbaubare Verbindungen führen zu einem Anstieg der mikrobiellen Biomasse im Boden. Für deren Aufbau nutzen die Mikroorganismen Nährstoffe, die entweder aus der abgebauten organischen Substanz stammen oder der mineralischen Nährstofffraktion der Dünger bzw. der Bodenlösung entnommen werden. Ob Nährstoffe beim Abbau der organischen Substanz pflanzenverfügbar freigesetzt oder in mikrobieller Biomasse festgelegt wird, bestimmt das Verhältnis des Gehalts an abbaubarem Kohlenstoff (C) und dem Gehalt des jeweiligen Nährstoffs (z. B. Stickstoff (N) oder Schwefel (S); C/N- oder C/S-Quotient). Niedrige Quotienten ($C/N < 20$ oder $C/S < 80$) führen kurzfristig zu einer Nährstoffmineralisation und hohe Quotienten zu einer Nährstoffimmobilisation im Boden. Immobilisierte Nährstoffe werden beim Absterben der Mikroorganismen wieder remineralisiert oder teils in längerfristig stabile Huminstoffe überführt.

Wirtschaftsdünger mit hohen Gehalten an stabiler bzw. bereits humifizierter organischer Substanz (z. B. Komposte, verrotteter Stallmist) oder höheren C/N-Quotienten führen zu einer stärkeren Humusproduktion im Boden.

3 Nährstoffgehalte und -formen in Wirtschaftsdüngern

Die C/N-Quotienten und die Nährstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern können im Einzelfall stark schwanken. Dennoch lassen sich charakteristische Werte für die verschiedenen Wirtschaftsdünger angeben. C/N-Quotienten von Gülle liegen üblicherweise bei ca. 8, von Stallmist und Kompost im Bereich von 10 bis 15. Neben dem Mineralisations- bzw. Immobilisationsverhalten ist der Gehalt an unmittelbar pflanzenverfügbaren Nährstoffen bzw. der Anteil mineralischer Nährstoffformen an den Gesamt-Nährstoffgehalten ($\text{NH}_4\text{-N}/\text{N}_{\text{gesamt}}$, $\text{SO}_4\text{-S}/\text{S}_{\text{gesamt}}$) der wichtigste Einflussfaktor auf die Nährstoffwirkung.

Der Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ am Gesamt-N-Gehalt ist in flüssigen Wirtschaftsdüngern hoch (Rindergülle ca. 50%, Schweinegülle und Gärreste bis ca. 70%, Jauche $\geq 90\%$), während in festen Wirtschaftsdüngern meist vergleichsweise niedrige $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalte vorliegen (Stallmist ca. 10%, Kompost $< 5\%$ von Gesamt-N). Schwefel weist dagegen in allen Wirtschaftsdüngern nur eine geringe Löslichkeit auf (Gülle 10–15%, Stallmist/Kompost $< 5\%$ $\text{SO}_4\text{-S}$ am Gesamt-S).

Für die Phosphorwirkung ist weniger das Verhältnis von mineralischem Phosphor (P) zu Gesamt-P von Bedeutung als vielmehr der Anteil leichtlöslicher mineralischer P-Formen (wasser- bzw. bicarbonatlösliches P). Dieser liegt bei flüssigen Wirtschaftsdüngern üblicherweise in der Größenordnung von 50–80%, bei festen Wirtschaftsdüngern (Kompost) im Bereich 20–50%. Kalium liegt in Wirtschaftsdüngern nahezu vollständig in leichtlöslicher Form vor.

Die Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern verändert deren Zusammensetzung. Durch eine Vergärung ändern sich die Gesamtgehalte in der Regel kaum. Organische Substanz wird dabei jedoch abgebaut, der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt steigt und der C/N-Quotient sinkt. Aufgrund steigender pH-Werte wird die P-Löslichkeit etwas verändert, da mehr schwerer lösliche Kalziumphosphate gebildet werden. Die Separierung von Gülle in eine feste und eine flüssige Phase führt dazu, dass sich organische und schwerlösliche Nährstoffformen in der Feststofffraktion anreichern. Dies hat höhere C/N-Quotienten, geringere Anteile an $\text{NH}_4\text{-N}$ sowie geringere P-Löslichkeiten zur Folge.

4 Nährstoffwirkung von Wirtschaftsdüngern

Die Nährstoffwirkung von Wirtschaftsdüngern wird üblicherweise im Vergleich zur Wirkung von Mineraldüngern bewertet. Dafür hat sich als Maßzahl „Prozent Mineraldüngeräquivalent“ (MDÄ) etabliert.

Da die Anwendung organischer Dünger immer mit einer mehr oder weniger starken Humuswirkung verbunden ist, kommt es durch eine längerfristig wiederholte Düngung mit Wirtschaftsdüngern zu einer Humus- und damit Nährstoffanreicherung im Boden. Bei gleichbleibender Mineralisationsrate erhöht sich dadurch mittel- bis langfristig die Nährstoffnachlieferung. Dies gilt insbesondere für Stickstoff, aber auch für Schwefel. Dementsprechend ist bei der Nährstoffwirkung organischer Dünger zwischen der kurzfristigen Wirkung im Jahr der Anwendung und einer längerfristigen Wirkung zu unterscheiden, die je nach Humusanreicherung im Boden die kurzfristige Wirkung erhöht.

Für die N-Wirkung von Wirtschaftsdüngern spielen neben der Zusammensetzung (Kapitel 3) auch die Ausbringungsverluste in Form von Ammoniak eine Rolle. Bei Wirtschaftsdüngern mit hohem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalten und hohen pH-Werten (Gülle, Gärreste) sind daher die kurzfristigen MDÄ häufig etwas geringer als die Ammoniumgehalte erwarten lassen würden.

Flüssige Wirtschaftsdünger besitzen im Anwendungsjahr eine N-Wirkung von 35 bis 45% MDÄ bei Nutzung von Rindergülle bzw. 50 bis 70% MDÄ bei Schweinegülle und Gärreste; die MDÄ für feste Wirtschaftsdünger

dünger liegen hingegen bei 10–20% für Stallmist bzw. 0–15% für Kompost. Längerfristig erhöht sich die Wirkung bei mehrjähriger Anwendung auf 40–50% MDÄ für Stallmist und Kompost bzw. 60–70% für Gülle.

Die Schwefelwirkung der Wirtschaftsdünger im Anwendungsjahr ist vergleichsweise gering. Sie liegt für Gülle und Stallmist im Bereich von 10 bis 15% MDÄ, für Kompost im Bereich von 5 bis 10% MDÄ.

Phosphor ist dagegen in Wirtschaftsdüngern gut verfügbar. Trotz Unterschiede in der Löslichkeit (Kapitel 3) ist die Wirkung vergleichbar mit der von Mineraldüngern. Dies gilt ebenso für das in Wirtschaftsdüngern in der Regel sehr gut lösliche Kalium.

5 Humusreproduktion

Die Fähigkeit der organischen Dünger im Boden Humus anzureichern, hängt vom Gehalt und der Abbaustabilität der enthaltenen organischen Substanz ab. Der Gehalt an organischer Substanz ist in unverarbeitetem Pflanzenmaterial (Stroh, Erntereste, Gründüngung) sehr hoch, deren Abbaustabilität ist jedoch vergleichsweise gering. Im Vergleich dazu ist die Abbaustabilität in Gülle ca. 20% (Schweinegülle, Hühnerkot) bis 50% (Rindergülle) höher. Durch den Gärprozess in einer Biogasanlage werden Kohlenstoffverbindungen abgebaut, die verbleibende organische Substanz ist jedoch deutlich stabiler. Bei gleicher Ausbringungsmenge weisen daher Güllen und flüssige Gärreste eine vergleichbare Humuswirkung je Tonne Frischmasse auf. Die Abbaustabilität der organischen Substanz von Stallmist ist im Vergleich zu Stroh um ca. 35 (frischer Stallmist) bis 60% (Rottemist) höher. Komposte weisen eine noch höhere Abbaustabilität der enthaltenen, weitgehend humifizierten organischen Substanz auf (125 bis 150% gegenüber Stroh).

In Abhängigkeit von diesen Abbaustabilitäten und der enthaltenen Menge an organischer Substanz geben die im VDLUFA-Standpunkt Humusbilanzierung (2014) angegebenen Werte die Humuswirkung der Wirtschaftsdünger (Humusäquivalente (HÄQ) bezogen auf 1 t FM) relativ gut wieder (Stroh: 100; Gründüngung: 16; Gülle, flüssiger Gärrest: 4–12; Stallmist: 30–55; Kompost: ca. 70 HÄQ je Tonne FM). Dies wird von neueren Untersuchungen bestätigen.

6 Zusammenfassung – Bewertungskriterien zur Abschätzung der Wirkung von Wirtschaftsdüngern

Die oben angegebenen Werte zur Humus- und Nährstoffwirkung von Wirtschaftsdüngern stellen charakteristische Richtwerte dar. Innerhalb der einzelnen Wirtschaftsdüngerarten gibt es jedoch mehr oder weniger große Schwankungen aufgrund unterschiedlicher Inputmaterialien sowie unterschiedlicher Entstehungs-, Aufbereitungs-, Lagerungs- und Ausbringungsbedingungen. Die konkrete Einschätzung der zu erwartenden Wirkung einzelner Wirtschaftsdünger kann anhand folgender Kriterien erfolgen:

- Humus: Gehalt an organischer Substanz (je höher, desto höhere Wirkung)
 Abbaustabilität der organischer Substanz (je höher, desto höhere Wirkung)
- Stickstoff: C/N-Quotient (hohe Wirkung bei $C/N < 10$, geringe Wirkung bei $C/N > 20$)
 Gehalt NH_4-N (% N_{gesamt}) (je höher, desto höhere Wirkung)
- Schwefel: C/S-Quotient (hohe Wirkung bei $C/S < 80$, geringe Wirkung bei $C/S > 80$)
 Gehalt SO_4-N (% S_{gesamt}) (je höher, desto höhere Wirkung)
- Phosphor,
- Kalium: generell sehr hohe Wirkung

Erhöhung der N-Ausnutzung flüssiger Wirtschaftsdünger – Applikation in wachsende Bestände

CAROLINE BENECKE

1 Einleitung

Eine verbesserte Nährstoffausnutzung beim Einsatz von Wirtschaftsdünger ist nicht nur aus ökonomischer Sicht von großer Bedeutung. Zusätzlich verringert ein effizienterer Einsatz von organischen Düngemitteln negative Umwelteffekte. Die europäische NEC-Richtlinie formuliert hierzu Reduktionsziele für Luftschadstoffe: In Deutschland sollen die Ammoniakemissionen bis 2030 um 29 % gegenüber 2005 gesenkt werden. Innerhalb der Landwirtschaft kommt der größte Teil der Ammoniakemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung (Rösemann et al. 2023). Hier gibt es verschiedene Reduktionsansätze, die neben dem Schutz der Umwelt auch pflanzenbauliche Vorteile mit sich bringen.

2 Effizienter Wirtschaftsdüngereinsatz

Sowohl der Ausbringungszeitpunkt als auch die -technik haben einen großen Einfluss auf die Wirksamkeit von Düngemaßnahmen. Dabei ist die Beachtung vieler Punkte in der Praxis bereits etabliert: Eine Ausbringung bei möglichst geringen Temperaturen, wenig Luftbewegung und geringer Sonneneinstrahlung legt den Grundstein für geringe Ammoniakverluste (Hafner et al. 2018). Die bodennahe Ausbringung oder gar direkte Einarbeitung senken das Emissionspotenzial weiter und steigern die pflanzliche Wirksamkeit (Nyord et al. 2012, Seidel et al. 2017). Bei der Ausbringung in stehende Bestände oder auf Grünland ist die direkte Einarbeitung jedoch häufig nicht umsetzbar. Schlitzgeräte und Injektoren versprechen eine gewisse Einbringung in den Boden und zeigen in Versuchen auch gute Wirkungsgrade (Abb. 1). Die mehrjährigen Ergebnisse zeigen steigende Erträge beim Einsatz des Schleppschlauchs (SL) über den Schleppschuh (SU) bis zum Schlitzgerät (SG) beim Einsatz von 120 kg Gesamt-N/ha. Gerade der Schleppschuh mit den hier höchsten Erträgen weist durch begrenzte Arbeitsbreiten und hohe Gewichte in der praktischen Umsetzung aber auch Nachteile auf. Unter ungünstigen Witterungsbedingungen kann es zudem zu Pflanzenschäden kommen, die die positiven Effekte der Emissionsreduktion überlagern können. In wachsenden Beständen sind daher praktikable Lösungen gefragt, um große Arbeitsbreiten und hohe Schlagkraft mit geringeren gasförmigen Verlusten zu kombinieren.

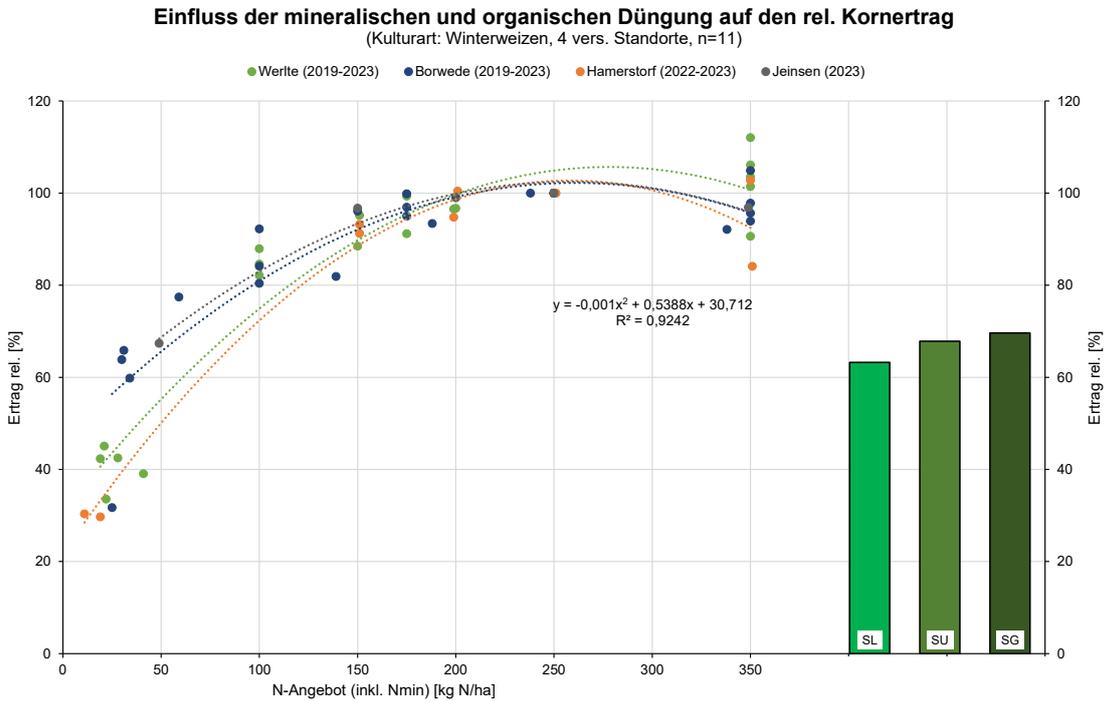


Abb. 1: Einfluss der mineralischen (Kurve) und organischen (Säulen) Düngung auf den relativen Kornertrag in Exaktversuchen (© C. Benecke, LWK Niedersachsen)

2.1 Ansäuerung von organischen Düngern

Dem Ansatz der Ansäuerung liegt das pH- und temperaturabhängige Gleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak zugrunde: Mit steigendem pH-Wert des organischen Nährstoffträgers verschiebt sich dieses Gleichgewicht zugunsten des Ammoniaks, welches gasförmig in die Umwelt entweichen und so nicht mehr als Pflanzennährstoff zur Verfügung stehen kann. Der als Ammoniak aus dem Anbausystem irreversibel entwichene Stickstoff steht der Pflanzenernährung nicht mehr zur Verfügung. Je niedriger der pH-Wert ist, desto mehr liegt pflanzenverfügbares Ammonium vor, wodurch die potenzielle Ausnutzung des in der Organik enthaltenen Stickstoffs steigt (Fangueiro et al. 2015). Um den pH-Wert des Wirtschaftsdüngers auf 6,3 bis 6,6 zu senken, wird in den Versuchen der Einsatz von ein bis sechs Litern konzentrierter Schwefelsäure pro Kubikmeter Gülle oder Gärrest geprüft. Diese wird in der Praxis während der Ausbringung aus einem separaten Fronttank hinzudosiert und reagiert unmittelbar mit der Organik. So gelangt nicht nur keine reine Säure in den Boden, es besteht auch kein direkter Kontakt mit dem Gefahrstoff. Das bei der Reaktion entstehende Sulfat (0,6 kg/l Schwefelsäure) ist direkt pflanzenverfügbar, sodass die mineralische Schwefeldüngung häufig eingespart werden kann. Allerdings wird nicht von den Pflanzen aufgenommenes Sulfat wie Nitrat mit dem Sickerwasser ausgewaschen. Die Säuremenge muss aus diesem Grund eng am pflanzlichen Schwefelbedarf und insgesamt so gering wie möglich dosiert werden.

2.2 Versuchsergebnisse

Der Einsatz von Schwefelsäure bei der Wirtschaftsdüngerausbringung wurde am Beispiel von flüssigem Gärrest von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen seit 2018 in fünf Versuchsjahren an bis zu sieben Standorten im Wintergetreide getestet. Davon liegen in zwei Jahren auch Ergebnisse zum Einsatz verschiedener Säuremengen vor, vor deren Veröffentlichung allerdings das dritte Versuchsjahr abgewartet wird. Es wurden sowohl unterschiedliche Bodenarten als auch Standorte mit und ohne langjährige organische Düngung untersucht. Neben einer mineralischen N-Staffel zum Vergleich der Wirkungsgrade wurden die Ausbringungstechniken Schleppschlauch und Schleppschuh jeweils mit und ohne Säurezugabe sowie die Schlitztechnik getestet. Zusätzlich zu den rein organisch gedüngten Varianten spiegelte eine mineralische Ergänzung mit Kalkammonsalpeter bis zur Höhe des errechneten Bedarfswertes zu verschiedenen Zeitpunkten (früh und spät) die Praxis wider. Die umfassende und langjährige Versuchsanlage erlaubt nun, erste repräsentative Schlüsse aus der Anwendung von Schwefelsäure für eine emissionsarme Ausbringung organischer Nährstoffträger zu ziehen.

In Abbildung 2 ist der relative Ertrag sowie der Proteingehalt im Mittel der Jahre 2019 bis 2021 der Standorte Poppenburg, Königslutter, Borwede, Höckelheim und Werlte im Winterweizen abgebildet. Dabei wurde die rein mineralische Düngung nach Bedarfswert als 100 % relativ festgelegt. Im Schnitt der Jahre führt die mineralische N-Staffel bis in Höhe des Bedarfswertes zu abnehmenden Ertragssteigerungen. Bei Düngung über den Bedarf hinaus (350 kg N-Angebot) werden keine Ertragssteigerungen mehr verzeichnet, wobei die Proteingehalte weiter ansteigen. Beim Technikvergleich (grüne Säulen) ist ein steigender Ertrag von Schleppschlauch über Schleppschuh zur Schlitztechnik zu erkennen. Da der Schleppschlauch im Versuch sehr nah über der Bodenoberfläche gefahren wurde, fällt dieser Unterschied in der Praxis bei zu hoch gefahrenen Schleppschläuchen durch die größere Kontaktfläche mit der Luft mitunter größer aus. Durch die Zugabe von Säure zu Schleppschlauch und Schleppschuh (hellgrüne Säulen) konnten die Erträge gesteigert werden und überstiegen sogar den Ertrag der Schlitztechnik ohne Säurezusatz. Bei mineralischer Ergänzung durch Kalkammonsalpeter bis in Höhe des Bedarfswertes wurde die Organik – höher als durch die DüV vorgegeben – mit 80 % Wirksamkeit angerechnet, sodass die mineralische Ergänzung entsprechend geringer ausfiel. Die gelben Säulen stellen die frühe Gabe von Organik mit anschließender mineralischer Ergänzung dar. Hier konnte der Ertrag der nach Bedarfswert rein mineralisch gedüngten Variante mit Säurezusatz (hellgelbe Säulen) erreicht werden. Auch die Proteingehalte konnten durch den Säurezusatz leicht angehoben werden, erreichten jedoch nicht den Wert der rein mineralisch gedüngten Variante. Bei mineralischer Andüngung mit späterer Gärrestgabe sollte der Fall simuliert werden, dass zu nasse Bedingungen die Befahrbarkeit der Flächen für die frühe Ausbringung von Organik nicht erlauben. Hier fällt die Mehrwirkung durch Säurezugabe geringer aus als bei der frühen Ausbringung von Organik. Positiv stehen allerdings die erhöhten Proteingehalte bei Ansäuerung hervor.

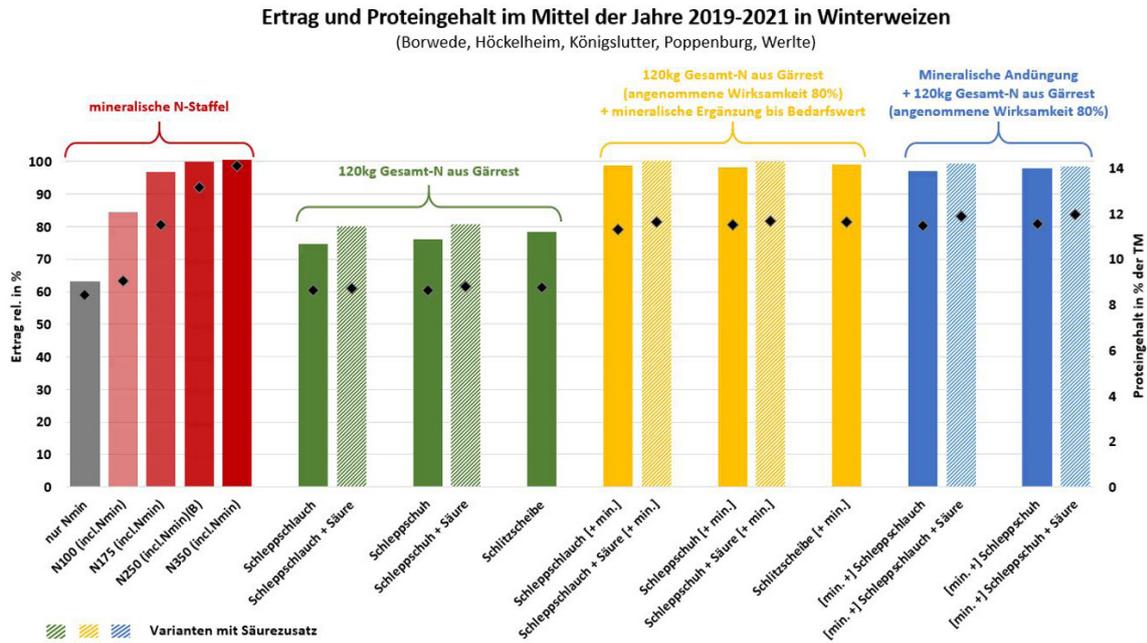


Abb. 2: Mehrjährige Ergebnisse der Ansäuerung in Winterweizen an verschiedenen Standorten
(© C. Benecke, LWK Niedersachsen)

2.3 Mineraldüngeräquivalente

Das Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) ist ein rechnerisches Maß für den Wirkungsgrad von Wirtschaftsdüngern. Während bei der Ausbringung von Mineraldüngern eine Nährstoffwirkung von 100 % angenommen wird, ist die der Organik durch Verluste bei der Ausbringung sowie notwendige Umwandlungsprozesse geringer. Durch die mineralische N-Staffel können so das MDÄ der rein organisch gedüngten Varianten errechnet werden. Das MDÄ stellt dabei also das Verhältnis von gedüngter Gesamt-N_{org}-Menge zu theoretisch für den erreichten Ertrag benötigter Mineraldüngeremenge dar. Das Ziel ist es, möglichst hohe Wirkungsgrade der Organik zu erreichen.

Durch die teils extreme Witterung in den Versuchsjahren (Hitze, Trockenheit) fielen die MDÄ in den Versuchsjahren insgesamt gering aus. Im Vergleich zum Schleppschlauch konnten die MDÄ beim Schleppschuh und insbesondere beim Schlitzgerät durch die verlustärmere Technik gesteigert werden. Der Zusatz von Säure steigerte die MDÄ sogar noch stärker. Unter normalen Bedingungen mit besserer allgemeiner Wirksamkeit erscheinen Steigerungen der MDÄ durch die Ansäuerung um 10 bis 15 Prozentpunkte realistisch, wodurch die Ergänzung durch Mineraldünger geringer ausfallen kann. Dieses Ergebnis zeigt, wie die Wirkungsgrade der Organik durch Säurezugabe stärker gesteigert werden konnte als durch den reinen Einsatz verlustmindernder Techniken.

3 Fazit und Ausblick

Die Ansäuerung von Wirtschaftsdüngern ist ein Ansatz, das Potenzial für Ammoniakverluste während der oberflächennahen Ausbringung wirksam zu vermindern und so die pflanzenbauliche Ausnutzung der Organik zu steigern. Aus einer positiven Ertragsreaktion wird auf geringere Verluste geschlossen. Bezogen auf die Reduktionsziele der NEC-Richtlinie sind allerdings die tatsächlichen Emissionsreduktionen im Fokus und die höheren Ausnutzungen eher eine Folge. Es bleibt also essentiell, diese Messungen zusätzlich zu den pflanzenbaulichen Versuchen zu machen. Unter diesem Aspekt wird im Projekt „Säure+ im Feld“ in Praxisversuchen beides geprüft (Abb. 3). In diesem deutschlandweiten Verbundprojekt wird in Zusammenarbeit mit 39 Verbundbetrieben in acht Bundesländern die Etablierung in der Praxis unter beiderlei Gesichtspunkten getestet.



Abb. 3: Logo Verbundprojekt „Säure+ im Feld“ (www.saeureplus.de)

Dass das Sulfat als Umwandlungsprodukt der Schwefelsäure pflanzenbaulich nutzbar ist, ist zunächst ein weiterer positiver Nebeneffekt. Schwefel wird von den Pflanzen für die Aufnahme von Stickstoff und dessen Einbau und Umwandlung benötigt – ein über dem Bedarf liegendes Angebot wird von der Pflanze nicht aufgenommen. Aus diesem Grund kann eine über dem Pflanzenbedarf liegende Schwefelzufuhr bei entsprechenden Sickerwassermengen zur Verlagerung dieses Anions führen. Das standardmäßige Ansäuern von Wirtschaftsdüngern bei jeder Gabe würde mehr Schwefel ausbringen, als die Kulturpflanzen benötigen.

Der Einsatz von Schwefelsäure passt also zu (späten) Ausbringungszeitpunkten in stehende Bestände, wenn eine direkte Einarbeitung nicht möglich ist. In der Folge muss die mineralische Schwefelergänzung entsprechend der ausgebrachten Sulfatmengen reduziert werden. Bei Ausbringungszeitpunkten vor der Aussaat mit direkter Einarbeitung oder gar Unterfußdüngung lässt die Ansäuerung hingegen nicht mehr in dem Maße positive Effekte erwarten.

Literatur

- Hafner, S.D.; Pacholski, A.; Bittman, S.; Burchill, W.; Bussink, W.; Chantigny, M. (2018): The ALFAM2 database on ammonia emission from field-applied manure: Description and illustrative analysis. *Agric. For. Meteorol.* 258, pp. 66–79, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.027>
- Fangueiro, D.; Hjorth, M.; Gioelli, F. (2015): Acidification of animal slurry – A review. *J. Environ. Manag.* 149, pp. 46–56, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.001>
- Nyord, T.; Hansen, M.N.; Birkmose, T.S. (2012): Ammonia volatilisation and crop yield following land application of solid-liquid separated, anaerobically digested, and soil injected animal slurry to winter wheat. *Agric. Ecosyst. Environ.* 160, pp. 75–81, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.002>
- Rösemann, C.; Vos, C.; Haenel, H-D. et al. (2023): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2021: Input data and emission results. <https://doi.org/10.3220/DATA20230307151125-0>
- Seidel, A.; Pacholski, A.; Nyord, T.; Vestergaard, A.; Pahlmann, I.; Herrmann, A.; Kage, H. (2017): Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N₂O emissions and crop N uptake. *Agric. Ecosyst. Environ.* 247, pp. 23–32, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.030>

Die Landwirtschaft voranbringen – ganzheitliche Betrachtung von Tierhaltung und Pflanzenbau: Statement einer Betriebsleiterin

GESA LANGENBERG

1 Einleitung

Die Veränderung der Schweinehaltung ist mein Ziel! Seit vielen Generationen ist die Schweinehaltung neben dem Ackerbau in unserem landwirtschaftlichen Betrieb in Bockstedt, im Landkreis Diepholz, Niedersachsen gewachsen und hat sich weiterentwickelt. In der nunmehr 14. Generation darf ich zusammen mit meinem Mann den Betrieb leiten (Abb. 1). Die aktuellen Herausforderungen, wie die Reduzierung klimaschädlicher Emissionen und die Förderung der natürlichen Verhaltensweisen der Schweine in unseren Ställen, beschäftigen uns jeden Tag. Wir haben durch den Umbau des ersten Stalls zu einem emissionsarmen Offenstall bereits mit der Veränderung begonnen.



Abb. 1: Die Betriebsleiterin Gesa Langenberg (© Gesa Langenberg)

2 Artgerecht und emissionsarm – Zielkonflikte auflösen

Die anfänglichen Überlegungen hinsichtlich der Weiterentwicklung unserer Schweinehaltung bezogen sich allein auf die Lebensbedingungen der Tiere. Die Haltungsbedingungen sind während der letzten Jahre immer stärker in den Fokus gerückt, während zuvor viele Jahre und Jahrzehnte die Versorgung der Bevölkerung mit ausreichend Fleisch in guter Qualität und zu günstigen Preisen die wesentlichen Ziele waren. Das Tierwohl ist jedoch nicht der einzige Aspekt, der an Bedeutung gewonnen hat – es sind ebenso Klima- und Umweltschutz zunehmend in das Bewusstsein gerückt.

Die anfänglichen Überlegungen, Ausläufe für die Schweine zu schaffen, ihnen mehr Platz zu bieten und die Buchten damit hinsichtlich der natürlichen Verhaltensweisen der Tiere zu strukturieren, wurden durch den Umweltschutz konterkariert. Tierschutz kollidiert mit Umweltschutz lautete die vorherrschende Meinung. Denn durch geöffnete Ställe tritt vermehrt Ammoniak aus und daraus resultieren höhere Geruchsbelastungen sowie negative Auswirkungen auf das Klima. Das Ziel war aber immer, bessere Bedingungen

im Stall zu schaffen, ohne höhere Emissionen hinnehmen zu müssen. Somit lag die Herausforderung darin, die Entstehung von Ammoniak bereits im Stall deutlich zu reduzieren. Das Prinzip des emissionsarmen Tierwohlstalls basiert im Wesentlichen auf drei verschiedenen Funktionsbereichen für die Schweine: Liegen, Fressen, Misten. Die Buchten sind so strukturiert, dass jedes Schwein auf einem eingestreuten Liegebereich im Inneren des Stalls ruhen und wühlen kann. Es besteht jederzeit ein Zugang zur frischen Luft über den Auslauf (Abb. 2).



Abb. 2: Blick in den Auslauf (© Gesa Langenberg)

Dort befindet sich das Futterangebot und der Mistbereich für die Schweine: Der einzige Bereich im Stall, der mit Rosten ausgelegt ist. Durch das Wasserangebot sowie den Sichtkontakt zur nächsten Bucht werden die Tiere animiert, dort zu koten und zu urinieren. Die unter den Kunststoffrosten befindliche Kot-Harn-Trennung mit einem V-Profil sorgt für eine schnelle Trennung von Kot und Harn. Der Kot bleibt auf dem Boden unter den Rosten liegen und wird im Zweistundentakt automatisch abgeschoben, während der Harn durch das leichte V-Profil in die mittig platzierte Harnrinne läuft und abfließt. Durch die Trennung von Kot und Harn kann das Enzym Urease den Harnstoff nicht wie beim Zusammenkommen in der Gülle in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid spalten, wodurch die Luft im Stall deutlich angenehmer ist und klimaschädliche Emissionen stark reduziert werden.

3 Fazit

Die Anforderungen an die landwirtschaftliche Tierhaltung haben zugenommen. Neben einer Versorgung mit ausreichend Fleisch in guter Qualität zu bezahlbaren Preisen gilt es, den natürlichen Verhaltensweisen der Tiere mehr Raum zu geben, ohne zugleich negative externe Effekte zu produzieren. Das gelingt durch die Schaffung von Ausläufen, strukturierten Buchten und einer Kot-Harn-Trennung, die eine Entstehung von Ammoniak und Kohlenstoff deutlich zu reduzieren vermag. Der nächste (Um-)Bau ist in Planung.

Die Landwirtschaft voranbringen – ganzheitliche Betrachtung von Tierhaltung und Pflanzenbau: Statement des Netzwerkes Ackerbau Niedersachsen e.V. (NAN)

HILMAR FREIHERR VON MÜNCHHAUSEN

1 Einleitung

Im Netzwerk Ackerbau Niedersachsen e.V. haben sich engagierte Landwirte, Unternehmen der Agrarwirtschaft und Akteure und Institutionen aus Agrarforschung und -verwaltung zusammengeschlossen, um insbesondere ackerbauliche Fragen ganzheitlich und entlang der Wertschöpfungskette zu betrachten. Zentrales Projekt des NAN ist der Aufbau und die Entwicklung des Ackerbauzentrums Niedersachsen. Das Ackerbauzentrum wird vom Land Niedersachsen gefördert und setzt sich für die Vernetzung von Projekten und Erkenntnissen ebenso ein wie für den Wissenstransfer aus der Agrarforschung in die Agrarpraxis. Einen nachhaltigen Ackerbau vorantreiben, ist das zentrale Anliegen des NAN.

2 Vernetzt denken, ganzheitlich handeln

2.1 Klimaschutz, Tierwohl und Green Deal

Die gesellschaftlichen Anforderungen an die Landwirtschaft wachsen auf allen Ebenen. Die Antwort muss die Landwirtschaft gemeinsam geben. Es mag sich manch ein Ackerbauer fragen „Was habe ich mit Tierwohl zu tun?“ und manch ein Landwirt in der Börde „Was soll ich mich um den Moorschutz kümmern?“ – aus unserer Sicht jedoch kann nur eine ganzheitliche und gemeinsame Antwort gegeben werden. Denn alles hängt mit (fast) allem zusammen. Mehr Tierwohl heißt nicht nur mehr Platz pro Tier, sondern auch eine Veränderung von Haltung und Fütterung. Damit steigen mit einem Mal der Strohbedarf oder die Nachfrage nach regional erzeugten Futtermitteln. Dies mag nur ein kleines Beispiel für die Zusammenhänge zwischen Ackerbau und Tierhaltung sein. Aber es zeigt die Vernetzung und es muss immer klar sein, dass ein Drehen an einer Schraube das Gesamtgefüge verändert. Daher ist es wichtig, dass die Landwirtschaft in ihrer Gesamtheit und Komplexität Antworten auf die Herausforderungen gibt, die vor ihr liegen. Dies muss auch in einem stärkeren Maß Eingang finden in die Vorhaben der Agrarforschung und die Förderung der Agrar(umwelt)politik.

2.2 Digitalisierung, KI und Precision Farming

Technische Innovationen helfen im Pflanzenbau und in der Tierhaltung, Ziele der Nachhaltigkeit in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht zu erreichen. Insbesondere lässt sich die Effizienz eingesetzter Inputs, ob Futter, Dünger oder chemischer Pflanzenschutz verbessern. Sensoren helfen, Inhaltsstoffe schneller zu erfassen und die richtigen Dünge- oder Spritztermine zu finden. Kamertechnik hilft bei Überwachung und Monitoring – egal, ob es sich um Tier- oder Pflanzenbestände handelt. In vielerlei Hinsicht hilft die Digitalisierung im Büro, im Stall und auf dem Feld. Und dies nicht nur innerhalb eines Betriebes, sondern auch in der Kommunikation zwischen den Betrieben und den Unternehmen im vor- und nachgelagerten Bereich. Zumindest dann, wenn Daten schnell und sicher ausgetauscht werden können.

Erleichterung würden einheitliche, länderübergreifende Anwendungen bringen. Weg vom Datenchaos und hin zu standardisierten Verfahren. Noch stärker als bisher müssen auch technische Innovationen ganzheitlich gedacht und vorangetrieben werden. Und es gilt, digitale Kompetenzen auf den Höfen zu stärken und Digitalisierung als Zukunftsthema intensiver in die landwirtschaftliche Ausbildung einzubinden.

3 Fazit

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung und der Pflanzenbau gehören zusammen. Dort, wo sich die Betriebe in einem hohen Maß spezialisiert haben, muss die Vernetzung wieder gestärkt werden. Dabei geht die Beziehung zwischen Ackerbau und Tierhaltung weit über das Liefern von Stroh und das Abnehmen von organischem Dünger hinaus. Auch Agrarpolitik und Agrarforschung sollten die Komplexität von Landwirtschaft wieder stärker erkennen und berücksichtigen. Nur so lassen sich auch gesellschaftliche Anforderungen an die Landwirtschaft besser berücksichtigen und die Nachhaltigkeit bei der Erzeugung tierischer und pflanzlicher Produkte stärken.

Förderhinweis

Das Ackerbauzentrum Niedersachsen auf der Burg Warberg im Landkreis Helmstedt wird mit Mitteln des Landes Niedersachsen gefördert.



Niedersächsisches Ministerium
für Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

Die Bedeutung der Nutztierhaltung für eine ökonomische und nachhaltige Landwirtschaft

PETER SPANDAU

1 Ausgangssituation

Ackerbau und Viehzucht sind die klassischen Tätigkeiten, die derzeit noch von rund 258.000 landwirtschaftlichen Betrieben (2010 = 299.000 Betriebe) ausgeübt werden. Zwar hat sich seit etwa 2004 mit den erneuerbaren Energien – insbesondere Photovoltaik und Biogas – ein weiterer Betriebszweig etabliert, dieser ist aber vom Umfang deutlich kleiner als die typisch landwirtschaftlichen Betriebszweige und zudem gewerblicher Art. Gleiches gilt auch für den Landservice (Bauernhofgastronomie, Ferien auf dem Bauernhof, Direktvermarktung etc.).

Nur noch 43% aller landwirtschaftlichen Betriebe wurden 2020 im Haupterwerb bewirtschaftet. Bei 57% der Betriebe lag der nicht landwirtschaftliche Einkommensbeitrag bei mehr als 50%. Spitzenreiter war hier Hessen mit einer Nebenerwerbsquote von 69%, den höchsten Haupterwerbsanteil hatte hingegen mit 55% Schleswig-Holstein.

Ein Zusammenhang zwischen Haupt- und Nebenerwerb sowie der Einkommenssituation auf der einen Seite und der Nutztierhaltung auf der anderen, scheint schon aus der Erfahrung heraus zu bestehen. Die Konzentration der Tierhaltung in den Haupterwerbsbetrieben ist deutlich höher als im Nebenerwerb. Insbesondere die arbeitsintensiven Verfahren wie Milchviehhaltung und Ferkelproduktion sind hier zu nennen, aber auch der starke Konzentrationsprozess auf große Einheiten bei Geflügel hat im Wesentlichen im Haupterwerb stattgefunden. Dieser Effekt korrespondiert weitestgehend mit der bundesweiten Entwicklung: Die höheren Haupterwerbsquoten finden sich gerade in den viehintensiven, nordwestdeutschen Bundesländern wieder. Dies bestätigt auch die Statistik. So bewirtschaftet in NRW der durchschnittliche Nebenerwerbsbetrieb halb so viel Fläche wie der Haupterwerbsbetrieb, der Umfang der Tierhaltung liegt im Vergleich aber nur bei knapp 30%. Der Unternehmensgewinn betrug im Mittel der Wirtschaftsjahre 2017/18 bis 2021/22 im Nebenerwerb sogar nur weniger als ein Viertel im Vergleich zum Haupterwerb und war damit geringer als die jährlichen Prämien- und Beihilfezahlungen.

2 Entwicklung der Nutztierbestände

Neben der negativen Entwicklung bei der Zahl der Betriebe sollte ein besonderes Augenmerk auf die Entwicklung der Nutztierhaltung in den letzten 10 Jahren gelegt werden. Der bundesweite Schweinebestand sank von 28,1 Mio. um 24,6% auf 21,2 Mio., der Bestand an Rindern reduzierte sich in diesem Zeitraum von 12,7 Mio. um 14,6% auf 10,8 Mio. Tiere. Und der Geflügelbestand lag 2013 bundesweit bei 177,3 Mio. Tieren und sank bis 2020 (Geflügelbestände werden nur alle 3 Jahre erhoben!) um 2,4% auf 173,1 Mio. Tiere.

Sämtliche Bestandsentwicklungen waren gerade wegen des negativen Trends mit einem erheblichen Strukturwandel verbunden. So sank die Zahl der Schweinehaltungen im gleichen Zeitraum (2013–2023) um 42% und die der Rinderhaltungen um 19%. Besonders sticht bei den Rindern die Milchviehhaltung

heraus. Bei etwa gleicher Bestandsreduktion wie insgesamt bei den Rindern sank die Zahl der Halter hier um 36%.

Die Gründe für den Rückgang der Nutztierhaltung und des damit auch verbundenen Strukturwandels sind vielfältig. Im Vordergrund standen dabei bislang wirtschaftliche Aspekte, die im Zusammenhang mit fehlender Produktionseffizienz, Kostendegression durch Bestandsgröße und mit dem – auch internationalen – Wettbewerb stehen. Lediglich in der Schweinehaltung wird zunehmend sichtbar, dass der deutlich sinkende Inlandsverzehr (5% p. a. im Schnitt der letzten Jahre) eine signifikante Auswirkung auf den bundesdeutschen Schweinebestand hat.

3 Die ökonomische Bedeutung der Nutztierhaltung

Die ökonomische Bedeutung der Nutztierhaltung für das Einkommen landwirtschaftlicher Unternehmen ist eine betriebsindividuelle Betrachtung und hängt vom Umfang der Viehhaltung im Verhältnis zu den ackerbaulichen und sonstigen Aktivitäten ab. Wie groß insgesamt die Bedeutung der Viehhaltung für die Landwirtschaft ist, lässt sich aber am Produktionswert erkennen. Dies zeigt das Beispiel von NRW, einem Bundesland, in dem die Nutztierhaltung von größerer Bedeutung für die Landwirtschaft ist.

Der landwirtschaftliche Produktionswert zu Erzeugerpreisen in NRW betrug im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021 insgesamt 7,4 Mrd. Euro. Davon stammten mit 4,2 Mrd. Euro mehr als 50% aus der Tierhaltung. Diese lieferte damit einen essenziellen Einkommensbeitrag für die Landwirtschaft in NRW.

Unabhängig davon, was den Rückgang der Nutztierbestände verursacht, sei es ein sich änderndes Verbraucherverhalten (Fleischverzicht etc.), Wettbewerbsnachteile gegenüber Importen oder Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen, hat dies folglich massive negative Auswirkungen auf die Wertschöpfung und damit auf die Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe. Der Strukturwandel wird dadurch deutlich beschleunigt werden.

Ein Gedankenspiel

Auch aus einem anderen Blickwinkel wird die herausragende Bedeutung der Nutztierhaltung für die nordrhein-westfälische Landwirtschaft deutlich. 2023 betrug der Mastschweinebestand rund 3,51 Mio. Tiere und der Zuchtsauenbestand etwa 319.000 Tiere. Bei durchschnittlich 1,0 AKh pro Mastplatz und 15 AKh je Sau summiert sich dies auf 8,3 Mio. Arbeitsstunden bzw. etwa 4.100 Voll-AK. Gut 375.000 Kühe in NRW binden etwa 8.500 Voll-AK, die 890.000 anderen Rinder noch einmal etwa 3.500 Voll-AK.

Diese beiden bedeutsamsten Nutztierarten binden damit insgesamt etwa 16.000 Arbeitsplätze in der Landwirtschaft ohne Berücksichtigung des vor- und nachgelagerten Bereichs. Bei rund 30.000 landwirtschaftlichen Betrieben (45% im Haupt- und 55% im Nebenerwerb) in NRW, die nach der Betriebsstatistik durchschnittlich *über 1,8 bzw. 0,8 AK* im Unternehmen verfügen, sind insgesamt etwa 38.000 AK (Familien- und Fremd-AK) direkt in der Landwirtschaft tätig. 42% der Arbeitskapazität auf landwirtschaftlichen Betrieben in NRW ist somit allein in der Schweine- und Rinderhaltung gebunden. Mit Geflügel, kleinen Wiederkäuern u. Ä. ergibt sich etwa die Hälfte des gesamten Arbeitsvolumens.

4 Ökologische Nachhaltigkeit der Nutztierhaltung

Die Produktion von Lebensmitteln hat grundsätzlich negative Auswirkungen auf die Umwelt. Gerade bei der Erzeugung tierischer Produkte entstehen einerseits klimaschädliche Gase (Ammoniak, Methan, CO₂), die summarisch in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt werden, andererseits werden über die Ausscheidungen wesentliche Stickstoff- und Phosphormengen an die Umwelt abgegeben, die zwar über Gülle und Mist zur Düngung genutzt werden, die aber beispielsweise durch Überschussmengen und Ausgasung ebenfalls negative Umweltwirkungen erzeugen.

Denkt man die Nahrungsmittelkette bis zum Ende, müssen die damit verbundenen negativen Umweltwirkungen im Zusammenhang mit der Ernährung der Bevölkerung gesehen werden. Nahrungsaufnahme verursacht negative Umweltwirkungen, ist allerdings auch lebensnotwendig!

Wenn in diesem Kontext eine negative Umweltwirkung nicht gänzlich vermieden werden kann, steht im Vordergrund das Ziel, für eine Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit die schädlichen Einflüsse zu reduzieren.

In diesem Zusammenhang spielen verschiedene Einflussfaktoren eine Rolle:

- Optimierung der Produktion tierischer Produkte im Hinblick auf Klimaschutz (CO₂-Bilanz) sowie Nährstoffausscheidung und -ausbringung
- Reduzierung der Produktion tierischer Produkte auf einen Selbstversorgungsgrad von 100% (und damit ohne Verlagerung der Problematik in Drittländer)
- Gegebenenfalls strukturelle Änderung der Verteilung der Nutztierhaltung in Deutschland soweit es regionale Umwelteffekte betrifft
- Änderung der Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung – Reduzierung des Konsums tierischer Produkte aber
- Den Gedanken der Kreislaufwirtschaft nicht aus den Augen verlieren
 - Nährstoffrückfluss ist hierfür erforderlich!
 - Stickstoff aus Wirtschaftsdünger mit deutlich besserer CO₂-Bilanz als mineralischer Stickstoff (z. B. Kalkammonsalpeter)!
 - Beschreibung nicht nur von Ober- sondern auch von Untergrenzen für den Viehbesatz im Sinne einer Kreislaufwirtschaft!?

Die Veränderung aller angesprochenen Faktoren wird dazu führen, dass der Umfang der Nutztierhaltung insgesamt weiter abnimmt und damit nicht unerhebliche Einkommenspotenziale verloren gehen. Wenn sich in der Folge keine Einkommensalternativen ergeben, wird diese Entwicklung zu einem weiteren massiven Strukturwandel in der Landwirtschaft führen, der das Bild des ländlichen Raums deutlich verändern wird: kollektive Nebenerwerbslandwirtschaft versus ackerbaulich geprägte Großunternehmen!

Zur Rolle der Digitalisierung in der kreislauforientierten Agrarsystemtransformation

KATHARINA HELMING, NORA NAUMANN, MICHELLE ECKHARDT

1 Agrarsystemtransformation

Damit die Landwirtschaft auf einen nachhaltigen Pfad zurückkehren kann, fordert die Wissenschaft und vermehrt auch die Zivilgesellschaft eine Transformation des gesamten Agrar- und Ernährungssystems. Tatsächlich verlangen zunehmende globale Herausforderungen wie Klimawandel, Ressourcenknappheit, steigende Weltbevölkerung und geopolitische Konflikte nach tiefgreifenden Veränderungen. Agrarsysteme der Zukunft müssen robust sein gegenüber kurzfristigen Schocks (Wetterextreme, Preisschocks, Abbrechen der Lieferketten) und sich langfristig gegenüber Klimaänderungen als anpassungsfähig erweisen. Hinzu kommt die Notwendigkeit zum biodiversitäts-, boden- und ressourcenschonenden Wirtschaften, um die Überschreitung planetarer Grenzen und irreversibler Kipppunkte zu verhindern (Foley et al. 2011). Diese Ziele sind mit einzelnen, voneinander isolierten Maßnahmen nicht mehr zu erreichen. Sie erfordern eine systemische Transformation, die sich an der Vermeidung negativer externer Effekte messen lässt und langfristige Wirkungen auf das Gesamtsystem anstelle kurzfristig zu erzielender Einzelkomponenten (Ertrag) in den Blick nimmt. Dazu müssen die politischen Rahmenbedingungen ebenso verändert werden wie Konsum und Produktion. Zukunftsszenarien zeigen, dass es ein Ineinandergreifen von stärker pflanzenbasierter Ernährung, kreislauforientierter Ressourcennutzung und intelligenter Nutzung technologischer Entwicklungen braucht, um das Agrar- und Ernährungssystem innerhalb planetarer Grenzen zu halten (Springmann et al. 2018). Dieser Beitrag geht auf die zwei zuletzt genannten Prinzipien ein und stellt das Tagungsthema der (Nährstoff-)Kreislaufwirtschaft in den Kontext der Digitalisierung und zukunftsorientierten Agrarsystemtransformation.

2 Ganzheitliche Kreislaufwirtschaft

Materialkreisläufe sollen in der Kreislaufwirtschaft geschlossen werden, um den Verbrauch von Ressourcen und den Ausstoß von Emissionen in die Umwelt zu reduzieren (Jurgilevich et al. 2016). Für das Agrarsystem bedeutet das: die Suche nach Praktiken und Technologien, die den Einsatz endlicher Ressourcen minimieren, die Verwendung regenerativer Ressourcen fördern, die Verlagerung natürlicher Ressourcen (C, N, P, Boden, Wasser) aus dem Agrarsystem verhindern und die Wiederverwendung von Ressourcen in einer Weise zu fördern, die den größtmöglichen Wert für das Agrarsystem hat. De Boer und van Ittersum (2018) sowie van Zanten et al. (2019) formulieren in einem ganzheitlichen Ansatz drei Zielgrößen für ein zirkuläres Agrar- und Ernährungssystem: 1. Pflanzliche Biomasse als Basis des Ernährungssystems bevorzugen, 2. Nebenprodukte der Nahrungsproduktion, -verarbeitung und -konsumierung im Agrarsystem recyceln und 3. ausschließlich solche Flächen für die Tierproduktion verwenden, die aufgrund ihrer geophysischen Bedingungen nicht zur direkten Produktion pflanzenbasierter Nahrung geeignet sind (Abb. 1). Während dem ersten Faktor, der Umstellung des Konsums, der weitaus größte Effekt für Umwelt, Gesundheit, Res-

sourcen- und Klimaschutz beigemessen wird (Ruggeri Laderchi et al. 2024), verfügt das Agrarsystem selbst ebenfalls noch über erhebliche kreislauforientierte Potenziale.

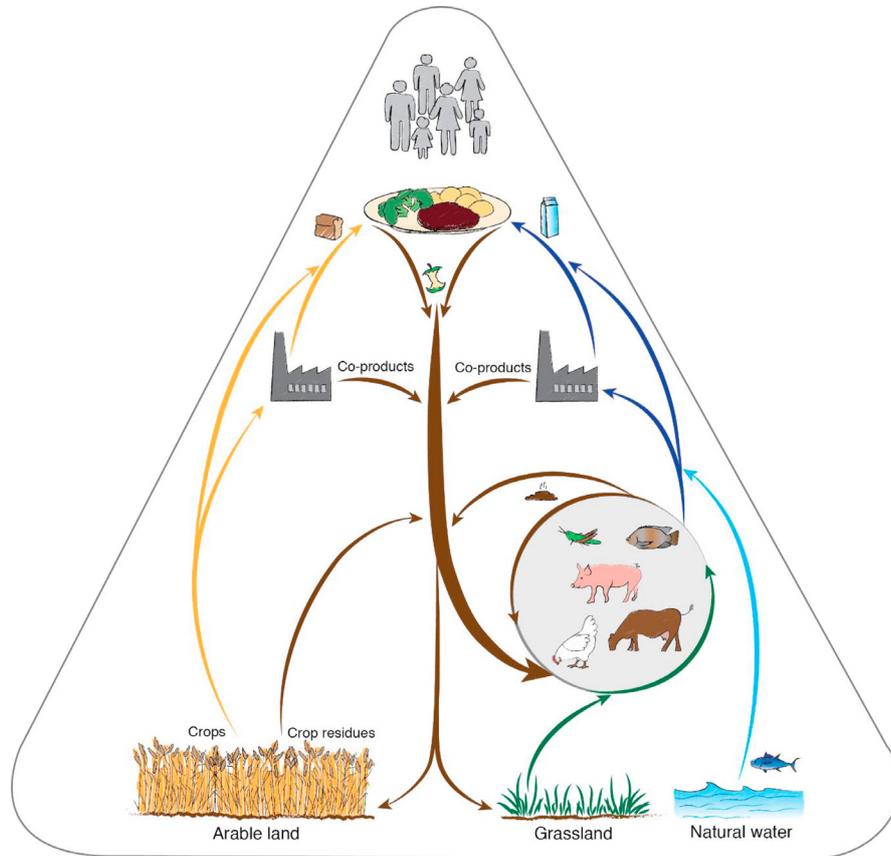


Abb. 1: Visualisierung eines zirkulären Agrar-Ernährungssystems (van Zanten et al. 2019)

Im Agrarsystem werden Tier- und Pflanzenproduktion über den Wirtschaftsdünger und den Futteranbau gekoppelt. Die Nutzung von Wirtschaftsdünger in der Pflanzenproduktion ersetzt nicht nur mineralischen Dünger, sondern verbessert zugleich die Bodenqualität und Bodengesundheit (Tian et al. 2022). Wegen ihrer Bedeutung für das Bodenleben, die Bodenstruktur und die Wasserretentionsfunktion gilt die organische Düngung als wichtigste Maßnahme für die Bodenverbesserung und ist gerade in Regionen mit Trockenstress ein wichtiger Baustein für die Klimaanpassung im Ackerbau (Strauss et al. 2023). Die im Vergleich zum Mineraldünger verzögerte Verfügbarmachung der Nährstoffe kann Nährstoffverluste potenziell verringern, erschwert aber zugleich die bedarfsgerechte zeitliche Optimierung des Dargebots. Das Hauptproblem der kreislauforientierten Nutzung von Wirtschaftsdünger liegt aber nicht auf Betriebs-, sondern auf regionaler Ebene. Die räumliche Entkoppelung der Tier- und Pflanzenproduktion macht die pflanzenbauliche Nutzung von Wirtschaftsdünger aufgrund langer Transportwege unwirtschaftlich (Schießl et al. 2015) und verhindert die Hebung von Synergieeffekten für die Bodengesundheit. National besteht nur eine geringe Lücke zwischen Nährstoffanfall und Nährstoffbedarf mit organischem Dünger, regionale Unterschiede sind aber groß (Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen 2015) und führen in Nährstoffüberschussregionen zu den bekannten negativen Wirkungen auf aquatische und terrestrische Ökosysteme, Geruchsbelästigung und die unkontrollierbare Verbreitung von Keimen aus der Tierhaltung (UBA 2021).

Die Integration von Futterpflanzen in die Fruchtfolge nutzt bei besserer räumlicher Verzahnung der Tier- und Pflanzenproduktion weitere Synergien. Eine diversifizierte Fruchtfolge insbesondere mit erhöhtem Leguminosenanteil, Untersaaten und Zwischenfrüchten verbessert die Bodengesundheit und die Ökosystemleistungen insgesamt (Reckling et al. 2023). Zu den Wirkmechanismen gehören neben einer möglichst permanenten Bodenbedeckung und der damit verbundenen Erosionsminderung und Unkrautunterdrückung (Obrycki and Karlen 2020) die Lockerung des Bodens und die Verbesserung des Bodengefüges auch in tiefen Bodenschichten, womit Wasser und Nährstoffe auch im Unterboden besser erschlossen und im Idealfall der Nährstoffaustrag minimiert werden kann (Kautz et al. 2010). Die vorherrschende räumliche Entkopplung verursacht nicht nur die bekannten Umweltprobleme für Gewässer und Ökosysteme, sondern verhindert Synergieeffekte für Bodengesundheit und Ökosystemleistungen.

3 Vision der Digitalisierung

Digitale Technologien und Verfahren können mittels Sensorik, Robotik, Drohnen und Werkzeugen zur datengesteuerten Entscheidungsfindung die Präzision und Effizienz der Produktion steigern und bei richtiger Steuerung das Potenzial haben, die Kreislaufwirtschaft zu unterstützen und die Agrarsystemtransformation voranzubringen (Finger 2023). Viele der Innovationen sind noch in der Entwicklungsphase, doch sie versprechen, neben einer gesteigerten Ressourceneffizienz auch wichtige Beiträge zur Erhaltung der Biodiversität und der Bodengesundheit, zur Klimawandelanpassung und zum Klimaschutz zu liefern (MacPherson et al. 2022). Trotz der Vielfalt an digitalen Entwicklungen und Anwendungsfeldern schälen sich drei wesentliche Funktionen digitaler Anwendungen heraus: digitales Monitoring, digitales Management und digitale Kommunikation (Abb. 2).



Abb. 2: Funktionen digitaler Technologien in der Landwirtschaft: Monitoring, Management, Kommunikation (MacPherson et al. 2022, angepasst)

Ein digitales Monitoring mittels innerbetrieblicher Daten, Fernerkundungsdaten und deren Verknüpfung verbessert den zielgenauen, bedarfsgerechten und damit ressourceneffizienten Einsatz von Produktionsmitteln. Fern- und Naherkundungstechnologien (Satellitenbilder, Drohnen) können zusammen mit KI eingesetzt werden, um Veränderungen im Mikrobereich bis zu großen geografischen Regionen zu erfassen und mit geophysischen Prozessen in kausale Verbindung zu setzen. Vorhersagen werden dadurch erleichtert und sie vereinfachen zudem evidenzbasierte Entscheidungen. Sensorbasiertes digitales Management umfasst neue Technologien, z.B. die mechanische Unkrautbekämpfung und Präzisionsaussaat bzw. Applikation von Dünger oder Pflanzenschutzmitteln. Innovationen im Bereich der Traktorenwicklung und die Nutzung autonomer, kleinerer und leichter Maschinen sowie von Robotern können z.B. die Bodenverdichtung verringern. Die Einsparung von Arbeitsstunden durch den Einsatz (teil-)automatisierter Geräte ermöglicht die Verkleinerung von Schlägen bzw. deren räumliche Unterteilung in verschiedene Kulturen. Diese räumliche Diversifizierung gilt als wichtige Komponente für den Schutz der Biodiversität (Reckling et al. 2023).

Während digitale Monitoring- und Managementtechnologien längst Einzug in die Praxis gehalten haben, geben Zukunftsvisionen digitaler Landwirtschaft Anlass zu Diskussionen, ob sie überhaupt machbar oder auch nur wünschenswert sind, und wer am Ende profitiert. Auf Betriebsebene sind das z.B. digitale Zwillinge für den gesamten Betrieb, um evidenzbasiert Betriebsabläufe zu optimieren und den Einsatz von Ressourcen zu minimieren. Auf Landschaftsebene werden Monitoringsysteme und Auswertemethoden zur Erfassung von Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen entwickelt. Diese sollen nicht nur die Etablierung intelligenterer, ressourcenschonender Anbauverfahren unterstützen, sondern liefern einen wichtigen Schritt für neue, ergebnisorientierte Agrarförderprogramme im Sinne der Vergütung von Ökosystemleistungen (Basso and Antle 2020). Die Wirkung landwirtschaftlicher Maßnahmen auf Biodiversität, Bodengesundheit und andere Ökosystemleistungen wären direkt messbar und dadurch auch honorierbar. Umweltwirkungen können so besser in politischen Anreizstrukturen berücksichtigt werden. Eine erhöhte gesellschaftliche Akzeptanz der Agrarförderung könnte damit ebenfalls einhergehen.

Den dritten Aspekt der Digitalisierung bilden digitale Kommunikationstechnologien. Sie können z.B. Produzentinnen und Produzenten sowie Konsumentinnen und Konsumenten direkt miteinander verbinden und Lieferketten zugunsten des Gewinnanteils der Produzentinnen und Produzenten verkürzen. Die Verifizierung von z.B. Nachhaltigkeitslabels wird so vereinfacht und stärkt das Vertrauen der Konsumentinnen und Konsumenten (MacPherson et al., 2022). Transparenz und Rückverfolgbarkeit über die Herkunft und Produktionsbedingungen von Produkten werden mithilfe von Radiofrequenz-Identifikation, Distributed-Ledger-Technologien (z.B. Blockchain) und QR-Codes ermöglicht, was auch die Lebensmittelsicherheit erhöhen kann. Für die Förderung der Kreislaufwirtschaft sind ebenfalls digitale Kommunikationsplattformen zwischen Landwirtinnen und Landwirten relevant. So bieten digitale Marktplätze Möglichkeiten zum Austausch von Betriebsmitteln, Maschinen, Dienstleistungen, Nährstoffen wie Wirtschaftsdünger oder Produkten. Ein praktisches Beispiel ist die Website Nährstoffbörse NRW (<https://www.naehrstoffboerse.de>), welche die Vermarktung von Wirtschaftsdünger vorantreibt und damit den Nährstoffkreislauf überbetrieblich schließt.

Auf dem Weg zur digitalen Landwirtschaft müssen allerdings noch deutlich bessere Voraussetzungen und Rahmenbedingungen geschaffen werden. Dazu gehört der Ausbau einer flächendeckenden GPS- und Internetinfrastruktur ebenso wie die Schaffung von Finanzierungsinstrumenten für z.T. hohe Investitionskosten. Der Zugang zu Beratung und Trainings ist insbesondere für kleine oder mittlere Betriebe notwendig. Ebenso wichtig ist die Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für das Eigentum und Management der Daten. Der Erhalt der Datensouveränität wird als maßgebliche Voraussetzung für die Akzeptanz digitaler Lösungen gesehen (MacPherson et al. 2022).

4 Fazit

Ob die Digitalisierung zu einer nachhaltigen, kreislauforientierten Agrarsystemtransformation beiträgt oder lediglich der (ökonomischen) Effizienzsteigerung dient, entscheiden rechtliche und politische Rahmenbedingungen. Nur dann, wenn auch die landwirtschaftlichen Förderstrukturen die Honorierung der mit der Landwirtschaft einhergehenden Ökosystem- und Gemeinwohlleistungen in den Blick nehmen, kann die Digitalisierung einen nachhaltigen Weg unterstützen. Entsprechend zeigen Zukunftsszenarien für die Landwirtschaft in Europa auf, dass ein „Weiter so“ nur tiefer in die Krise führt, während eine Verhaltensänderung auf der Konsumseite und die intelligente Verknüpfung politischer und technologischer Lösungen auf der Produktionsseite auf einen nachhaltigen Weg zurückführen können (Mitter et al. 2020). Dazu ist von allen Seiten Mut für tiefgreifende Veränderungen und die Abkehr von etablierten Verfahren und Verhaltensmustern nötig.

Literatur

- Basso, B.; Antle, J. (2020): Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability* 3(4), pp. 254–256, <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>
- De Boer, I. J., van Ittersum, M. K. (2018): *Circularity in agricultural production*. Wageningen University & Research
- Finger, R. (2023): Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics* 50, pp. 1277–1309
- Foley, J. A.; Ramankutty, N.; Brauman, K. A.; Cassidy, E. S.; Gerber, J. S.; Johnston, M.; Mueller, N. D.; O'Connell, C.; Ray, D. K.; West, P. C.; Balzer, C.; Bennett, E. M.; Carpenter, S. R.; Hill, J.; Monfreda, C.; Polasky, S.; Rockström, J.; Sheehan, J.; Siebert, S.; Zaks, D. P. M. (2011): Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478(7369), pp. 337–342, <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Jurgilevich, A.; Birge, T.; Kentala-Lehtonen, J.; Korhonen-Kurki, K.; Pietikäinen, J.; Saikku, L.; Schösler, H. (2016): Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability* 8(1), 69
- Kautz, T.; Stumm, C.; Kösters, R.; Köpke, U. (2010): Effects of perennial fodder crops on soil structure in agricultural headlands. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173(4), pp. 490–501, <https://doi.org/10.1002/jpln.200900216>
- MacPherson, J.; Voglhuber-Slavinsky, A.; Olbrisch, M.; Schöbel, P.; Dönitz, E.; Mouratiadou, I.; Helming, K. (2022): Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 42(4), 70, <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00792-6>
- Mitter, H.; Techen, A.-K.; Sinabell, F.; Helming, K.; Schmid, E.; Bodirsky, B. L.; Holman, I.; Kok, K.; Lehtonen, H.; Leip, A.; Le Mouél, C.; Mathijs, E.; Mehdi, B.; Mittenzwei, K.; Mora, O.; Øistad, K.; Øygarden, L.; Priess, J. A.; Reidsma, P.; Schönhart, M. et al. (2020): Shared Socio-economic Pathways for European agriculture and food systems: The Eur-Agri-SSPs. *Global environmental change* 65, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102159>
- Obrzycki, J. F.; Karlen, D. L. (2020): Forages for Conservation and Improved Soil Quality. In: K. J. Moore (ed.): *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, pp. 227–247, <https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch12>
- Reckling, M.; Watson, C. A.; Whitbread, A.; Helming, K. (2023): Diversification for sustainable and resilient agricultural landscape systems. *Agronomy for Sustainable Development* 43(4), <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00898-5>

- Ruggeri Laderchi, C.; Lotze-Campen, H.; DeClerck, H.; Bodirsky, B.L.; Collignon, Q.; Crawford, M.S.; Dietz, S.; Fesenfeld, L.; Hunecke, C.; Leip, D.; Lord, S.; Lowder, S.; Nagenborg, S.; Pilditch, T.; Popp, A.; Wedl, I.; Branca, F.; Fan, S.; Fanzo, J.; Ghosh, J.; Harriss-White, B.; Ishii, N.; Kyte, R.; Mathai, W.; Chomba, S.; Nordhagen, S.; Nugent, R.; Swinnen, J.; Torero, M.; Laborde Debouquet, D.; Karfakis, P.; Voegelé, J.; Sethi, G.; Winters, P.; Edenhofer, O.; Kanbur, R.; Songwe, V. (2024): The Economics of the Food System Transformation. Food System Economics Commission (FSEC), Global Policy Report
- Schießl, P.; Krämer, C.; Heißenhuber, A. (2015): Aufbereitung und Transport von Wirtschaftsdüngern. Texte 80/2015, Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt
- Springmann, M.; Clark, M.; Mason-D'Croz, D.; ... Willet, W. (2018): Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, pp. 519–525. <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0594-0>
- Strauss, V.; Paul, C.; Dönmez, C.; Löbmann, M.; Helming, K. (2023): Sustainable soil management measures: a synthesis of stakeholder recommendations. *Agronomy for Sustainable Development* 43(1), 17, <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00864-7>
- Tian, S.; Zhu, B.; Yin, R.; Wang, M.; Jiang, Y.; Zhang, C.; Li, D.; Chen, X.; Kardol, P.; Liu, M. (2022): Organic fertilization promotes crop productivity through changes in soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry* 165, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108533>
- UBA (Hg.) (2021): Daten zur Umwelt. Umweltmonitor 2020, Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt
- Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015): Anwendung von organischen Düngern und organischen Reststoffen in der Landwirtschaft. Standpunkt des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/duengung/OrgDuengung.pdf?__blob=publicationFile&tv=3, Zugriff am 02.02.2024
- van Zanten, H. H.; van Ittersum, M. K.; de Boer, I. J. (2019): The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security* 21, pp. 18–22, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06.003>

Die Rolle der Landnutzungssysteme und Ernährung in einer klimaneutralen EU

AGORA AGRAR

1 Einleitung

Land- und Forstwirtschaft können neben der Produktion von Nahrungsmitteln und Biomasse für die Erzeugung von Materialien und Energie einen großen Beitrag zu unterschiedlichen gesellschaftlichen Zielen, wie dem Schutz des Klimas oder dem Erhalt der Biodiversität leisten. Dafür sind politische Rahmenbedingungen erforderlich, die einen nachhaltigeren Konsum fördern und es den Betrieben ermöglichen, Einkommen aus der Bereitstellung von Gemeinwohlleistungen und den wachsenden Märkten der Bioökonomie zu erwirtschaften.

Agora Agrar entwirft ein Zukunftsszenario für die Rolle der Landnutzungssektoren und Ernährung in einer klimaneutralen EU. Damit möchten wir einen Beitrag zu einer lösungsorientierten Debatte um langfristige politische Gestaltungsoptionen leisten, die die unterschiedlichen gesellschaftlichen Ziele berücksichtigt.

Methodisch haben wir folgende Schritte vorgenommen:

- a) Auswertung wissenschaftlicher Literatur und Expertengespräche, um
 - den heutigen Einfluss von Landnutzung und Ernährung auf gesellschaftlich vereinbarte Nachhaltigkeitsziele (z. B. Klima, biologische Vielfalt, Gesundheit, Tierschutz) herauszuarbeiten,
 - die zukünftige Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse aus Energie, Industrie und Transport abzuschätzen und
 - einen Korridor für nachhaltige und gesunde Ernährungsmuster zu entwerfen.
- b) Entwicklung eines Zukunftsszenarios für die Land- und Forstwirtschaft und den Lebensmittel- und Biomassebedarf für die Bioökonomie.
 - Verwendung eines Sektormodells (CAPRI) für Landwirtschaft und Ernährung, um die Konsistenz unserer Annahmen zu gewährleisten und die Ergebnisse in Bezug auf wirtschaftliche Variablen (z. B. Marktbilanzen) und ökologische Variablen (z. B. die Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen)) aus dem Modell abzuleiten.
 - Einschätzung der Holznachfrage und Reduktion der Holzernte aus dem Wald zum Schutz von Klima und Biodiversität. Holzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen (Kurzumtriebsplantagen und andere Agroforstsysteme) deckt die Differenz.

2 Ökologische Potenziale des Zukunftsszenarios

2.1 Reduktion der THG-Emissionen aus Landwirtschaft und landwirtschaftliche Bodennutzung

Emissionen aus der Landwirtschaft können nicht vollständig vermieden, aber durch eine veränderte Ernährung, neue Technologien und eine effiziente Flächennutzung deutlich verringert werden. In unserem Szenario sinken die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft und der landwirtschaftlichen Bodennutzung in der EU im Vergleich zu heute um etwa 60 Prozent bis zum Jahr 2045. Dieser Rückgang resultiert vor allem aus:

- c) der effizienteren Nutzung von Stickstoff und damit der Reduktion von Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden,
- d) der Reduktion der Tierzahlen und der Anwendung THG-reduzierender Technologien im Bereich der Tierhaltung und
- e) der Wiedervernässung von heute trocken landwirtschaftlich genutzten organischen Böden.

2.2 THG-Bilanz des Waldes

Diese Bilanz ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, die mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder zusammenhängen. Unser Szenario beinhaltet eine im Vergleich zum Jahr 2020 leicht reduzierte Holzernte, um den Kohlenstoffspeicher im Wald sowie die Biodiversität zu erhöhen. Wir gehen davon aus, dass die jährliche Kohlenstoffbindung durch den Wald hierdurch etwa auf dem gegenwärtigen Niveau erhalten bleibt. Die Lücke zwischen steigender Holznachfrage und geringerer Verfügbarkeit aus dem Wald schließen wir über die Produktion von Holz auf landwirtschaftlichen Flächen, um eine Erhöhung der Importe aus Nicht-EU-Ländern zu vermeiden.

2.3 Erhalt und Verbesserung der Biodiversität in der Agrarlandschaft

Für den Schutz der Biodiversität erhöhen wir in unserem Szenario den Anteil halbnatürlicher Landschaftselemente in der Agrarlandschaft. Dazu gehören Gehölzstrukturen wie Hecken oder Baumreihen aber auch extensiv genutztes Grünland oder Blühstreifen. Aufbauend auf der Menge der heute vorhandenen halbnatürlichen Landschaftselemente berechnen wir den Anteil der Ackerfläche, der zusätzlich als Biodiversitätsvorrangflächen benötigt wird. Einen Teil des Aufwuchses der halbnatürlichen Landschaftselemente wird für die Bioökonomie genutzt. Zusätzlich gehen wir von einer Verringerung des Stickstoffbilanzüberschusses und des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln auf etwa die Hälfte aus.

2.4 Flächenbilanz/Flächennutzung

Aufgrund der sinkenden Nachfrage nach Futtermitteln gehen in unserem Szenario die Agrarimporte und damit verbundene Flächennutzung außerhalb der EU zurück. Die EU bleibt Netto-Exporteur von tierischen Produkten und von Getreide, importiert deutlich weniger Ölsaaten für die Tierhaltung und steigert auf einem recht niedrigen Niveau den Import von Leguminosen für den menschlichen Verzehr. Wir gehen in unserem Szenario von einer moderaten Aufforstung aus und von einem Anbau von Gehölzen auf ca. 8 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche.

3 Zentrale Elemente des Zukunftsszenarios

3.1 Ernährung

In unserem Szenario entwerfen wir auf der Basis von Produktgruppen einen Korridor für eine gesunde, vielfältige Ernährung, die zur Erreichung ökologischer und gesundheitlicher Ziele beiträgt. Wir entwerfen keine Ernährungsempfehlungen, sondern entwickeln Annahmen zum durchschnittlichen Konsum von Produktgruppen. Die zukünftigen Konsummuster basieren auf einem deutlichen Anstieg des Verzehrs von Obst, Gemüse und Hülsenfrüchten und einer Reduktion des Konsums tierischer Produkte um etwa die Hälfte. Eine veränderte Ernährung mit einem geringeren Flächenanspruch ist ein zentraler Hebel für eine nachhaltigere Flächennutzung in der EU und Grundvoraussetzung, um Nachhaltigkeit in der EU nicht durch verstärkte Importe zu erkaufen.

3.2 Tierhaltung

Durch die sinkende Nachfrage nach tierischen Produkten gehen die Tierzahlen in unserem Szenario zurück. Geflügel wird aufgrund der relativ guten Futtermittelverwertung und relativ guten Klimabilanz nur leicht reduziert. Für die Rinderhaltung wird der Anteil der grünlandbasierten Fütterung erhöht und die Tierzahlen aufgrund der Bedeutung für den Erhalt des Dauergrünlands weniger reduziert als es aus der Perspektive des Klimaschutzes wünschenswert wäre. Die Produktion von Schweinen geht am deutlichsten zurück. Für die Fütterung werden vermehrt Rest- und Abfallstoffe aus der Ernährungswirtschaft eingesetzt. Insgesamt erhöht sich in unserem Szenario das Tierwohl. Die Tiere haben mehr Platz und Beschäftigungsmöglichkeiten sowie Zugang zu Außenklima. Insgesamt ist der Produktionsrückgang in der EU geringer als der Konsumrückgang. Die Exporte von Schweine- und Geflügelfleisch steigen leicht und die von Milchprodukten deutlich.

3.3 Ackerbau

Um mehr Diversität in der bewirtschafteten Fläche zu erreichen, werden in unserem Szenario in vielen Regionen der EU die durchschnittlichen Schlaggrößen verringert (vor allem durch Streifenanbau) und Fruchtfolgen vielfältiger. Der Stickstoffbilanzüberschuss wird um die Hälfte reduziert. Dies wird durch ein zielorientierteres Management, technische Innovationen sowie eine Verringerung des Einsatzes von organischem und synthetischem Stickstoffdünger erreicht. Bei der Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes gehen wir davon aus, dass mindestens 15 Prozent durch technologischen Fortschritt ohne Ertragseinbußen eingespart werden können. Diese Zahl ist konservativ geschätzt und könnte sich mit entsprechendem technologischem Fortschritt deutlich erhöhen.

3.4 Bioökonomie

Wir gehen in unserem Szenario von einem Anstieg der Nachfrage nach Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung von etwa 20 Prozent gegenüber heute aus. Für Holzbiomasse nehmen wir an, dass die stoffliche Nutzung um fast 70 Prozent steigt, während die energetische Nutzung leicht sinkt. Wir gehen davon aus, dass die Nutzung von Ackerpflanzen zur Produktion von Biogas und Biotreibstoff deutlich sinkt, die Industrie aber mehr Pflanzenöle nachfragt.

4 Politische Gestaltungsoptionen

Langfristige politische Gestaltung ist die Grundvoraussetzung dafür, dass Land- und Forstwirtschaft wettbewerbsfähig bleiben und gleichzeitig einen substanziellen Beitrag zur Erreichung der EU-Nachhaltigkeitsziele leisten können. Unser Szenario basiert auf einem Politikmix, der die unterschiedlichen politischen Ebenen (EU, Mitgliedsstaaten und Regionen) und Handlungsfelder einbezieht. Im Folgenden beschreiben wir beispielhaft Gestaltungsmöglichkeiten auf EU-Ebene.

4.1 Klimapolitik

Die Klimapolitik und damit einhergehend knappere CO₂-Zertifikate im EU-Emissionshandelssystem ETS I und II sind ein wichtiges Steuerungsinstrument, um Anreize für neue Absatzmärkte der Landnutzungssektoren im Bereich Industrie und Energie zu schaffen. Eine Ausdehnung des Emissionshandels auf Landwirtschaft und landwirtschaftliche Bodennutzung würde Anreize innerhalb des Sektors setzen und Finanzierungsmöglichkeiten für eine klimafreundlichere Landwirtschaft schaffen. Die CO₂-Neutralität von Waldholzverbrennung sollte überprüft und die zusätzliche Kohlenstoffspeicherung im Wald honoriert werden.

4.2 Ernährungspolitik

Eine integrierte Ernährungspolitik bezieht unterschiedliche Politikbereiche (Gesundheit, Umwelt, Klima, Soziales, Landwirtschaft etc.) und Politikebenen (EU, Mitgliedstaaten und darunter) ein und legt den politischen Fokus auf die Gestaltung von fairen Ernährungsumgebungen. Dazu gehört ein EU-Rechtsrahmen, der gemeinsame Ziele definiert, den Rahmen für nationale Ernährungsstrategien vorgibt und die Reduktion von Lebensmittelabfällen adressiert.

4.3 Gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP)

Die Mittel der EU-Agrarpolitik sollten stärker auf die Herausforderungen der Landwirtschaft ausgerichtet werden. Wichtige Veränderungen in der Förderperiode ab 2028 sind: die Basisprämie auslaufen zu lassen, die Mittel der GAP zielgerichtet für die Honorierung von Gemeinwohlleistungen einzusetzen und die Verwendung der Mittel im Anspruchsniveau ambitioniert, aber in der Umsetzung flexibel zu gestalten. Diese drei Elemente sind in der derzeitigen Architektur der GAP umsetzbar. Das erlaubt, den politischen Fokus auf das Ambitionsniveau zu legen. Wichtig ist außerdem, dass die GAP auf der Ebene der EU-Mitgliedstaaten so umgesetzt wird, dass die überbetriebliche Koordination auf Landschaftsebene insbesondere für den Biodiversitätsschutz gestärkt wird.

4.4 „EU Rural Deal“

Ausgehend von der „langfristigen Vision für die ländlichen Gebiete“ der EU-Kommission würde ein europäisches Abkommen für den ländlichen Raum, das den Schwerpunkt auf die Ausweitung der Chancen des ländlichen Raums im Zuge des Übergangs zur Klimaneutralität legt, die Akzeptanz der ländlichen Bevölkerung für den EU Green Deal stärken. Der Rural Deal sollte einen Mix aus Maßnahmen zur Förderung zukunftsorientierter ländlicher Wirtschaftskluster, Infrastrukturen und Wertschöpfungsketten beinhalten. Darüber hinaus sollten die Voraussetzungen für eine effiziente Nutzung knapper Landressourcen im Rahmen einer nachhaltigen Bioökonomie geschaffen werden, die widerstandsfähige und produktive Ökosysteme voraussetzt.

Mitwirkende

Caroline Benecke
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Hannover

Dr. Christian Bock
Landwirtschaftliche Rentenbank
Frankfurt am Main

Dr. Christine Chemnitz
Agora Agrar
Berlin

Jaqueline Daniel-Gromke
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Leipzig

Joseph Donauer
Technische Universität München
München

Dr. Harm Drücker
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Oldenburg

Prof. Dr. Thomas Ebertseder
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Michelle Eckhardt
Leibniz-Zentrum Für Agrarlandschaftsforschung
(ZALF) e.V.
Müncheberg

Dr. Veronika Flad
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Freising

apl. Prof. Dr. Eva Gallmann
Universität Hohenheim
Stuttgart

Prof. Dr. Andreas Gattinger
Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Dr. Horst Gömann
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Köln

Dr. Barbara J. Grabkowsky
Universität Vechta
Vechta

Prof. Dr. Eberhard Hartung
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Kiel

Prof. Dr. Katharina Helming
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
(ZALF) e.V.
Müncheberg

Susanne Höcherl
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Freising

Dr. Dieter Horlacher
Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Darmstadt

Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen
Technische Universität München
München

Prof. Dr. Fenja Klevenhusen
Universität Kassel
Witzenhausen

Dr. Peter Kornatz
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Leipzig

Dr. Stefan Kotte
Kotte Landtechnik GmbH & Co. KG
Rieste

Dr. Martin Kunisch
Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Darmstadt

Michael Kutzob
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Freising

Gesa Langenberg
Lampe Agrar – Tierhaltungs KG
Drentwede

Dr. Fabian Lichti
Bayerische Staatsgüter
Poing/Grub

Dr. Frank Lorenz
LUFÄ Nord-West
Oldenburg

Andrea Meyer
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Hannover

Barbara Meyer
Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Darmstadt

Dr. Martin Mittermayer
Technische Universität München
München

Dr. Bettina Mößnang
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Freising

Hilmar Freiherr von Münchhausen
Netzwerk Ackerbau
Warberg

Nora Naumann
Leibniz-Zentrum Für Agrarlandschaftsforschung
(ZALF) e.V.
Müncheberg

Dr. Stefan Neser
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Freising

Bernhard Osterburg
Johann Heinrich von Thünen-Institut
Braunschweig

Aurelia Ostermaier
Technische Universität München
München

Helmut Rampeltshammer
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Freising

Dr. Gerd Reinhold
Jena

Dr. Thorsten Reinsch
Ministerium für Landwirtschaft, ländliche Räume,
Europa und Verbraucherschutz
Kiel

Nadja Rensberg
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Leipzig

Harald Schmid
Technische Universität München
München

Prof. Dr. Stephan Schneider
Hochschule für Wirtschaft und Umwelt
Nürtingen-Geislingen

Dr. Ulrich Schumacher
Bioland e.V.
Bielefeld

Peter Spandau
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Dr. Walter Stinner
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Leipzig

Hans-Jürgen Technow
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Oldenburg

Prof. Dr. Wilhelm Windisch
Technische Universität München
München

