



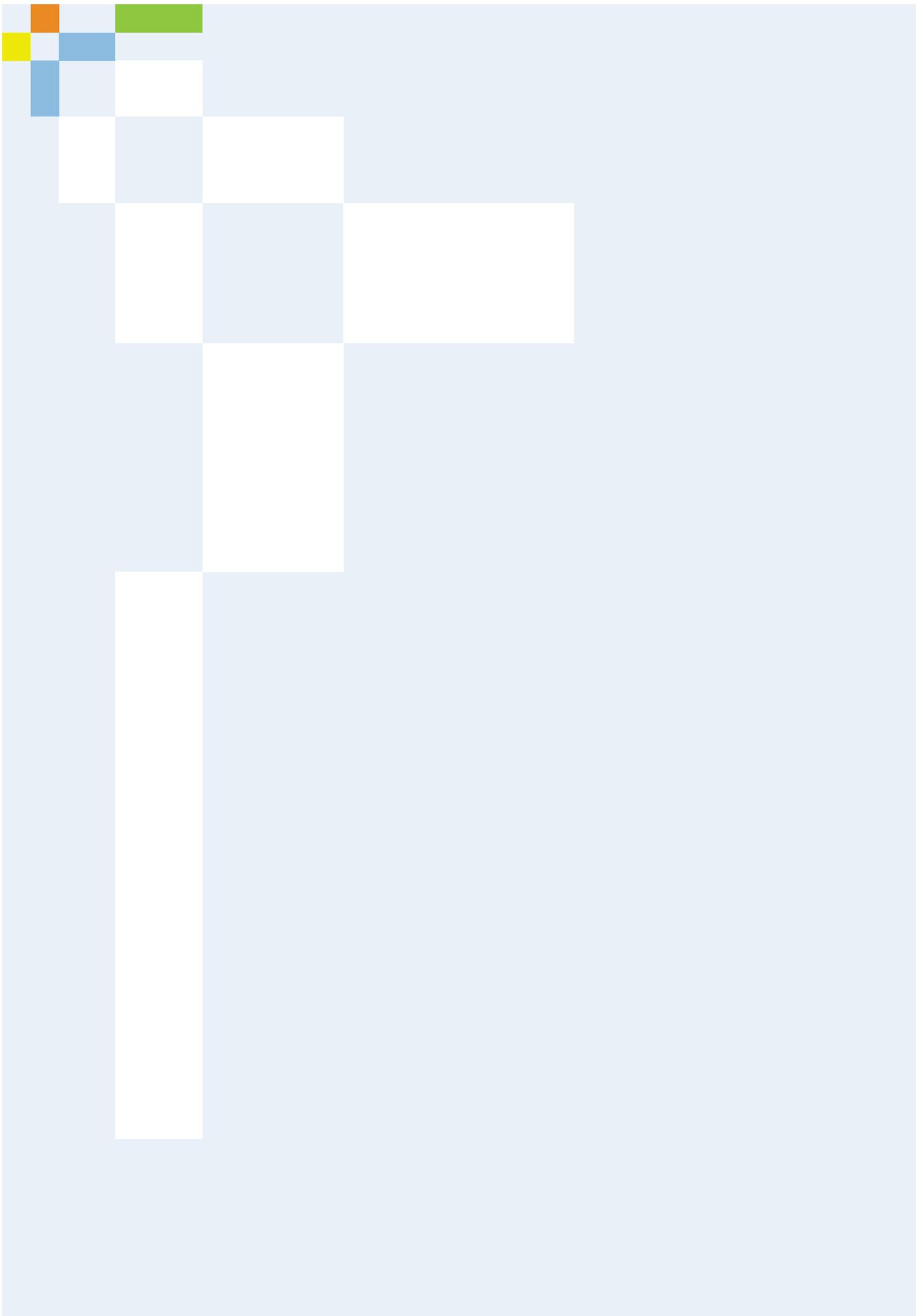
acatech POSITION

Nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft

acatech (Hrsg.)

 **acatech**

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



acatech POSITION

Nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft

acatech (Hrsg.)



Die Reihe acatech POSITION

In dieser Reihe erscheinen Positionen der Akademie zu techniwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Sie enthalten konkrete Handlungsempfehlungen und richten sich an Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die interessierte Öffentlichkeit. Positionen werden von den Mitgliedern der Akademie sowie weiteren Fachleuten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

Inhalt

Zusammenfassung	5
Projekt	8
1 Die gesellschaftliche Bedeutung von Stickstoff	9
2 Landwirtschaft als Teil eines komplexen Systems	11
2.1 Landwirtschaft im Wandel	11
2.2 Landwirtschaft und Umwelt	13
2.3 Landwirtschaft und Politik	13
2.4 Landwirtschaft, Gesellschaft und Konsum	15
3 Stickstoff in Umwelt und Landwirtschaft	17
3.1 Stickstoff in der Umwelt	18
3.2 Stickstoff in der Landwirtschaft	21
3.3 Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft in Deutschland	23
4 Analyse der Handlungsfelder einer nachhaltigen Stickstoffnutzung	26
4.1 Nachhaltige Bewirtschaftungsstrukturen	26
4.1.1 Rahmenbedingungen der Nutztierhaltung	26
4.1.2 Veränderungen im Landbau zur Minderung von Stickstoffüberschüssen	28
4.2 Ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen	29
4.2.1 Internalisierung der externen Kosten von Stickstoffüberschüssen	29
4.2.2 Betriebliches Nährstoffmanagement	34
4.3 Wissensmanagement und nachhaltige Nutzung von Technologien	38
4.3.1 Potenzial der nachhaltigen Nutzung technologischer Innovationen	38
4.3.2 Beratung von Betrieben sowie Aus- und Fortbildung	42
4.4 Nachhaltiger Konsum und informierte Kaufentscheidung	43
4.4.1 Nachhaltiger Konsum und Vermeidung von Lebensmittelabfällen	44
4.4.2 Produktkennzeichnung und informierte Kaufentscheidung	44
4.4.3 Verhaltensbasierte Instrumente	45



5 Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Stickstoffnutzung	47
5.1 Nachhaltige Bewirtschaftungsstrukturen	47
5.1.1 Regionale Konzentration der Tierhaltung verringern	47
5.1.2 Ökologischen Landbau ausweiten, konventionellen Landbau nachhaltiger gestalten	49
5.2 Ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen	49
5.2.1 Stickstoff für einen effizienten Umgang bepreisen	49
5.2.2 Abgaben auf tierische Produkte einführen	50
5.2.3 Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik: Gelder für Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen verwenden	51
5.2.4 Düngeverordnung und Nährstoffbilanzierung schärfen und ausweiten	51
5.3 Wissensmanagement und nachhaltige Nutzung von Technologien	52
5.3.1 Digitales und effizientes Nährstoffmanagement fördern	52
5.3.2 Beratungs- und Ausbildungsinitiativen sowie Wissenstransfer unterstützen	52
5.3.3 Forschung für die zukünftige nachhaltige Landwirtschaft weiterentwickeln	53
5.4 Nachhaltiger Konsum und informierte Kaufentscheidung	54
5.4.1 Konsum von tierischen Produkten und Aufkommen von Lebensmittelabfällen verringern	54
5.4.2 Produktkennzeichnung einführen und verhaltensbasierte Instrumente nutzen	54
Anhang	56
Literatur	57

Zusammenfassung

Wie sollte die Landwirtschaft in Deutschland zukünftig gestaltet werden? Diese Frage wird in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft derzeit intensiv diskutiert. Der nachhaltige Umgang mit Stickstoff ist wesentlicher Bestandteil dieser Diskussion, als Thema in der Öffentlichkeit jedoch bislang wenig präsent.

Stickstoff ist ein essenzieller Nährstoff für alle Organismen und wird in der Landwirtschaft als Bestandteil von Düngemitteln im Pflanzenbau oder von Futtermitteln in der Nutztierhaltung verwendet. Die dabei eingesetzten Mengen werden jedoch nicht vollständig von den Kulturpflanzen und Nutztieren verwertet. So gelangen in Deutschland jährlich circa 1,5 Millionen Tonnen reaktiver Stickstoff – die zuvor zudem ressourcenintensiv erzeugt wurden – aus der Landwirtschaft in die Umwelt. Die Emissionen aus der Landwirtschaft machen etwa zwei Drittel der gesamten Stickstoffemissionen in Deutschland aus, das verbleibende Drittel stammt aus Industrie und Energiewirtschaft, Verkehr sowie Abwasser/Oberflächenabfluss. In Form von Nitrit, Nitrat, Nitrosaminen und als Bestandteil von Feinstaub geht von Stickstoff ein gesundheitliches Risiko für den Menschen aus. Reaktiver Stickstoff, in Form von Ammonium, Ammoniak, Lachgas und weiteren Stickstoffoxiden sowie Harnstoff, trägt wesentlich zum Klimawandel, zum Rückgang der Biodiversität sowie zu schlechterer Boden-, Luft- und Wasserqualität bei. Die Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Umwelt verursachen dadurch gesellschaftliche Kosten in geschätzter Höhe von 30 bis 70 Milliarden Euro pro Jahr.

Trotz dieser seit Jahrzehnten bekannten Problematik und umfangreicher Forschung sind bislang getroffene Maßnahmen nicht durchschlagskräftig, wie die nur langsam zurückgehenden Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft zeigen. Um hier einen wesentlichen Schritt voranzukommen, wirft diese acatech POSITION einen systemischen Blick auf die Stickstoffproblematik. Entlang der Wertschöpfungskette wird das gesamte Landwirtschaftssystem bis hin zu den Konsumentinnen und Konsumenten betrachtet. Dies bildet den Ausgangspunkt für Handlungsempfehlungen, die bei allenfalls leicht geringeren Erträgen auf eine effizientere und nachhaltige Ressourcennutzung und eine Verringerung von Stickstoffeinträgen in die Umwelt abzielen. Bei der Anwendung der Handlungsempfehlungen sind negative Effekte auf die Ernährungssicherheit in Deutschland oder zunehmende Importe als Ausgleich für geringere Ernteerträge nicht zu erwarten. Es werden folgende Maßnahmen für eine nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft in Deutschland vorgeschlagen:

Stickstoffüberschüsse verringern

- In der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung wird für das Jahr 2030 eine Reduzierung des Stickstoffüberschusses von derzeit über 90 auf unter 70 Kilogramm Stickstoff je Hektar landwirtschaftlicher Fläche als Zielwert definiert. Dieser politisch gesetzte Zielwert ist jedoch nicht ausreichend, da auch bei dessen Einhaltung weiterhin etwa 1,2 Millionen Tonnen Stickstoff jährlich in die Umwelt gelangen – mit den oben genannten Folgen für Mensch und Natur. Der bisherige Zielwert des Stickstoffüberschusses von 70 Kilogramm je Hektar landwirtschaftlicher Fläche ist daher zu überprüfen und wissenschaftsbasiert ein neuer, niedrigerer Zielwert abzuleiten. Je nachdem, welche Standortbedingungen vorliegen, insbesondere hinsichtlich Bodeneigenschaften und klimatischer Bedingungen, ist es notwendig, standortspezifisch niedrigere Zielwerte vorzugeben.

Nachhaltige Bewirtschaftungsstrukturen

- Die Konzentration der Tierhaltung muss verringert und Pflanzenbau und Tierhaltung müssen wieder verstärkt räumlich zusammengeführt werden. Diese beiden Maßnahmen verringern den regionalen Gülleanfall deutlich und sind dadurch von zentraler Bedeutung, um geringere Stickstoffeinträge in die Umwelt zu erreichen. Sie zielen auf Regionen mit hoher Tierbesatzdichte ab, die sehr hohe Stickstoffüberschüsse aufweisen, und müssen mit Maßnahmen für mehr Tierwohl verbunden werden. Ebenso wie die Zielgröße für den Stickstoffüberschuss soll die Tierbesatzdichte je nach Standortbedingungen regional ausgelegt werden.
- Konventioneller und ökologischer Landbau müssen Hand in Hand gehen und voneinander lernen. Bedeutend für eine nachhaltige Stickstoffnutzung sind angepasste Bewirtschaftungsmethoden, vor allem artenreiche Fruchtfolgen und bedarfsgerechte Düngung. Eine ökologisch orientierte Pflanzenproduktion weist in der Regel niedrige Stickstoffüberschüsse und eine hohe Stickstoffeffizienz auf. Der konventionelle Landbau ermöglicht hohe Erträge bei vergleichsweise geringerem Flächenbedarf. Ein wesentliches Forschungs- und Entwicklungsziel muss darin bestehen, die Vorteile der beiden Systeme zu kombinieren und die Ertragslücke zu schließen, um einen höheren Flächenbedarf für die Erzeugung von Nahrungsmitteln zu vermeiden.



Ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen

- Die Bepreisung von Stickstoffeinträgen in die Umwelt ist ein zentrales Steuerungsinstrument, das Energie- und Ressourceneffizienz sowie Umweltschutz gleichermaßen fördert. Die aktuelle Preisentwicklung bei Mineraldünger angesichts der stark steigenden Energiepreise und ein damit verbundener Rückgang der eingesetzten Stickstoffmengen zeigt die hohe Wirksamkeit dieses Steuerungsinstruments. Es bietet landwirtschaftlichen Betrieben überdies die Möglichkeit, ihre Strategie zur Minderung von Stickstoffüberschüssen individuell zu wählen. Eine Bepreisung ließe sich mit einer Stickstoffüberschussabgabe umsetzen. Eine Steuer auf Mineraldünger und betriebsexterne Futtermittel als weitere Umsetzungsoption einer Bepreisung ist aktuell weniger zielführend, da sie Betriebsmittel generell betrifft. Darüber hinaus wurde ihre Wirkung als Anreiz für einen effizienteren Einsatz von Düngemitteln durch die voraussichtlich längerfristig hohen Energie- und Düngemittelpreise bereits vorweggenommen. Bei der Ausgestaltung einer Bepreisung gilt es daher, Wirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit und Effekte durch starke Marktpreisschwankungen der Betriebsmittel zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund sollen Einnahmen aus der Bepreisung der Landwirtschaft in Form einer Rückzahlung an alle Betriebe oder einer Förderung weiterer Maßnahmen zur Verringerung der Stickstoffüberschüsse zugutekommen.
- Präzise Vorgaben für die Düngemittelausbringung sowie eine betriebliche Nährstoffbilanzierung für nahezu alle Betriebe sind zentrale Rahmenbedingungen, um das Ziel niedrigerer Stickstoffüberschüsse zu erreichen.
- Gelder müssen schneller und in größerem Umfang als bislang von der Bundesregierung geplant aus der ersten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP), die im Wesentlichen flächengebundene Direktzahlungen umfasst, in die zweite Säule umgewidmet werden. Dadurch wird die in der zweiten Säule befindliche Förderung von Agrarumweltmaßnahmen gestärkt, von denen einige auch zur Verringerung von Stickstoffeinträgen in die Umwelt beitragen. Auf EU-Ebene sollen die flächengebundenen Direktzahlungen schrittweise durch Prämien für Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen abgelöst werden, die gleichzeitig auf geringere Stickstoffemissionen abzielen.
- Maßnahmen zur Verringerung der Konzentration der Tierhaltung müssen durch Auflagen im Bau- und Immissionsschutzrecht flankiert werden. Bereits getätigte Investitionen müssen dabei ebenso berücksichtigt werden wie auch

der Bestandsschutz. Zudem müssen politische Maßnahmen sicherstellen, dass keine europäischen und internationalen Wettbewerbsnachteile entstehen. Damit ist zu vermeiden, dass mehr Waren mit niedrigeren Produktionsstandards, auch von außerhalb der EU, importiert werden.

Wissensmanagement und nachhaltige Nutzung von Technologien

- Ein effizientes Nährstoffmanagement, das Digitalisierung, emissionsarme Ausbringungstechnologien, Precision Farming sowie optimierte Düngemittel nutzt und züchterisch angepasste Sorten einsetzt, fördert den nachhaltigen Düngemiteleinsatz. Hierfür sind grundlegende Infrastrukturen bereitzustellen, nicht zuletzt leistungsfähige Internetverbindungen. Auch Finanzierungsmöglichkeiten für den Einsatz effizienter Düngetechnik und von Precision Farming haben wesentliche Bedeutung.
- Die stickstoffminimierte und bedarfsgerechte Fütterung, Precision Feeding, leistet einen Beitrag zur Verringerung von Stickstoffüberschüssen und Ammoniakemissionen in der Tierhaltung.
- Umfassende Ausbildung sowie betriebsindividuelle Beratung tragen zum angepassten Nährstoffmanagement bei. Sie sind durch staatliche Initiative und Förderung zu verbessern.
- Forschung, die landwirtschaftliche Betriebe als Partner und Demonstrationsbetriebe verstärkt einschließt, bringt die Technologieentwicklung und die breitere Anwendung innovativer Ansätze in der Praxis gleichermaßen voran und bedarf einer verstärkten Förderung. Dabei soll sie wichtige Zukunftsfelder unter anderem der Pflanzenzüchtung, Precision Farming und des Mikrobiom-Managements des Bodens umfassen.

Konsumpolitik

- Ein verringerter Konsum tierischer Produkte trägt zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen bei und ist zudem im Sinne unserer Gesundheit, des Tierwohls sowie des Klimaschutzes erwünscht. Ein verringerter Konsum ist somit gleich mehrfach durch Motivallianzen – also unterschiedliche Motive und Motivkombinationen für ähnliches Ernährungs- und Konsumverhalten – begründbar und zielgruppengenau kommunizierbar.

- Ein möglicher Ansatz ist die sozialpolitisch flankierte Bepreisung von tierischen Produkten, um die gesellschaftlichen Kosten durch Tierhaltung und den Konsum tierischer Produkte besser widerzuspiegeln.
- Ergänzend wirken verhaltenspolitische Instrumente. Die öffentliche Hand hat hierbei eine Vorbildfunktion. Beispielsweise kann ein vegetarisches Standardmenü in Kantinen der öffentlichen Hand den Konsumentinnen und Konsumenten die Wahl fleischarmer und nachhaltig erzeugter Produkte und Speisen erleichtern.
- Lebensmittelabfälle entlang der Wertschöpfungskette müssen vermieden beziehungsweise reduziert werden. Je weniger verschwendet wird, desto weniger Düngemittel werden benötigt, um die Nachfrage nach Lebensmitteln zu decken. Aufklärung und Bildung von Verbraucherinnen und Verbrauchern, eine besser organisierte Nutzung überschüssiger Lebensmittel sowie angepasste Handelsnormen verringern Lebensmittelabfälle. Ziel ist es, Lebensmittel so weit wie möglich in einer Kreislaufwirtschaft zu halten.
- Die Umweltauswirkungen, welche die Erzeugung tierischer und pflanzlicher Produkte mit sich bringt, müssen für die Verbraucherinnen und Verbraucher unmittelbar erkennbar sein. Wer informiert einkaufen und nachhaltig produzierte Waren auswählen soll, benötigt eine einfach nachvollziehbare, einheitliche und unabhängige Kennzeichnung, die über alle wichtigen Umwelteffekte inklusive der Wirkungen von Stickstoff informiert. Hierfür ist zudem der Aufbau von umfassenden Datenbankstrukturen mit Produkt- und Nachhaltigkeitsinformationen sowie entsprechenden öffentlichen Zugangsmöglichkeiten erforderlich.



Projekt

Projektleitung

Prof. Dr. Thomas Scholten, Eberhard Karls Universität Tübingen

Projektgruppe

- Prof. i. R. Dr. Hans-Georg Frede, Justus-Liebig-Universität Gießen
- Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen, Technische Universität München
- Prof. Dr. Dr. h.c. Ingrid Kögel-Knabner, Technische Universität München
- Dr. Stefan Liehr, Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)
- Dr. Stefan Möckel, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Dr. Eberhard Nacke, Claas KGaA mbH
- Dr. Barbara Navé, BASF SE
- Prof. Dr. Lucia Reisch, University of Cambridge
- Prof. Dr. Wolfgang Weisser, Technische Universität München
- Prof. Dr. Sönke Zaehle, Max-Planck-Institut für Biogeochemie Jena
- Prof. Dr. Maria Renate Finckh, Universität Kassel
- Dr. Annette Freibauer, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Prof. Dr. Bernd Hansjürgens, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
- Prof. Dr. Folkhard Isermeyer, Johann Heinrich von Thünen-Institut
- Prof. Dr. Volker Mosbrugger, Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung
- Dipl.-Ing. agr. Bernhard Osterburg, Johann Heinrich von Thünen-Institut
- Dipl.-Ing. agr. Hubertus Paetow, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG)
- Prof. Dr. Matin Qaim, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- Prof. Dr. Peter Strohschneider, Zukunftskommission Landwirtschaft
- Prof. Dr. Friedhelm Taube, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Dr. Christine Tölle-Nolting, Naturschutzbund Deutschland
- Prof. Dr. Wilfried Winiwarter, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)

Koordination, wissenschaftliche Mitarbeit und Ausarbeitung

- Dr. Johannes Simböck, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Elisa Wagner, acatech Geschäftsstelle

Interviews mit Expertinnen und Experten

- Dominik Bellaire, Selbständiger landwirtschaftlicher Betrieb in Neupotz, Rheinland-Pfalz
- Dr. Daniela Büchel, REWE Markt GmbH
- Heinrich von der Decken, freiberuflicher Berater

Gutachterinnen und Gutachter

- Prof. Dr. Jos Lelieveld, Max-Planck-Institut für Chemie Mainz
- Prof. Dr. rer. agr. habil. Annette Prochnow, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie
- Prof. Dr. Achim Spiller, Georg-August-Universität Göttingen
- Prof. Dr. Ramona Teuber, Justus-Liebig-Universität Gießen
- Prof. Dr. Klement Tockner, Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung
- Prof. Dr. Dr. habil. Wilhelm Windisch, Technische Universität München
- Prof. Dr. Nicolaus von Wirén, Leibniz-Institut für Pflanzen-genetik und Kulturpflanzenforschung

Projektlaufzeit

11/2019–03/2023

Diese acatech POSITION wurde im September 2022 durch den acatech Vorstand syndiziert.

1 Die gesellschaftliche Bedeutung von Stickstoff

Im Jahr 1913 wurde die erste Anlage nach dem Haber-Bosch-Verfahren¹ in Betrieb genommen. Mit diesem chemischen Verfahren gelang es, Ammoniak im industriellen Maßstab aus Stickstoff und Wasserstoff² zu synthetisieren: Mit dem synthetisch erzeugten Stickstoffdünger kamen deutlich größere Mengen auf den Markt, womit ein Grundstein für die Revolutionierung der Landwirtschaft gelegt war. Durch die Hochskalierung des Haber-Bosch-Verfahrens wurden Mineraldüngemittel in den folgenden Jahrzehnten in großen Mengen hergestellt und waren damit trotz energieintensiver Herstellung immer kostengünstiger verfügbar. In Verbindung mit der Mechanisierung und Industrialisierung der Landwirtschaft ermöglichte die Verfügbarkeit kostengünstiger Mineraldüngemittel stark steigende Ernteerträge. Dass Stickstoffdüngemittel so preiswert erhältlich sind, hat für die globale Ernährung und Versorgungssicherheit enorme Bedeutung. Im Jahr 1990 lebten 5,3 Milliarden Menschen auf unserem Planeten, im Jahr 2020 lag die Zahl bei 7,8 Milliarden.³ Ernährte ein Landwirt oder eine Landwirtin in Deutschland im Jahr 1960 im Schnitt 17 Menschen, stieg diese Anzahl bis zum Jahr 2019 auf das Achtfache, nämlich 137 Menschen.⁴ Heute könnte – zumindest theoretisch – die gesamte Weltbevölkerung mit der globalen Menge an produzierten Lebensmitteln ernährt werden, wenn keine Lebensmittelabfälle anfallen würden und der Zugang zu Lebensmitteln insbesondere durch ökonomische Bedingungen nicht begrenzt wäre.⁵

Ein zu hoher Einsatz von Stickstoff in der Landwirtschaft ist jedoch mit Nachteilen verbunden: Überschüssiger, nicht in der Biomasse gebundener Stickstoff reagiert in Luft, Wasser und Boden mit anderen Elementen (siehe Kapitel 3, Infokasten Stickstoffkreislauf).⁶ Stickstoffüberschüsse aus der landwirtschaftlichen Nutzung führen zu einer Verunreinigung von Grundwasser mit Nitrat. Eine weitere Stickstoffverbindung, Lachgas, trägt bedeutend zum Klimawandel bei⁷ und verstärkt darüber hinaus den Abbau der stratosphärischen Ozonschicht.⁸ Des Weiteren beeinträchtigen Stickstoffverbindungen in Form von Stickstoffoxiden und Ammoniak die Luftqualität, insbesondere auch durch die Rolle des Ammoniaks bei der Bildung von Feinstaub. Der umfangreiche Eintrag von Stickstoff in die Umwelt verändert zudem die Umweltbedingungen in natürlichen Habitaten und verschiebt dort unter anderem die Konkurrenzverhältnisse zwischen Pflanzen. Aufgrund dieser Effekte treiben Stickstoffeinträge den Verlust von biologischer Vielfalt auf dem Land, aber auch in Flüssen, Seen und Meeren wesentlich an.

Die Landwirtschaft verursacht zwei Drittel der menschengemachten Stickstoffeinträge in die Umwelt in Deutschland. Industrie, Verkehr und private Haushalte sind weitere wesentliche Quellen reaktiven Stickstoffs.⁹ Der Beitrag der Landwirtschaft zu Stickstoffeinträgen in die Umwelt ist seit langer Zeit bekannt und steht im Zentrum umweltpolitischer Diskussionen.^{10, 11} Anfang der neunziger Jahre gingen die heimischen Stickstoffüberschüsse¹² stark zurück, weil die Nutztierbestände in Ostdeutschland reduziert wurden. Nach weiteren leichten Rückgängen verharrten die Stickstoffüberschüsse im letzten Jahrzehnt weitgehend stabil auf hohem Niveau, wozu unter anderem der Ausbau der Biogaserzeugung beitrug.¹³ Im Durchschnitt betrug der Stickstoffüberschuss in der Gesamtstickstoffbilanz von 2015

1 | Benannt nach den Chemikern Fritz Haber und Carl Bosch.

2 | Für die Dekarbonisierung der Düngemittelherstellung spielt klimaneutral erzeugter Wasserstoff eine wichtige Rolle. Für Hintergründe hierzu sei auf die acatech Projekte „HySupply – Deutsch-Australische Machbarkeitsstudie zu Wasserstoff aus erneuerbaren Energien“ (vgl. acatech 2021) „H2-Kompass – Wegweiser für Wasserstoff“ (vgl. acatech 2022) und das Akademienprojekt Energiesysteme der Zukunft (vgl. Leopoldina/acatech/Akademienunion 2022) verwiesen.

3 | Vgl. United Nations Department of Economic and Political Affairs 2021.

4 | Vgl. BZL 2021.

5 | Vgl. WFP 2021.

6 | Vgl. Galloway 1998.

7 | Vgl. Stocker et al. 2013.

8 | Vgl. Kanter et al. 2021.

9 | Vgl. UBA 2020a.

10 | Vgl. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1985.

11 | Vgl. Flaig/Mohr 1996.

12 | Der Stickstoffüberschuss je Hektar (synonym: positiver Stickstoffsaldo je Hektar) wird mit betrieblichen Stoffstrombilanzen, bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche, quantifiziert. Darin wird die Menge des zugeführten Gesamtstickstoffs, etwa aus Düngemitteln und Futtermitteln, gegen die Aufnahme von Stickstoff durch Pflanzen und Tiere beschrieben, siehe Kapitel 3.3 und 4.2.2., Infokasten „Düngebedarfsermittlung und Bilanzierung“.

13 | Insbesondere der Anbau von Mais und anderen Energiepflanzen sowie die Ausbringung der stickstoffhaltigen Gärreste haben seit 2005 stark zugenommen, vgl. Rösemann et al. 2021.



bis 2019 jährlich 92 Kilogramm Stickstoff pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche in Deutschland.¹⁴ Dies entspricht einer Menge von etwa 1,5 Millionen Tonnen Stickstoff, die jedes Jahr in die Umwelt gelangen. Vorgaben von EU-Richtlinien wurden und werden langjährig verfehlt, was unter anderem zur Androhung hoher Strafzahlungen führte (siehe Kapitel 2 und 3). Im Jahr 2018 stellte der Europäische Gerichtshof fest, dass Deutschland gegen die Nitratrichtlinie verstoßen hat, und legte der Bundesrepublik auf, Maßnahmen gegen die Nitratbelastung des Grundwassers zu treffen. An den wesentlichen Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft hat sich auch trotz der im Mai 2020 in Kraft getretenen Novelle der Düngeverordnung wenig geändert.

Wegen dieser beträchtlichen Anteile der Landwirtschaft an den Stickstoffeinträgen und der herausgehobenen Rolle der Landwirtschaft für die Ernährung, aber auch für die Offenhaltung der Kulturlandschaft fokussiert sich die vorliegende acatech POSITION auf den Landwirtschaftssektor. Der Umgang mit den Emissionen anderer Sektoren bedarf ebenfalls einer systemischen Analyse, soll an dieser Stelle bei der Betrachtung landwirtschaftlicher Stickstoffemissionen aber außen vor bleiben. Die vorliegende acatech POSITION zeigt auf, welche Probleme die Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Umwelt mit sich bringen und welche Themenfelder damit verbunden sind. Politische und gesellschaftliche Handlungsempfehlungen geben Hinweise, wie ein zukünftiger Umgang mit Stickstoff in der Landwirtschaft aussehen kann. Eine nachhaltige Stickstoffnutzung muss stickstoffbedingte negative Umwelteffekte verringern und zugleich die Nahrungsmittelsicherheit aufrechterhalten.

Die fehlende Durchschlagskraft der bisher getroffenen Maßnahmen ist die Motivation für die vorliegende acatech POSITION. In ihr wird das Gesamtsystem der Landwirtschaft entlang der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Ökologie und soziale beziehungsweise gesellschaftliche Belange – betrachtet. Die Landwirtschaft befindet sich zudem inmitten einer gesellschaftlichen Debatte, bei der weitere miteinander verbundene Themen wie Klimawandel und Treibhausgasemissionen, Nutzung von Pflanzenschutzmitteln und Biodiversität, gesunde Lebensmittel und Ernährungsstil sowie Tierhaltung und Tierwohl Hauptrollen spielen.

Maßnahmen für den Weg in eine nachhaltige Stickstoffnutzung müssen darauf abzielen, die Stickstoffeinträge in die Umwelt effektiv zu verringern, und dabei weitere Aspekte des Umweltschutzes wie den Erhalt von Biodiversität und Tierwohl berücksichtigen. Zugleich sind ökonomische Zusammenhänge in der Landwirtschaft, gesellschaftliche Ansprüche an die Versorgungssicherheit sowie die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten durch die Konsumentinnen und Konsumenten¹⁵ zu bedenken (siehe Kapitel 2). Stickstoff ist zum einen ein essenzieller Nährstoff, zeigt bei übermäßigem Einsatz aber negative Umweltwirkungen (siehe Kapitel 3). Wird die Landwirtschaft als Teil eines komplexen Systems betrachtet, ergeben sich Strategien zur Senkung von Stickstoffüberschüssen und Emissionen, die in verschiedenen Teilsystemen und Prozessen der Wertschöpfungskette ansetzen (siehe Abbildung 1). Aus der Analyse dieser Strategien (siehe Kapitel 4) lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen ableiten (siehe Kapitel 5).

14 | Vgl. BMEL 2022a.

15 | Die Begriffe „Verbraucherinnen und Verbraucher“ und „Konsumentinnen und Konsumenten“ werden nachfolgend synonym verwendet.

2 Landwirtschaft als Teil eines komplexen Systems

Bevor Lebensmittel auf unserem Teller landen, durchlaufen sie zahlreiche Stationen in Produktion, Verarbeitung und Handel. Die Landwirtschaft spielt hierbei eine zentrale Rolle und bindet zahlreiche zusätzliche Akteure mit ein (siehe Abbildung 1). Deren Einbeziehung ist somit essenziell für eine Analyse der Stickstoffproblematik und bildet den Ausgangspunkt, um effiziente Handlungsempfehlungen zur Verringerung von Stickstoffemissionen ableiten zu können.

2.1 Landwirtschaft im Wandel

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts steigt der Flächenertrag in der Landwirtschaft massiv an. Lag der durchschnittliche Ertrag von Weizen im Jahr 1900 noch bei etwa 1,9 Tonnen je Hektar, kletterte er in den Jahren 2010 bis 2015 auf einen durchschnittlichen Wert von etwa 7,7 Tonnen je Hektar (siehe Abbildung 2).¹⁶ Dazu trugen neben der gesteigerten Stickstoffdüngung unter anderem Züchtung, Meliorationsmaßnahmen,¹⁷ chemische Pflanzenschutzmittel und verbesserte Produktionstechniken durch den Einsatz leistungsfähiger Maschinen und Geräte bei. Zudem beeinflussen die fortschreitende Digitalisierung und Technisierung die landwirtschaftliche Praxis immer stärker, zum Beispiel im Precision Farming (siehe Kapitel 4.3.1). Mit dem rasanten Wandel in der Erzeugung geht zudem eine veränderte wirtschaftliche, gesellschaftliche und politische Bewertung der Landwirtschaft



Abbildung 1: Wertschöpfungskette der Agrarwirtschaft: Die komplette Wertschöpfungskette reicht von den Betriebsmittelherstellern über die Erzeugung von Lebensmitteln und den Handel bis hin zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern. Die Erzeugung von Lebensmitteln bringt ökologische Effekte mit sich und ist in übergreifende ökonomische Rahmenbedingungen und gesellschaftliche Ansprüche eingebettet (Quelle: eigene Darstellung).

16 | Vgl. Deutscher Bauernverband e.V. 2022.

17 | Meliorationsmaßnahmen sind Methoden zum Erhalt, beziehungsweise zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit von landwirtschaftlichen Standorten. Dazu zählen zum Beispiel Be- oder Entwässerung, Eindeichung von Überschwemmungsgebieten und Urbarmachung von Ödland.

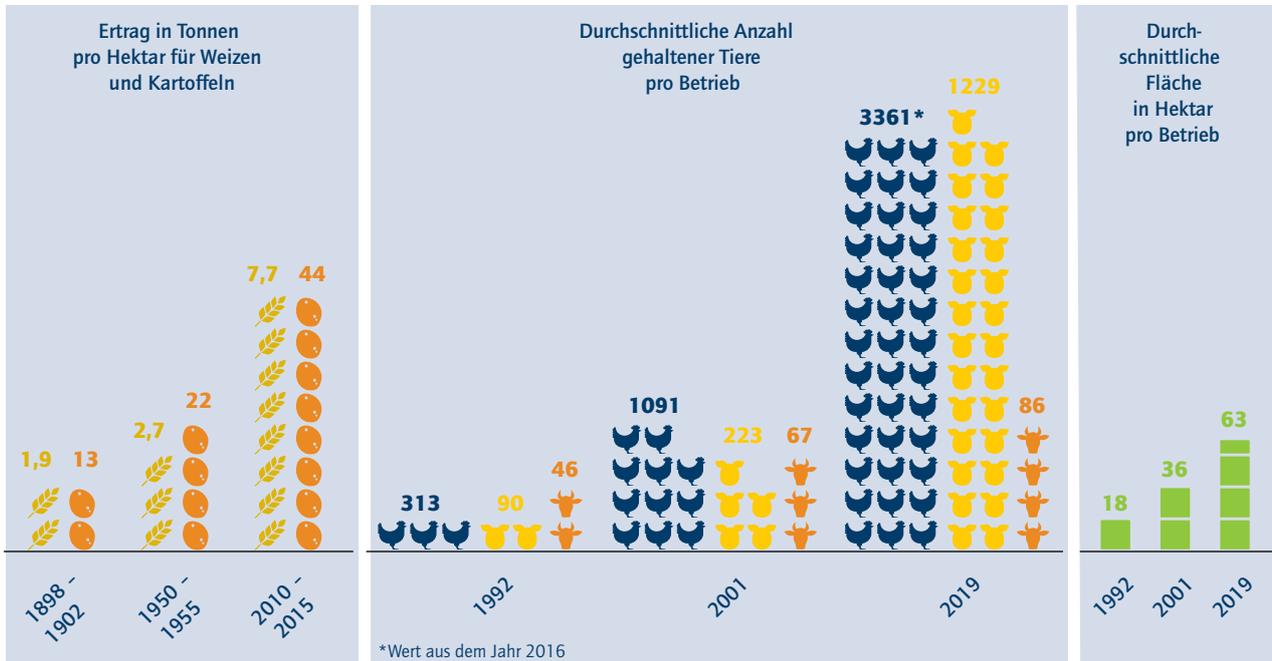


Abbildung 2: Entwicklung der Erträge, der Anzahl gehaltener Tiere und der Fläche pro Betrieb. Je nach Datenlage zeigt die Abbildung die Erträge von Weizen und Kartoffeln in Deutschland (Durchschnittswerte eines Zeitraums von fünf Jahren) seit Beginn des 20. Jahrhunderts (links), die durchschnittliche Größe eines tierhaltenden Betriebs (Mitte) und die durchschnittlich bewirtschaftete Fläche eines Pflanzenbaubetriebs für Einzeljahre (rechts) (Quellen: eigene Darstellung, basierend auf Daten aus – von links nach rechts – Deutscher Bauernverband e.V. 2022, BLE 2020a und Destatis 2021).

einher. Dabei spielt auch deren Einbindung in die globalen Agrarmärkte eine Rolle. Dies schafft zum einen das Spannungsfeld des internationalen Wettbewerbs, ist aber auch für eine sichere Lebensmittelversorgung von wesentlicher Bedeutung.¹⁸

Regional unterschiedliche Boden- und Klimaeigenschaften bewirken verschieden ausgeprägte Standortbedingungen. Daraus ergeben sich natürlicherweise unterschiedliche regionale Produktionsschwerpunkte, zum Beispiel Grünland, Ackerbau, Gemüsebau oder Nutztierhaltung. Die jeweiligen Haupterzeugnisse haben wiederum Rückwirkungen auf den regionalen Stickstoffkreislauf. Viele landwirtschaftliche Betriebe haben sich in den vergangenen Jahrzehnten stark spezialisiert, oft auf eine Produktionsrichtung. Besonders zum Ausdruck kommt dies bei der Konzentration von Nutztierhaltungsbetrieben in bestimmten Regionen (siehe Abbildung 7), die deutliche Folgen für den regionalen Stickstoffhaushalt hat (siehe Kapitel 3.2). Insgesamt sind die Nutztierzahlen in Deutschland hoch. Dadurch kommt der

Erzeugung und dem Import proteinhaltiger Futtermittel große Bedeutung zu: Der heimische Futtermittelanbau nimmt etwas mehr als die Hälfte der landwirtschaftlichen Fläche ein.

Die Anzahl an Nutztieren pro Betrieb ist über die Jahre deutlich gestiegen (siehe Abbildung 2): In der Rinderhaltung lag sie im Jahr 2001 bei durchschnittlich 67, im Jahr 2018 bei 86, in der Schweinehaltung stieg sie im selben Zeitraum von 223 auf 1.229. Im Pflanzenbau sind die Veränderungen der zurückliegenden Jahrzehnte nicht weniger bedeutsam. So ist die Anzahl der Betriebe stark zurückgegangen, während der einzelne Betrieb deutlich größere Flächen bewirtschaftet. Diese Entwicklung wurde und wird angetrieben von der höheren Effizienz einer mechanisierten Landwirtschaft, die die Bearbeitung großer Flächen innerhalb kurzer Zeit ermöglicht. Parallel dazu erhöhte sich im 20. Jahrhundert der Einsatz stickstoffhaltiger Düngemittel; in den letzten Jahrzehnten stagnierte er sowohl in Deutschland¹⁹ als auch weltweit²⁰.

18 | Vgl. acatech 2020.
 19 | Vgl. Statista 2020.
 20 | Vgl. Brightling 2018.

Etwa 90 Prozent der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland werden konventionell bewirtschaftet. Die ökologische Landwirtschaft nahm im Jahr 2021 einen Flächenanteil von 10,8 Prozent aller Landwirtschaftsflächen in Deutschland ein; das entspricht rund 1,8 Millionen Hektar.²¹ Der ökologische Landbau wächst dabei durchaus rasch: Sein Flächenanteil stieg innerhalb von nur 5 Jahren um fast 60 Prozent an. Bei der ökologischen Nutztierhaltung sind die Marktanteile je nach Produkt unterschiedlich und liegen nur bei Eiern sowie Schaf- und Ziegenfleisch oberhalb von 10 Prozent an der Gesamtproduktion.²² In Anbetracht der politischen Ziele, bis zum Jahr 2030 den Flächenanteil der ökologischen Landwirtschaft auf 30 Prozent in Deutschland²³ beziehungsweise 25 Prozent in der EU²⁴ zu steigern, und einer zunehmenden gesellschaftlichen Nachfrage nach umweltverträglich erzeugten Produkten wird der ökologische Landbau in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.^{25, 26}

2.2 Landwirtschaft und Umwelt

Die Landwirtschaft arbeitet im Unterschied zu fast allen anderen Wirtschaftsbereichen direkt in und mit der Umwelt. Die Bewirtschaftung, darunter auch die Düngung, findet in einem offenen System von Atmosphäre, Boden, Pflanze und Grundwasser statt, in dem es zu Umweltwirkungen kommt. Negative Umweltwirkungen der Landwirtschaft verursachen externe Kosten, die nicht in den Preis der Produkte eingehen. Diese Kosten werden allein in Deutschland auf jährlich 90 Milliarden Euro geschätzt.²⁷ Umweltschäden durch Stickstoffverbindungen haben einen bedeutenden Anteil daran – im Jahr 2015 verursachten sie externe Kosten in Höhe von 30 bis 70 Milliarden Euro.^{28, 29} Die gesamten externen Kosten der Landwirtschaft haben verschiedene Ursachen: Methanemissionen durch Rinder und Lachgasemissionen aus Böden und Düngemitteln tragen zum Klimawandel bei. Auch der Rückgang der Biodiversität in den letzten Jahrzehnten

wurde wesentlich durch die Landwirtschaft mitverursacht. Die wichtigsten Gründe hierfür sind die intensive Nutzung landwirtschaftlicher Flächen sowie Pflanzenschutz- und Düngemittel, die in die Umwelt eingetragen werden (siehe Kapitel 3.1).³⁰ Gelangen diese Einsatzstoffe via Wind und Wasser in terrestrische und aquatische Lebensräume, hat dies bedeutende Auswirkungen auch auf nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen. Eine verringerte Aktivität der Bodenlebewesen, Bodenerosion sowie die Belastung von Grundwasser durch Nitrat sind weitere Wirkungen der landwirtschaftlichen Flächennutzung auf die Umwelt, verbunden mit entsprechenden Kosten. Beispielsweise wäre es europaweit volkswirtschaftlich deutlich günstiger, wenn der Agrarsektor den Verpflichtungen zur Luftreinhaltung nachkommt, als die Kosten aus den Folgen der Luftverschmutzung für Mensch und Umwelt zu tragen.^{31, 32} Die von Stickstoffverbindungen wesentlich mitverursachten Effekte sind zugleich die zentralen Aspekte, um die sich die gesellschaftliche Diskussion zur umweltschonenden Landwirtschaft dreht.

2.3 Landwirtschaft und Politik

Die Gestaltung einer nachhaltigen Landwirtschaft ist im Zentrum der Diskussion von Politik und Gesellschaft angekommen. Dies verdeutlicht nicht zuletzt die vom Bundeskanzleramt eingesetzte „Zukunftskommission Landwirtschaft“, die im Sommer 2021 ihre Ergebnisse vorlegte. Durch intensiven Austausch mit Mitgliedern der Zukunftskommission konnten wertvolle Anregungen rückgekoppelt und in die vorliegende acatech POSITION zur Stickstoffproblematik aufgenommen werden. Ein vergleichbarer Austausch erfolgte auch mit Mitgliedern des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung, der sogenannten Borchert-Kommission. Beide Kommissionen bringen zum Ausdruck, dass die Minderung von Umweltwirkungen und die Stärkung des Tierwohls dringlich sind, zugleich aber auch Planungssicherheit vorliegen muss.

21 | Vgl. BÖLW 2022.

22 | Vgl. Schaack et al. 2017.

23 | Vgl. SPD/Bündnis 90/Die Grünen/FDP 2021.

24 | Vgl. Europäische Kommission 2020a.

25 | Vgl. UBA 2021a.

26 | Vgl. acatech 2019.

27 | Vgl. Kurth et al. 2019.

28 | Vgl. UBA 2021b.

29 | Die weite Spanne der Zahlenwerte folgt daraus, dass eine umfassende Bewertung von Umweltkosten nur auf Basis vereinfachter Annahmen erfolgen kann. Zum Verfahren und zu Unsicherheiten in der Bewertung vgl. Brink et al. 2011.

30 | Vgl. Leopoldina/acatech/Akademienunion 2020.

31 | Vgl. Giannakis et al. 2019.

32 | Vgl. Giannadaki et al. 2018.



Entsprechend umfassend sind die Rahmenbedingungen der Landwirtschaft zu betrachten.³³ Darüber hinaus rückt die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft politisch auch im Zusammenhang mit der Erzeugung nachwachsender Rohstoffe und Bioenergie zunehmend in den Fokus, da diese im Rahmen der Bioökonomie beziehungsweise der Energiewende vermehrt für den Ersatz fossiler Ressourcen infrage kommen.

Um Stickstoffeinträge in die Umwelt zu senken, sind politische und rechtliche Maßnahmen – sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene – unverzichtbar. Bislang steuert die Politik auf europäischer Ebene die Landwirtschaft im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) vorrangig mittels Beihilfen, die unter anderem auch an ökologische Auflagen (Cross-Compliance- und Greening-Auflagen) gekoppelt sind. Hinzu kommen vielfältige und anspruchsvolle europäische Regelungen zum Schutz von Gewässern, Habitaten und Arten sowie Luft und Klima, die direkt oder indirekt die nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft betreffen und auf nationaler Ebene vor allem durch ordnungsrechtliche Vorgaben umgesetzt werden. Des Weiteren werden auf europäischer Ebene die Anforderungen an die ökologische Landwirtschaft und die Vermarktung ihrer Produkte europaweit einheitlich durch Verordnungen festgelegt.³⁴

Der Fokus der GAP liegt seit ihrer Etablierung im Jahr 1962 insbesondere darauf, die Bevölkerung ausreichend mit günstigen Lebensmitteln zu versorgen, die Produktivität zu steigern sowie Einkommen in der Landwirtschaft zu sichern.³⁵ Dabei besteht die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) aus zwei „Säulen“: Aus der „ersten Säule“ fließen flächengebundene Direktzahlungen an

die landwirtschaftlichen Betriebe. Im Zuge der zunehmenden gesellschaftlichen Diskussion um die Umweltfolgen der landwirtschaftlichen Produktion erweiterte die EU ihre Agrarpolitik. So wurde die erste Säule um Cross-Compliance- und Greening-Auflagen erweitert,³⁶ die zweite Säule, die Maßnahmen zur Entwicklung des ländlichen Raums umfasst, um die Förderung von Agrarumweltmaßnahmen. Damit folgt die EU-Agrarpolitik dem vorgegebenen Auftrag,³⁷ bei der Festlegung und Durchführung aller EU-Politiken und EU-Maßnahmen die Erfordernisse des Umweltschutzes zu berücksichtigen.

Die im Rahmen der ersten Säule gewährten Beihilfen an landwirtschaftliche Betriebe betragen in Deutschland aktuell rund 4,85 Milliarden Euro jährlich. Diese Mittel stammen zu 100 Prozent aus dem Europäischen Garantiefonds für die Landwirtschaft (EGFL).³⁸ Aus der zweiten Säule stehen rund 1,3 Milliarden Euro an EU-Mitteln zur Verfügung, die mit weiteren nationalen Mitteln kofinanziert werden müssen.³⁹ Auf nationaler Ebene bestehen Freiheiten in der Umsetzung der GAP, zum Beispiel bei der Umschichtung von Mitteln von der ersten auf die zweite Säule, wobei Deutschland diese Möglichkeit bisher nur eingeschränkt nutzt.⁴⁰

Neben der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) haben die Mitgliedstaaten der EU gemeinsam mehrere Richtlinien zum Schutz der Umwelt erlassen. Die Richtlinien zum Schutz von Gewässern, Grundwasserkörpern und Meeren, zum Schutz der Luft und Atmosphäre sowie zum Schutz von wildlebenden Arten und Habitaten aus anderen Richtlinien⁴¹ setzen für die Mitgliedstaaten anspruchsvolle Ziele bezüglich günstiger ökologischer

33 | Die Borchert-Kommission analysierte im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Wege in eine nachhaltige Nutztierhaltung und betonte, dass eine langfristige Finanzierung sichergestellt sein soll. Dazu wurden verschiedene Optionen für den Umbau der Nutztierhaltung vorgeschlagen, vgl. Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020. Diese Optionen umfassen unter anderem verschiedene Finanzierungsmodelle, wie etwa eine erhöhte Mehrwertsteuer auf Tierprodukte, deren Einnahmen in den Umbau der Nutztierhaltung fließen sollten. Es folgte daraufhin eine Machbarkeitsstudie zu rechtlichen Grundlagen dieser Optionen, Karpenstein et al. 2021. Für weitere Details siehe Kapitel 4.2.1 und 4.4. Die Zukunftskommission Landwirtschaft band ebenfalls im Auftrag des BMEL Stakeholder der Landwirtschaft – von landwirtschaftlichen Verbänden bis hin zu NGOs – ein, um ein Gesamtbild für die Zukunft der nachhaltigen Landwirtschaft zu entwickeln. Dies umfasst entsprechend die gesamte Vielfalt der Landwirtschaft und ihre Wechselwirkungen mit Gesellschaft und Umwelt unter Berücksichtigung der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, der gesellschaftlichen/sozialen, ökologischen und ökonomischen Effekte, vgl. Zukunftskommission Landwirtschaft 2021.

34 | Vgl. Verordnung (EU) 2018/848 2022, bis 31.12.2021: Verordnung (EG) 834/2007.

35 | Vgl. AUEV 2012, Art. 39.

36 | Vgl. BMEL 2019a. Diese umfassen unter anderem Mindeststandards für Bodenschutz, Wasserrecht, Umwelt- und Tierschutz sowie Lebens- und Futtermittelsicherheit.

37 | Vgl. AUEV 2012, Art. 11.

38 | Vgl. BLE 2020c.

39 | Vgl. BMEL 2019a.

40 | Vgl. Europäische Kommission 2020b.

41 | Unter anderem vgl. FFH-Richtlinie 1992; vgl. Wasserrahmenrichtlinie 2000; vgl. Vogelschutzrichtlinie 2009.

Erhaltungszustände in Gewässern und Habitaten. Deutschland hat sich zudem im Rahmen der EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie verpflichtet, den ökologischen Zustand der Meere zu verbessern.⁴² So stellten sich in Deutschland in einigen der genannten Bereiche zwar deutliche Verbesserungen ein, etwa bei der Nitratkonzentration in Fließgewässern und bei der Gesamtstickstoffkonzentration in den Zuflüssen von Nord- und Ostsee; insgesamt wurden die Ziele aber bisher in keinem der Bereiche erreicht (siehe Kapitel 3.1), obschon sie bereits seit Jahrzehnten verpflichtend bestehen. Viele Ziele und Vorgaben der Richtlinien sind direkt oder indirekt relevant für den Eintrag reaktiven Stickstoffs in die Umwelt und damit für den Stickstoffeinsatz in der Landwirtschaft.⁴³

Die EU-Nitratrichtlinie⁴⁴ hat in letzter Zeit aufgrund des Vertragsverletzungsverfahrens und der Verurteilung Deutschlands eine besondere Bedeutung erfahren. Im Jahr 2017 wurde das nationale Düngerecht aufgrund des zuvor angestrebten und weiterhin laufenden Vertragsverletzungsverfahrens bezüglich der EU-Nitratrichtlinie und der Verurteilung Deutschlands mehrmals novelliert. Im Juli 2022 stimmte der Bundesrat dem Entwurf des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) für eine neue Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV Gebietsausweisung – AVV GeA) zu. Das Nitratmessnetz soll laut der Verordnung verdichtet werden.⁴⁵ Dabei hat man insbesondere Vorgaben im Düngegesetz und in der Düngeverordnung (DüV) verschärft und die Stoffstrombilanzverordnung erlassen. Um die EU-Nitratrichtlinie einzuhalten und landwirtschaftliche Stickstoffeinträge in die Umwelt zu begrenzen, setzt Deutschland somit vor allem auf ordnungspolitische Instrumente, da freiwillige Maßnahmen nicht zum gewünschten Erfolg geführt haben.

Landwirtschaftliche Betriebe müssen auch die Regelungen des Bundes oder der Länder zum Schutz des Wasser- und Naturhaushalts beachten, wenn sie Düngemittel ausbringen.⁴⁶ Bei der Nutztierhaltung sind darüber hinaus die Vorgaben des

Bundesimmissionsschutzrechts sowie des Baugesetzbuchs des Bundes relevant. Dort finden sich unter anderem Vorgaben zu Größe, Lage und Emissionen von Stallanlagen. Im Umgang mit dem Boden gelten die unverbindlichen Regeln der guten landwirtschaftlichen Praxis.⁴⁷

2.4 Landwirtschaft, Gesellschaft und Konsum

Neben den bestehenden Produktionsbedingungen bestimmen ökonomische Rahmenbedingungen und Konsumgewohnheiten der Gesellschaft maßgeblich die Möglichkeiten auf dem Weg in eine nachhaltige Stickstoffnutzung. Zugleich sind für landwirtschaftliche Betriebe ein gesichertes Einkommen sowie eine damit einhergehende Planungssicherheit – beispielsweise für die Sicherung langfristiger Investitionen – von zentraler Bedeutung. Die Produktion nachhaltiger Lebensmittel muss für Erzeugerbetriebe somit wirtschaftlich sein, und die Produkte müssen abgesetzt werden können. Dies setzt Nachfrage sowie den Willen und die Möglichkeit zum Kauf der Produkte voraus. Während der Handel einerseits auf das Nachfrageverhalten der Konsumentinnen und Konsumenten reagiert und diese Nachfrage über Vermarkter bis hin zu Erzeugern weiterleitet, hat er andererseits maßgeblichen Einfluss auf das Verbraucherverhalten – beispielsweise durch Preispolitik sowie Produktbewerbung und Platzierung.

In Deutschland ist die Nachfrage nach pflanzlichen Alternativen für Fleisch- und Milchwaren in den letzten Jahren deutlich gestiegen, da sich die Konsumentinnen und Konsumenten verstärkt mit Fragen des Tierwohls, der Klimabilanz von Fleisch und Milch, nachhaltiger Produktion, gesunder Ernährung oder allgemein neuen Produkten auseinandersetzen.⁴⁸ Parallel dazu nahm im Zeitraum der Jahre 2000 und 2021 der Pro-Kopf-Verbrauch von Frischmilcherzeugnissen zwar ab, der Verbrauch von Käse jedoch

42 | Sowohl bei den Nordseerainern (OSPAR Commission) als auch bei den Ostseerainern (Helsinki Commission) steht eine Reduktion der Stickstoffeinträge im Zentrum der Bemühungen für eine bessere Umweltqualität der Meere.

43 | Vgl. Möckel/Wolf 2020.

44 | Vgl. Nitratrichtlinie 1991.

45 | Vgl. BMEL 2022b.

46 | Unter anderem vgl. BNatSchG 2009, § 34 ; vgl. WHG 2020, § 38a.

47 | Vgl. BBodSchG 1998, § 17.

48 | Vgl. BMEL 2021a.



zu.^{49,50} Der Pro-Kopf-Verbrauch von Fleischprodukten ging im selben Zeitraum um zwölf Prozent von 91,5 auf 81,7 Kilogramm zurück.⁵¹ Zeitgleich entwickelte sich eine stärkere Exportorientierung, vor allem bei Schweinefleisch und Geflügel.⁵² Dies führte dazu, dass nach einem Rückgang Anfang der 2000er Jahre die Nutztierhaltung in Deutschland in den letzten Jahren kaum gesunken ist. Zugleich geben in Umfragen zwar 52 Prozent der Deutschen an, bei ihrem Kauf von Lebensmitteln auf Nachhaltigkeit zu achten, der Preis bleibt allerdings der wichtigste Einflussfaktor bei der Kaufentscheidung.^{53,54}

Auch die Reduzierung von Lebensmittelabfällen trägt indirekt dazu bei, Stickstoffeinträge in die Umwelt einzusparen. Lebensmittelverluste entstehen bei der Ernte, dem Transport, der Lagerung und Verarbeitung sowie beim Konsum. Laut dem Food Waste Index Report der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2021 fielen 2019 weltweit rund 931 Millionen Tonnen Lebensmittelabfälle an, 61 Prozent davon in privaten Haushalten.⁵⁵ In Deutschland

ergibt sich ein ähnliches Bild: Hier sind private Haushalte mit 55 Prozent für die meisten Lebensmittelabfälle verantwortlich, während der Anteil an entsorgten Lebensmitteln in der Lebensmittelverarbeitung (15 Prozent), im Außer-Haus-Verzehr (13 Prozent), in der Landwirtschaft (11 Prozent) und im Handel (4 Prozent) deutlich geringer ausfällt.⁵⁶

Nicht zuletzt hat das gesellschaftliche Bild von der Landwirtschaft einen großen Einfluss auf deren Weiterentwicklung. So herrscht eine teilweise kritische Sicht auf die Landwirtschaft, vor allem auf deren Umweltauswirkungen und hochautomatisierte Produktionsverfahren. Zudem ist in weiten Teilen der Bevölkerung unbekannt, wie die tatsächliche Realität der landwirtschaftlichen Betriebe aussieht.^{57,58} Infolgedessen betrachten viele eine bäuerliche, kleinstrukturierte Landwirtschaft als ideal,⁵⁹ obgleich dies nur wenig über die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung und ökonomische Zusammenhänge in der Landwirtschaft aussagt.

49 | In absoluten Zahlen ging der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch an Frischmilcherzeugnissen im genannten Zeitraum von 93,7 auf 84,2 Kilogramm zurück. Der Pro-Kopf-Verbrauch an Käse nahm von 21,2 auf 25,3 Kilogramm zu. Im Vergleich dieser Zahlen ist zu berücksichtigen, dass in die Herstellung eines Kilogramms Käse mehr Milch eingeht als bei vielen Frischmilcherzeugnissen.

50 | Vgl. BLE 2022.

51 | Vgl. BMEL 2022c. Der menschliche Verzehr ging im oben genannten Zeitraum von 61,5 auf 55,0 Kilogramm pro Kopf zurück. Der menschliche Verzehr wird anhand einer Schätzung beziffert, die unter anderem das Schlachtgewicht ohne Knochen, Futter und industrielle Verluste heranzieht. Der Verbrauch hingegen wird über die Summe von Produktion und Importen abzüglich der Exporte berechnet.

52 | Vgl. Thünen-Institut 2022.

53 | Vgl. Ernst & Young GmbH 2020a.

54 | Vgl. Ernst & Young GmbH 2020b.

55 | Vgl. United Nations Environment Programme 2021.

56 | Vgl. Universität Stuttgart 2019.

57 | Vgl. Zander et al. 2013.

58 | Vgl. Kantar Emnid 2017.

59 | Vgl. Zander et al. 2013.

3 Stickstoff in Umwelt und Landwirtschaft

Stickstoff ist ein notwendiger Nährstoff im Stoffwechsel aller Lebewesen und ein wesentlicher Faktor in einer kontinuierlich ertragreichen Landwirtschaft. Rund die Hälfte des in der Landwirtschaft in Deutschland eingesetzten Stickstoffs verbleibt in

der Umwelt⁶⁰ – mit erheblichen Auswirkungen auf Mensch und Natur. Während vor allem die Diskussion um Nitrat im Grundwasser viel Raum in der öffentlichen Diskussion einnimmt, ist die erhebliche und direkte Wirkung von reaktivem Stickstoff auf die Biodiversität und als Treibhausgas oft weniger präsent. Die verschiedenen Stickstoffverbindungen in Boden, Wasser und Atmosphäre sind dabei mobil. Wie sich Stickstoffemissionen in der Umwelt verteilen, lässt sich anhand des Stickstoffkreislaufs zeigen (siehe Infokasten sowie Abbildung 3).

Der Stickstoffkreislauf

Im Stoffwechsel aller Lebewesen ist Stickstoff als Bestandteil von Nuklein- und Aminosäuren vorhanden. Diese sind ihrerseits Bausteine der DNA beziehungsweise von Proteinen. Stickstoff wird dabei nicht verbraucht, sondern im Zuge natürlicher Prozesse umgewandelt und in Stoffkreisläufen rezykliert. Dies bedeutet beispielsweise, dass im Boden vorkommender Stickstoff von Pflanzen aufgenommen wird, die wiederum Tieren als Nahrung dienen. Ein Teil davon wird mit Exkrementen ausgeschieden und gelangt zurück in den Boden, sodass ein neuer Zyklus beginnen kann.

An solchen Zyklen ist nur sogenannter reaktiver Stickstoff beteiligt, der natürlicherweise oder durch menschengemachte Emissionen in der Umwelt vorkommt. Im Unterschied dazu ist der elementare Stickstoff (N_2) in der Atmosphäre nicht reaktiv, da er nur schwerlich Verbindungen mit anderen Elementen eingeht. Reaktiver Stickstoff kommt in Form unterschiedlicher Moleküle vor: Die Gase Ammoniak (NH_3), Lachgas (N_2O) und weitere Stickoxide (NO_x) sind in der Atmosphäre zu finden, in Böden und Gewässern kommen Ammonium (NH_4^+), Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-) vor. Reaktiver Stickstoff entsteht in der belebten Natur über mikrobielle Prozesse aus Luftstickstoff im sogenannten Prozess der Stickstofffixierung. Er entsteht natürlicherweise auch bei Blitzschlägen und Bränden.

Hinzu kommen menschengemachte Einträge reaktiven mineralischen Stickstoffs, die aus dem Haber-Bosch-Verfahren

stammen. Diese machten in Deutschland in den Jahren 2012 und 2013 73 Prozent des Eintrags von reaktivem Stickstoff in die Natur aus. Diese Stickstoffmengen haben sich seitdem nicht wesentlich verringert⁶¹ und können in dieser Menge auch nicht mittels natürlicher Mechanismen abgebaut werden.⁶² Reaktiver Stickstoff reichert sich somit kontinuierlich in unserer Umwelt an – mit entsprechenden Folgen (siehe Kapitel 3.1). Reaktiver Stickstoff wird im Boden von Mikroorganismen durch Oxidations- und Reduktionsprozesse ständig umgewandelt. Der mengenmäßig wichtigste Prozess ist die Mineralisierung. Dabei wird reaktiver Stickstoff als Bestandteil der organischen Substanz, zum Beispiel Wirtschaftsdünger und organischer Bodensubstanz, zu Ammonium und Nitrat umgesetzt. Zudem wird Stickstoff durch biologische Vorgänge aus Böden in die Atmosphäre freigesetzt. Dies geschieht in Form von Lachgas, Stickoxiden oder elementarem Stickstoff sowie bei der Nutztierhaltung vor allem in Form von Ammoniak. Diese Verbindungen werden ebenso wie andere Emissionen wiederum über Wind und Wasser auf andere Flächen getragen und gehen als sogenannte Deposition in Bilanzierungen ein.

Sobald reaktiver Stickstoff in die Umwelt gelangt ist, verteilt er sich über Atmosphäre, Böden und Gewässer und ist kaum mehr zurückzuholen. Seine Mobilität und seine Wirkungen in Atmosphäre, Gewässern und Böden sowie der belebten Natur werden in der sogenannten Stickstoffkaskade zusammengeführt (siehe Abbildung 3).⁶³

60 | Vgl. Möckel/Wolf 2020.

61 | Vgl. UBA 2015.

62 | Vgl. Galloway 1998.

63 | Vgl. Galloway et al. 2003.

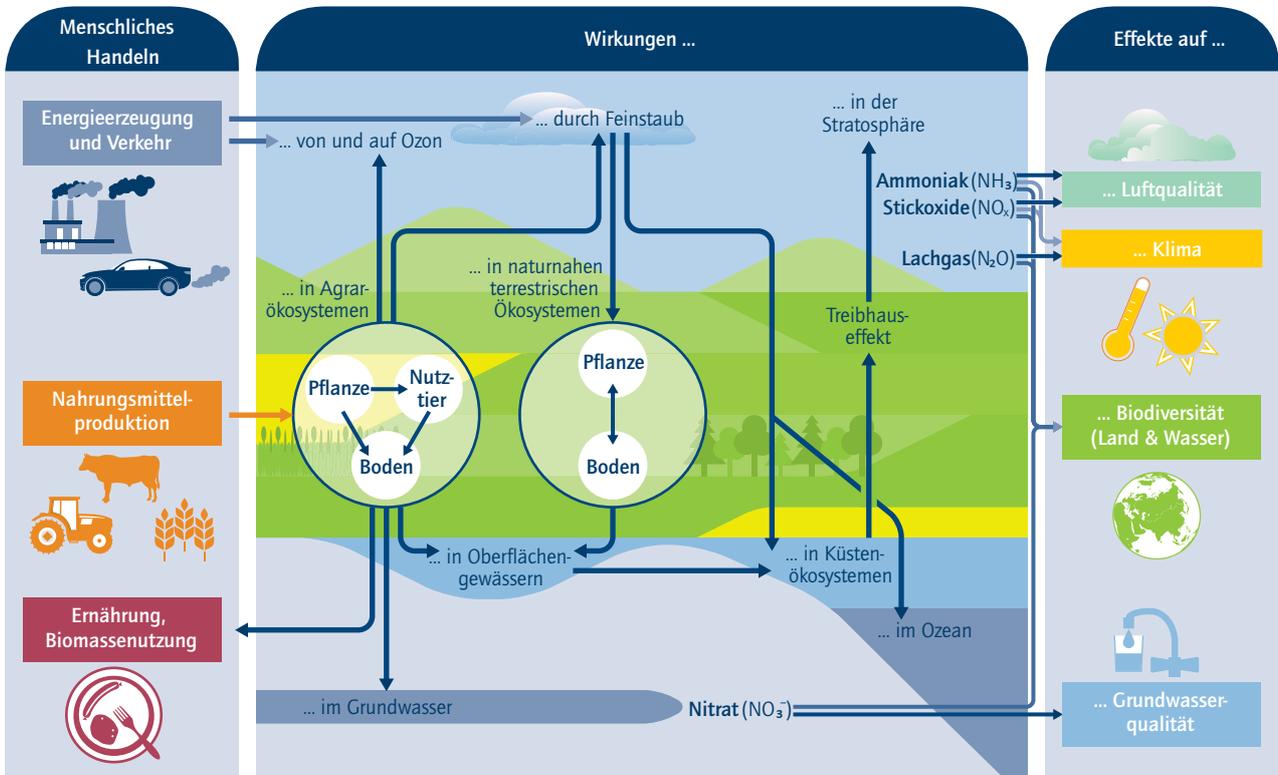


Abbildung 3: Die Stickstoffkaskade: Reaktiver Stickstoff ist zwischen Atmosphäre, Gewässern und dem Untergrund mobil und hat dort mannigfaltige Wirkungen auf Ökosysteme (Quelle: verändert nach UBA 2015a und Galloway et al. 2003).

3.1 Stickstoff in der Umwelt

In Deutschland ist die Landwirtschaft mit einem Anteil von 63 Prozent der Hauptverursacher von Stickstoffemissionen, gefolgt von Industrie und Energiewirtschaft (15 Prozent), Verkehr (13 Prozent) und Abwasser/Oberflächenabfluss (9 Prozent).⁶⁴ Dabei macht Ammoniak (NH₃) den mengenmäßig größten Anteil aus, aber auch Lachgas (N₂O) und Stickoxid (NO_x)-Emissionen aus der Landwirtschaft sind bedeutend (siehe Abbildung 4).

Hierbei ist anzumerken, dass Gasemissionen aus Böden nicht durch Messnetze erfasst werden, sondern Emissionsfaktoren zur Näherung benutzt werden, was naturgemäß gewisse Unsicherheiten im Zahlenwerk mit sich bringt. Auf Basis der weiteren Erforschung der Vielfalt und Komplexität der Wechselwirkungen in Böden werden die Emissionsfaktoren fortschreitend angepasst. Dies wirkt sich mitunter deutlich auf die Emissionsmengen aus, ändert aber nichts an der Größenordnung und bedeutenden Wirkung der Emissionen.⁶⁵

64 | Vgl. UBA 2015a.

65 | Zum Beispiel wurde der Emissionsfaktor für Lachgas im deutschen Emissionsinventar mit dem Nationalen Inventarbericht 2022 regional entsprechend der Bodeneigenschaften angepasst. Er fällt im Durchschnitt niedriger aus als der bislang einheitlich zugrunde gelegte IPCC-Standardwert, sodass N₂O-Emissionen deutlich niedriger mit rund 22 statt bisher rund 28 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent berechnet werden, vgl. Thünen-Institut 2021; vgl. Mathivanan et al. 2021.

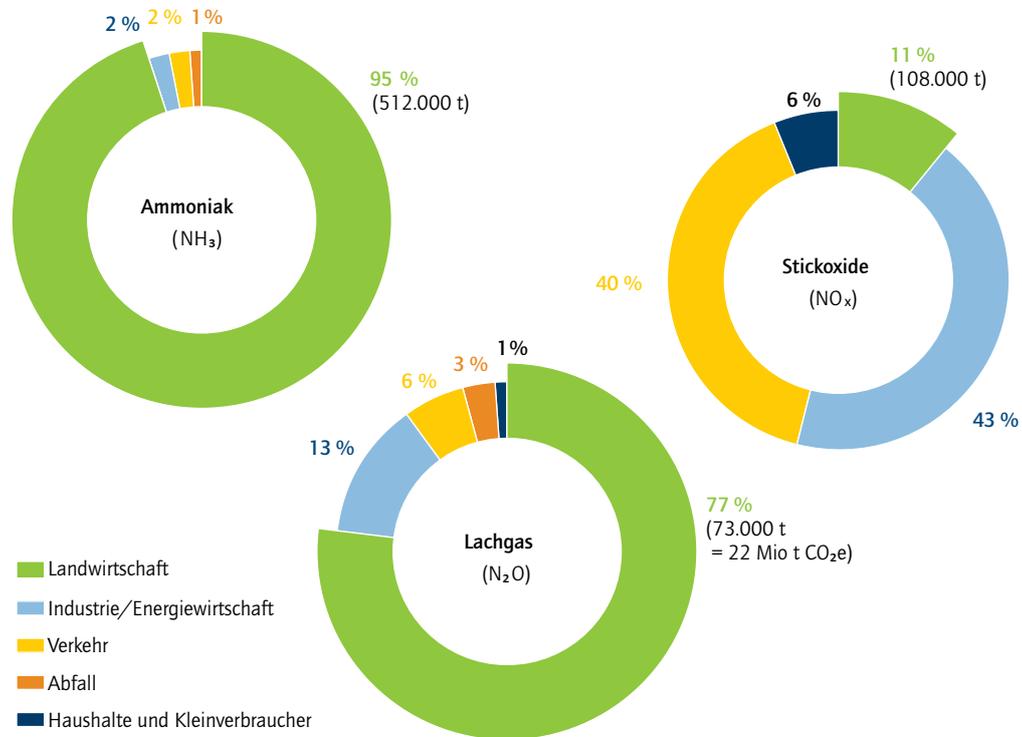


Abbildung 4: Quellen der Emissionen unterschiedlicher gasförmiger Stickstoffverbindungen (Jahr 2018; N₂O: 2019) und absolute Zahlen der landwirtschaftlichen Emissionen (Quelle: eigene Darstellung auf Basis UBA 2022a und UBA 2022b)

Lachgas (N₂O) entsteht in erheblichen Mengen bei der mikrobiellen Umsetzung stickstoffhaltiger mineralischer und organischer Düngemittel im Boden⁶⁶ (siehe Stickstoffkreislauf) und hat in Deutschland mit rund 22 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten einen wesentlichen Anteil an den Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft.⁶⁷ Eine Verringerung von N₂O-Emissionen stellt je nach Umweltbedingungen einen bis zu zweifach größeren Hebel für die Treibhausgasbilanz der Landwirtschaft dar als die Speicherung von Kohlenstoff in Böden.⁶⁸ Zudem treibt Lachgas, wenn es in höhere Schichten der Atmosphäre gelangt, den Abbau der Ozonschicht voran.⁶⁹ Die UV-Strahlung der Sonne zersetzt das N₂O langsam, sodass Abbauprodukte das Ozon

angreifen können. Während die Emission von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) in den letzten Jahrzehnten abgenommen hat, findet sich deutlich mehr langlebiges N₂O in der Atmosphäre. Dieses ist zur Hauptquelle des vom Menschen verursachten Ozonabbaus in der Stratosphäre und der jährlichen Ausbildung des Ozonlochs geworden.⁷⁰

Neben Lachgas haben weitere gasförmige Stickstoffverbindungen, Stickoxide (NO_x) und Ammoniak, (NH₃) negative Auswirkungen im Kontext von Luftverschmutzung.⁷¹ In Verbindung mit anderen Verunreinigungen der Atmosphäre kann Ammoniak zum Wachstum von Feinstaubpartikeln beitragen.^{72, 73} Feinstaub

66 | Vgl. Bremner 1997.

67 | Vgl. UBA 2022a.

68 | Vgl. Lawrence et al. 2021.

69 | Vgl. Kanter et al. 2021.

70 | Vgl. Ravishankara et al. 2009.

71 | Vgl. Behera et al. 2013.

72 | Vgl. Renard et al. 2004.

73 | Vgl. Wang et al. 2020.



kann in den Atemwegen zu Reizungen des Gewebes führen^{74, 75}. Bei langfristig hoher Belastung kann dies unter anderem chronische Erkrankungen der Atemwege zur Folge haben.⁷⁶ Aufgrund dieser und weiterer Wirkungen etwa auf das Herz-Kreislauf-System steht eine hohe Feinstaubbelastung mit einer erhöhten Mortalität in Zusammenhang.⁷⁷ Insgesamt gehört die Luftverschmutzung neben Bluthochdruck, Diabetes und Tabakrauchen zu den führenden Gesundheitsrisikofaktoren.⁷⁸

Neben der Luft sind auch Boden und Trinkwasser lebenswichtige Allgemeingüter. Nitrat (NO_3) gelangt durch Auswaschung aus dem Oberboden in tiefere Bodenbereiche. Der Transport von der Erdoberfläche bis in Grundwasservorkommen kann dabei je nach Bodenart und -mächtigkeit Jahre bis Jahrzehnte dauern,⁷⁹ sodass sich Änderungen von Nitratreinträgen in den Boden stets verzögert zeigen.⁸⁰ Sowohl die im EU-Nitratmessnetz als auch im Messnetz der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland erhobenen Daten zeigen, dass im vergangenen Jahrzehnt bei rund einem Viertel der Messstellen des Meldemessnetzes der EU der Grenzwert von 50 Milligramm Nitrat pro Liter überschritten wurde, ab dem die Trinkwasserqualität als beeinträchtigt gilt.^{81, 82} Die Datensätze des EU-Nitratmessnetzes zeigen, dass dieser Anteil der betroffenen Messstellen sich im vergangenen Jahrzehnt nur unwesentlich verringert hat. Der Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft ging in diesem Zeitraum nur geringfügig zurück⁸³ (Kapitel 3.3). Es ist daher nicht zu erwarten, dass ein zeitlich verzögerter Transport von Nitrat in Böden an sich eine wesentliche Besserung der Nitratmesswerte im Grundwasser mit sich bringen kann, solange die Eintragsmenge in den Boden nur geringfügige Änderungen erfährt.

Die Diskussion um repräsentative Netzwerke zur Messung der regionalen Verteilung der Nitratbelastung innerhalb von Bundesländern wird derzeit kontrovers geführt.⁸⁴ Ausbau und Vernetzung ausreichend repräsentativer Messnetze sind Voraussetzung,

um auch kleinräumige und regionale Differenzen abbilden zu können. Im Hinblick auf hohe Nitratkonzentrationen ist hier besonders der empirische Zusammenhang zwischen Nitratkonzentrationen im Grundwasser und Bilanzüberschüssen zu nennen, der von Region zu Region aufgrund unterschiedlicher Witterungs- und Bodenverhältnisse deutliche Unterschiede aufweisen kann (siehe auch Abbildung 7). Solche Unsicherheiten stellen jedoch die vorhandene Nitratbelastung und – angesichts hoher Stickstoffüberschüsse – den Einfluss der Landwirtschaft nicht generell in Frage. Es ist zudem zu betonen, dass die Verurteilung des Europäischen Gerichtshofs nicht nur auf den Messnetzergebnissen zur Nitratkonzentration, sondern auch auf der Analyse des rechtlichen Rahmens in Deutschlands basierte.

Der Mensch nimmt Nitrat über den Verzehr von Frischgemüse, Trinkwasser, Getreide und Obst auf. Das Nitrat kann dabei indirekt gesundheitsschädlich wirken. Aus dem weitgehend unbedenklichen Nitrat kann im menschlichen Körper Nitrit entstehen. Nitrit ist reaktiver als Nitrat und kann insbesondere bei Säuglingen unter drei Monaten dazu beitragen, dass deutlich weniger Sauerstoff ins Blut aufgenommen wird. Außerdem werden im Verdauungstrakt aus Nitrit entstehende Nitrosamine als krebserzeugend eingestuft. Eine langfristige Aufnahme erhöhter Mengen an Nitrat wird deswegen als problematisch bewertet. Laut World Health Organization (WHO) ist eine tägliche Dosis von 3,7 Milligramm je Kilogramm Körpergewicht akzeptabel. Die in Deutschland mittlere Pro-Kopf-Aufnahme von 101 Milligramm Nitrat pro Tag liegt derzeit deutlich darunter, wenn man von einem durchschnittlichen Körpergewicht von 70 Kilogramm ausgeht.⁸⁵ Aufgrund der oben beschriebenen, verschiedenen chemischen Umsetzungen, die aus Nitrat krebserzeugende Nitrosamine entstehen lassen, ist die nachteilige Wirkung auf die menschliche Gesundheit durch die Aufnahme einer bestimmten Menge Nitrat nur mittelbar. Die akzeptable tägliche Dosis der Nitrataufnahme

74 | Vgl. Peden 2001.

75 | Vgl. Barraza-Villarreal Albino et al. 2008.

76 | Vgl. Park et al. 2021.

77 | Vgl. Lelieveld et al. 2015; vgl. Pope/ Dockery 2006.

78 | Vgl. GBD 2019 Risk Factors Collaborators 2020.

79 | Vgl. Di/Cameron 2002; vgl. Cameron/Haynes 1986.

80 | Vgl. BGR 2019.

81 | Vgl. BMEL/BMU 2020.

82 | Vgl. Deutsche Bundesregierung 2021.

83 | Vgl. Häußermann et al. 2019.

84 | Für eine detaillierte Beschreibung der Ansprüche an und Herausforderungen für die repräsentativen Netzwerke vgl. BMEL/BMU 2020.

85 | Vgl. LfL 2021a.

und der Grenzwert von 50 Milligramm Nitrat pro Liter Trinkwasser entspringen daher dem Vorsorgeprinzip.

Während Nitrat auf die menschliche Gesundheit nur mittelbar nachteilig wirkt, sind die direkten Wirkungen von Nitrat und den anderen Stickstoffverbindungen auf Ökosysteme von großer Bedeutung für den Rückgang der Biodiversität und die Eutrophierung von Gewässern: Der Eintrag von reaktivem Stickstoff, zum Beispiel aus der angrenzenden landwirtschaftlichen Produktion, ist besonders in naturnahen terrestrischen Ökosystemen ein bedeutender Faktor für den Rückgang von Tier- und Pflanzenarten.⁸⁶ Die Beeinträchtigungen der Biodiversität sind dabei vielfältig. Reaktiver Stickstoff, der in natürliche Ökosysteme eingetragen wird, ändert die Bodenbedingungen, etwa durch Bodenversauerung. Pflanzen zeigen vielfältige physiologische Reaktionen auf die Veränderungen der Bodenbedingungen oft verbunden mit negativen Auswirkungen auf die Pflanzengesundheit.⁸⁷ Zudem verschiebt der Stickstoffeintrag die Konkurrenzverhältnisse zwischen Pflanzen: In nährstoffarmen Habitaten mit entsprechend angepassten Pflanzen wie etwa in Trockenrasen, Heiden oder Mooren führt eine Stickstoffzufuhr dazu, dass Pflanzen einwandern und dominieren, die Stickstoff besser in Wachstum umsetzen können. Die ursprüngliche Vegetation geht dabei verloren.⁸⁸ Auch in allen nicht stark nährstofflimitierten Ökosystemen wie etwa Wiesen verursacht die Stickstoffzufuhr eine Artenverschiebung, wobei krautige Pflanzen zurückgehen und Gräser zunehmen.⁸⁹ Insgesamt waren 68 Prozent aller empfindlichen Land-Ökosysteme im Jahr 2015 durch zu hohe Stickstoffeinträge belastet,⁹⁰ und etwa die Hälfte der Pflanzenarten der „Roten Liste“ ist durch erhöhten Nährstoffeintrag gefährdet.⁹¹ Geht Pflanzenbiodiversität verloren, wirkt sich dies zudem auf die mikrobielle und tierische Biodiversität aus. Viele pflanzenfressende Insekten sind bedroht, weil ihre Wirtspflanzen durch atmosphärische Stickstoffzufuhr immer seltener werden, auch in Naturschutzgebieten.⁹²

In oberflächennahen Gewässern wie Bächen, Flüssen und Seen beeinträchtigt der Eintrag von Stickstoff die Wasserqualität.

Dabei verschieben sich ebenfalls die Zusammensetzungen der Pflanzen- und Algengemeinschaften, mit zum Teil tödlichen Konsequenzen für Tiere.⁹³ Der terrestrisch ausgebrachte Stickstoff findet seinen Weg über die Flüsse in die Meere, wo Algen stark wachsen und nach ihrem Absterben auf den Meeresboden sinken. Durch mikrobiellen Abbau der abgestorbenen Organismen sinkt der Sauerstoffgehalt im Wasser so stark, dass sogenannte Totzonen entstehen, in denen höheres Leben nicht mehr möglich ist.⁹⁴ Dies betrifft auch die Wasserqualität küstennaher Meere. Wenngleich der Stickstoffeintrag in den vergangenen Jahrzehnten zurückgegangen ist, sind weiterhin 55 Prozent der Nordsee- und 100 Prozent der deutschen Ostseegewässer eutrophiert.⁹⁵ Im Mittel der Jahre 2012 bis 2014 stammten 71 bis 78 Prozent der Stickstoffeinträge Deutschlands in Nord- und Ostsee aus der Landwirtschaft.⁹⁶

3.2 Stickstoff in der Landwirtschaft

Eine Landwirtschaft, die unsere Ernährung sichern kann, ist ohne Düngung nicht möglich. Das gilt unabhängig davon, ob es sich um konventionelle oder ökologische Bewirtschaftung handelt. Wachstum und Ertrag aller Kulturpflanzen sind wesentlich von der Verfügbarkeit wichtiger Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Kalium sowie einer Vielzahl von Mikronährstoffen abhängig. Für gute Ernten sind daher entsprechende Nährstoffzufuhren nötig. Hierbei kommen mineralische Düngemittel, Wirtschaftsdünger, Gärreste und Komposte oder die sogenannte Gründüngung zum Einsatz, bei der stickstoffbindende Pflanzen (Leguminosen), aber auch andere Kulturen, zum Beispiel Senf, angebaut und mitsamt ihrem Stickstoffgehalt in den Boden eingearbeitet werden. Bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger, Gärresten und Komposten oder Gründüngung ist ein bedeutender Teil des Stickstoffs in organischen Verbindungen chemisch gebunden und wird erst durch die Umsetzung im Boden für Pflanzen verfügbar. Dieser notwendige Prozess der Mineralisierung (siehe Stickstoffkreislauf) bedeutet, dass der Stickstoff aus Wirtschaftsdünger über längere Zeit freigesetzt wird.

86 | Vgl. Leopoldina/acatech/Akademienunion 2020.

87 | Vgl. Bobbink et al. 2010.

88 | Vgl. ebd.

89 | Vgl. Dise et al. 2011.

90 | Vgl. Schaap et al. 2018.

91 | Vgl. UBA 2015a.

92 | Vgl. Habel et al. 2016.

93 | Vgl. BMU/BfN 2020.

94 | Vgl. Diaz/Rosenberg 2008.

95 | Vgl. BMU 2018a; vgl. BMU 2018b.

96 | Vgl. ebd.



Die Stickstoffzufuhr in die deutsche Landwirtschaft setzte sich 2019 vor allem aus Mineraldüngemitteln (48 Prozent) und Tierfuttermitteln (36 Prozent) zusammen.⁹⁷ Dabei entfällt der gesamte Anteil an Mineraldüngemitteln auf die konventionelle Landwirtschaft, da im ökologischen Landbau dessen Einsatz nicht erlaubt ist.⁹⁸ Tierfuttermittel ernähren das Vieh nicht nur, die Zufuhr bestimmter Nährstoffe – insbesondere Proteine – soll das Wachstum der Tiere zudem fördern und zielt darauf ab, kontinuierlich hohe Leistungen und Produktivität zu erbringen, beispielsweise in der Eier-, Fleisch- und Milcherzeugung. Je nach genetischer Veranlagung und dem jeweiligen physiologischen Zustand des Tiers muss die Fütterung einen unterschiedlichen Bedarf an Nahrungsenergie, Aminosäuren und weiteren Nährstoffen abdecken. Insgesamt wird bislang der größte Teil des Stickstoffs aus Futtermitteln von den Tieren ausgeschieden und als Wirtschaftsdünger wieder eingesetzt, zum Teil aber auch in die Umwelt emittiert. In den tierischen Produkten bleiben nur etwa 3 bis 31 Prozent gebunden,^{99, 100} wengleich dieser Wert durch eine veränderte Fütterung der Tiere optimiert werden kann (siehe Kapitel 4.3.1).

Zur Proteinversorgung der Nutztiere kommen in Deutschland vor allem Getreide, Grassilage, Rapsschrot und Mais sowie Soja zum Einsatz. Ein großer Anteil der Importe an Sojaerzeugnissen in die EU, die im Jahr 2018 insgesamt 35,7 Millionen Tonnen betragen, kommt aus Südamerika und ist zollfrei.¹⁰¹ Dies wird kontrovers diskutiert, da für den Sojaanbau Flächen im Regenwald gerodet werden. Die Einfuhr von Sojaerzeugnissen machte in Deutschland in den Jahren 2014 bis 2019 ein Viertel bis ein Drittel des proteinhaltigen Futteraufkommens aus.^{102, 103} Zusätzlich fallen viele Nebenprodukte in der Verarbeitung pflanzlicher Ernteprodukte aus einheimischer landwirtschaftlicher Produktion an, beispielsweise Kleien, Treber, Schlempe, Trockenschnitzel und Rapsextraktionsschrot. Sie enthalten große Mengen an Stickstoff und anderen Nährstoffen, sodass ihre Rückführung als Futtermittel in der Tierhaltung ein gutes Beispiel für die Synergien zwischen Pflanzenbau und Tierhaltung darstellt und eine wichtige Komponente einer nachhaltigen Landwirtschaft ist.

Das Beispiel Weizen veranschaulicht die Bedeutung der Verfügbarkeit von Stickstoff für Erntemenge und Proteingehalt der Körner (siehe Abbildung 5). Bei Weizen, einem Haupterzeugnis des Ackerbaus in Deutschland, ist der Proteingehalt im Korn einer der wichtigsten Qualitätsparameter. Dies beruht insbesondere auf dem Zusammenhang von Backeigenschaften und Proteingehalt sowie der höheren Wertschöpfung in der Lebensmittelbranche im Vergleich zur Tierfüttererzeugung. Der geerntete Weizen wird nach dem Proteingehalt im Korn in verschiedene Qualitäts- und Preisklassen unterteilt, vom sogenannten Elite-Weizen bis zum Futterweizen. Dabei hat die Stickstoffdüngung großen Einfluss auf Ertrag und Proteingehalt, was ihre ökonomische Bedeutung unterstreicht.

Wie viel Stickstoff zugeführt werden muss, hängt vor allem von den Standortbedingungen ab. Das sind in erster Linie das vom Bodenzustand sowie von natürlichen Umweltbedingungen geprägte Ertragspotenzial, die Wahl von Kulturart und Produktionsrichtung, zum Beispiel Backweizen, die betriebliche Fruchtfolge sowie die gesamte übrige Bewirtschaftung. Unter den oft angebauten Kulturpflanzen sind stickstoffbindende Leguminosen, also Hülsenfrüchte wie Erbsen, Ackerbohnen, Lupinen und kleeartige Futterpflanzen, zum Beispiel Luzerne, Rotklee und Esparsette, im Rahmen einer Fruchtfolge von besonderer Bedeutung: Durch die Symbiose mit Mikroorganismen ist es ihnen möglich, Luftstickstoff zu binden. Der symbiotisch gebundene Stickstoff ist in den Ernteprodukten enthalten oder verbleibt mit den Ernte- und Wurzelrückständen zunächst im Boden, wo er in der Umsetzung durch Bodenlebewesen verzögert freigesetzt wird. In der darauffolgenden Kultur in der Fruchtfolge wird dementsprechend eine deutlich geringere Stickstoffdüngung benötigt, auch wenn der Stickstoff teilweise durch Wind und Wasser ausgetragen werden kann. Auch aufgrund dieser stickstoffsparenden Effekte vergrößerte sich die Anbaufläche für Hülsenfrüchte im Zeitraum der Jahre 2014 bis 2020 von 102.500 auf über 222.000 Hektar.¹⁰⁴ Diese Entwicklung beruht zudem auf Greening-Maßnahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und dem Ausbau des ökologischen Landbaus.

97 | Vgl. BMEL 2022a.

98 | Vgl. Verordnung (EU) 2018/848 2022, Art. 9 sowie Anhang II, Absatz 1.9.8.

99 | Vgl. Smil 2001.

100 | Vgl. Shepon et al. 2016.

101 | Vgl. European Commission 2017.

102 | Vgl. BLE 2020b.

103 | Vgl. Verband der ölsaaten-verarbeitenden Industrie in Deutschland 2020.

104 | Vgl. BLE 2020b.

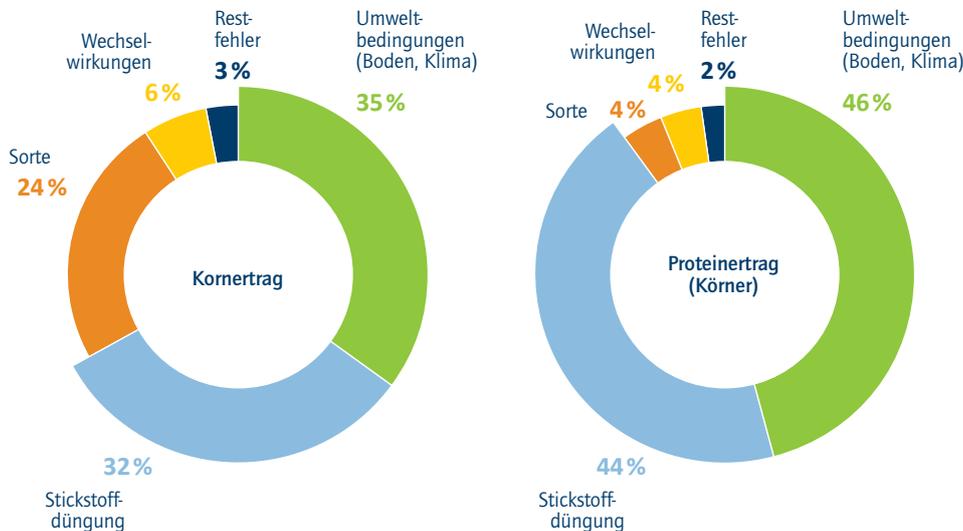


Abbildung 5: Einfluss der Stickstoffdüngung und weiterer Parameter auf Korn- und Proteinertrag von Weizen. Die Stickstoffdüngung ist neben Umweltbedingungen und der Pflanzensorte einer der Haupteinflussfaktoren für agroökonomisch relevante Pflanzeigenschaften wie Korn- und Proteinertrag. Die Abbildung zeigt Prozentzahlen einer Schweizer Studie an Weizen, wobei Umweltbedingungen Standorteigenschaften wie Klima und Boden beschreiben. Die Kategorie „Wechselwirkungen“ quantifiziert gegenseitige Abhängigkeiten einzelner Einflussfaktoren (Quelle: eigene Darstellung nach Häner/Brabant 2016).

Im ökologischen Landbau kommt Mineraldünger nicht zum Einsatz, weshalb dort Leguminosen unverzichtbar sind. Insgesamt sind deshalb auch Stickstoffüberschüsse im ökologischen Landbau wesentlich niedriger als im konventionellen.^{105, 106} Allerdings erzielt der ökologische Landbau je nach Kontext zwischen 3 und 53 Prozent geringere Ernteerträge,^{107, 108, 109} sodass gegebenenfalls weitere Flächen genutzt werden müssen, um diese im Vergleich zum konventionellen Landbau bestehende Ertragslücke auszugleichen.

3.3 Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft in Deutschland

Der Stickstoffüberschuss (synonym: positiver Stickstoffsaldo je Hektar) wird mit betrieblichen Stoffstrombilanzen, bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche, quantifiziert (siehe Infokasten Düngebedarfsermittlung und Nährstoffbilanzierung, Kapitel 4.2.2). Er umfasst den Saldo aus der Menge des zugeführten Gesamtstickstoffs etwa aus Dünge- und Futtermitteln minus die Menge des Stickstoffs, die durch Pflanzen und Tiere aufgenommen wird. Der jährliche Gesamtüberschuss beträgt in Deutschland rund 1,5 Millionen Tonnen reaktiven Stickstoffs.¹¹⁰ Pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche lag der Stickstoffüberschuss in Deutschland in den Jahren 2015 bis 2019 bei durchschnittlich 92 Kilogramm Stickstoff.¹¹¹ Die räumliche Verteilung des Stickstoffsaldos gibt Aufschluss über einige

105 | Vgl. Sanders/Heß 2019.

106 | Vgl. Chmelíková et al. 2021.

107 | Vgl. Haller et al. 2020.

108 | Vgl. WBAE 2016.

109 | Vgl. Seufert et al. 2012.

110 | Vgl. Taube et al. 2020.

111 | Die Unsicherheit der Bilanzierung auf Basis der möglichen Ungenauigkeiten im Mengengerüst wird auf rund 8 Kilogramm Stickstoff pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche geschätzt. Für eine detaillierte Analyse vgl. Häußermann et al. 2019.



Ursachen von Überschüssen. Sie lässt erkennen, dass in Gebieten mit hoher Tierbesatzdichte besonders hohe Stickstoffüberschüsse auftreten (siehe Abbildung 7).¹¹² Die regional konzentrierte Nutztierhaltung und dort anfallende große Mengen an Wirtschaftsdünger sind eine der Hauptursachen für regionale Stickstoffüberschüsse.¹¹³

In den vergangenen Jahrzehnten sank der durchschnittliche Stickstoffüberschuss in Deutschland leicht, wobei sich die Abnahme während der letzten 10 Jahre deutlich abgeschwächt hat (siehe Abbildung 6). Die aktuellen Werte über das Fünfjahresmittel

sind von dem in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie¹¹⁴ formulierten Ziel mit 70 Kilogramm Stickstoff je Hektar noch deutlich entfernt¹¹⁵ und es wird nach dem bisherigen Trend und auch unter Berücksichtigung der neuen Düngeverordnung (DüV) (siehe Kapitel 4.2.2) als kaum erreichbar eingeschätzt, wenn es bei den bisher festgelegten Maßnahmen bleibt.¹¹⁶ Zudem erscheint der politisch gesetzte Zielwert von 70 Kilogramm Stickstoff je Hektar vergleichsweise hoch und wenig ambitioniert. Beispielsweise fordert die Kommission Landwirtschaft am Umweltbundesamt eine Zielgröße von 50 Kilogramm Stickstoff je Hektar, um Ziele des Boden- und Gewässerschutzes sowie der Luftreinheit zu

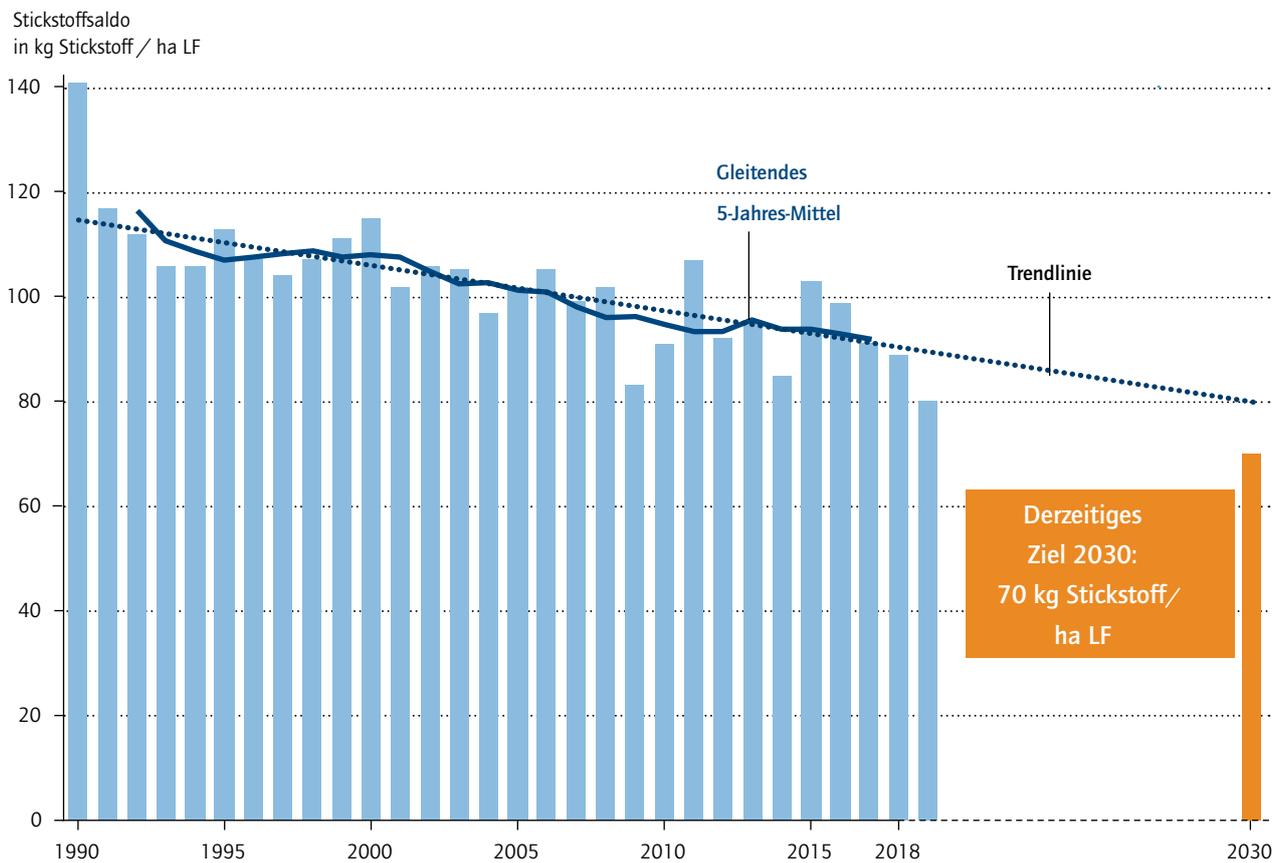


Abbildung 6: Der jährliche Stickstoffsaldo der deutschen Landwirtschaft (Stickstoff-Gesamtbilanz) und dessen gleitendes Fünfjahresmittel (gestrichelte Linie). Das genannte Ziel für 2030 ist in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie formuliert (Quelle: eigene Darstellung auf Basis BMEL 2022d).

112 | Vgl. BMEL 2019b, Zwei Großvieheinheiten entsprechen zwei ausgewachsenen Rindern, etwa zehn schlachtreifen Mastschweinen oder 500 Geflügeltieren.
 113 | Vgl. Häußermann et al. 2019. Der Korrelationskoeffizient für den Zusammenhang zwischen Viehbesatzdichte und Stickstoffüberschuss liegt bei $R^2 = 0,82$.
 114 | Vgl. Deutsche Bundesregierung 2016.
 115 | Vgl. UBA 2020b.
 116 | Vgl. Taube et al. 2020.

erreichen.¹¹⁷ Dieser Wert stellt laut Kommission einen Kompromiss dar, der die Umweltwirkungen durch den Stickstoffeintrag, ökonomische Effekte auf Ertrags- und Gewinnänderungen sowie die Umsetzbarkeit abwägt. Die Umsetzbarkeit berücksichtigt dabei die Ausgangssituation der Betriebe und das Einsparpotenzial bezüglich Stickstoff.

Auch der oben genannte Wert von 50 Kilogramm Stickstoff je Hektar kann als Zwischenziel auf dem Weg zu einer weiteren Verringerung der Stickstoffüberschüsse verstanden werden, an dessen Ende ein zu definierender „tolerabler“ Stickstoffüberschuss stehen kann. Die wissenschaftliche Definition eines solchen Zielwerts ist anspruchsvoll und muss unter Einbindung der

Stakeholder wissenschaftlich begründet und transparent erfolgen. Es gilt einerseits zu berücksichtigen, dass Stickstoffeinträge in die Umwelt im offenen System von Boden, Wasser und Atmosphäre auch in Zukunft nicht gänzlich vermieden werden können. Andererseits ist eine deutliche Reduktion der Stickstoffüberschüsse angesichts der wissenschaftlich belegten Wirkungen (siehe Kapitel 3.1) von reaktivem Stickstoff von wesentlicher Bedeutung, insbesondere für Umwelt- und Klimaschutz. Die Abwägung dieser Aspekte muss zudem auch regional unterschiedliche Standortverhältnisse und ökologische Vulnerabilitäten berücksichtigen. Relevante Handlungsfelder für ein übergreifendes Konzept zur Minderung der Stickstoffüberschüsse werden in den nachfolgenden Kapiteln 4 und 5 erläutert.

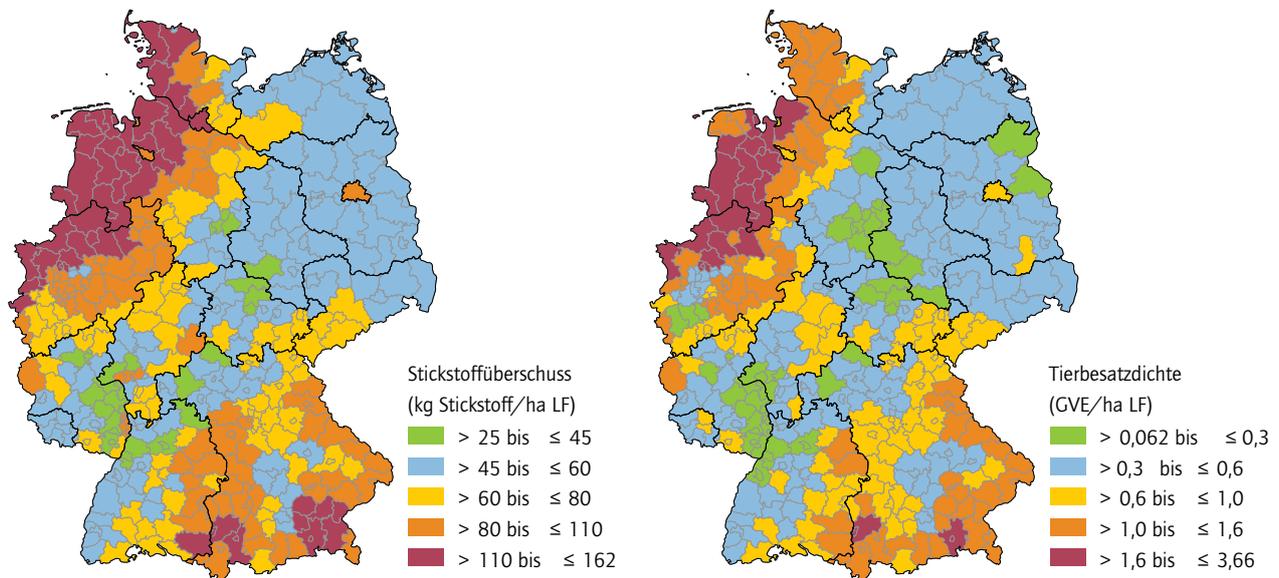


Abbildung 7: Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft in Kilogramm Stickstoff (links) und Viehbesatzdichte in Großvieheinheiten (rechts), jeweils bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche in Hektar auf Landkreisebene (Mittelwerte 2015–2017). Bei der Abbildung zu Stickstoffüberschüssen (links) ist zu beachten, dass hohe Stickstoffüberschüsse sich zwar auf einige Regionen konzentrieren, aber auch die übrigen, grün hinterlegten Gebiete relevante Stickstoffüberschüsse aufweisen. Darüber hinaus ist anzumerken, dass insbesondere in urbanen Regionen wie etwa Berlin, die Anzahl der Tiere und die landwirtschaftliche Nutzfläche in absoluten Werten gering ausfallen. (Quelle: Häußermann et al. 2019).



4 Analyse der Handlungsfelder einer nachhaltigen Stickstoffnutzung

Maßnahmen einer nachhaltigen Stickstoffnutzung sollen den Konflikt zwischen der notwendigen Düngung und zu hohen Stickstoffeinträgen aus der Landwirtschaft in die Umwelt auflösen. In diesem Kapitel werden Instrumente und Maßnahmen der Agrar- und Umweltpolitik vorgestellt und abgewogen, die den Weg in eine nachhaltige Stickstoffnutzung ermöglichen. Planungssicherheit für alle Beteiligten ist dabei eine wesentliche Anforderung an eine wirkungsvolle Agrar- und Umweltpolitik. Gleichzeitig muss der Gesamtkontext der nachhaltigen Landwirtschaft betrachtet werden, da eine Verringerung von Stickstoffeinträgen mit Aspekten des Tierwohls, des Klimawandels und der Biodiversität verknüpft ist. Regional und lokal besonders gefährdete Ökosysteme und Habitate sollen dabei unter Berücksichtigung der spezifischen Standortbedingungen, Vorbelastungen und Empfindlichkeiten effektiv vor zu hohen Stickstoffeinträgen geschützt werden. Um die Schlüsselfrage der vorliegenden acatech POSITION „Wie lassen sich Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Umwelt verringern?“ zu beantworten, sind deshalb sowohl eine übergreifende Gesamt mengensteuerung als auch die Berücksichtigung lokaler Vorgaben erforderlich.¹¹⁸

4.1 Nachhaltige Bewirtschaftungsstrukturen

4.1.1 Rahmenbedingungen der Nutztierhaltung

Die regionale Konzentration der Nutztierhaltung in einigen Gebieten Deutschlands bringt es mit sich, dass dort durch die lokal erzeugten hohen Mengen an Wirtschaftsdünger, vor allem Gülle, sehr hohe Stickstoffüberschüsse auftreten (siehe auch Kapitel 3.3). Im Zeitraum 2009 bis 2018 stieg die Konzentration

des Tierbesatzes im Nordwesten und damit auch der Stickstoffanfall sogar weiter an, während die Werte in anderen Regionen Deutschlands weitgehend konstant blieben oder zurückgingen (siehe Abbildung 8).¹¹⁹ Die derzeitigen Rahmenbedingungen der Nutztierhaltung wirken dieser ungünstigen Entwicklung der Nutztierkonzentration nicht ausreichend entgegen.

Die Praxis, Wirtschaftsdünger aus Überschussgebieten in angrenzende Regionen zu transportieren, trug in Letzteren zu steigenden Stickstoffüberschüssen bei.¹²⁰ Die Gülle auch überregional in Gebiete mit überwiegend Pflanzenbau weiterzuverteilen, hat aufgrund des zusätzlichen Transportaufwands angesichts des anfallenden Volumens und Gewichts – Gülle besteht größtenteils aus Wasser – sowohl ökonomische als auch ökologische Nachteile. Durch die Transporte entstehen zusätzliche Kosten und CO₂-Emissionen. Zwar lassen sich die Gülle-Nährstoffe durch Wasserentzug aufkonzentrieren, dieses Verfahren ist jedoch sehr energieintensiv und verringert die ökonomische und ökologische Problematik des überregionalen Transports nur wenig.

Ähnliches gilt für Gärreste: Diese sind oft an Regionen mit intensiver Nutztierhaltung gekoppelt, da Gülle ein wichtiges Ausgangssubstrat zur Erzeugung von Biogas ist. Im Jahr 2016 hatte Gülle einen Anteil von über 40 Prozent am insgesamt eingesetzten Substrat; dies entsprach etwa 30 Prozent der 160 Millionen Tonnen der in Deutschland anfallenden Gülle.¹²¹ Im Gärungsprozess wird in der Gülle enthaltener, organisch gebundener Stickstoff zum Teil in Ammonium umgewandelt, das nach Ausbringung schneller für Pflanzen verfügbar ist, aber auch leichter als potenziell schädliche Emission in die Umwelt entweicht. Im Gärrest verbleibt dabei nahezu der gesamte Stickstoff aus dem Substrat, sodass Biogasanlagen nicht zur Reduktion von Stickstoffüberschüssen beitragen können. Weitere Effekte durch Biogasanlagen im Hinblick auf Stickstoff hängen entscheidend davon ab, wie die Anlagen in landwirtschaftliche Systeme eingebunden sind. Insbesondere ist von Bedeutung, welche Substrate vergoren werden und ob ausreichende Acker- und Grünlandflächen verfügbar sind, auf denen die anfallenden Gärreste effizient verwertet werden können.

Eine Lösung, die die zugrunde liegende Struktur der Nutztierhaltung adressiert, ist das Schließen von Nährstoffkreisläufen,

118 | Vgl. Möckel/Wolf 2020.

119 | Vgl. Häußermann et al. 2019.

120 | Vgl. ebd.

121 | Vgl. Scholwin et al. 2019.

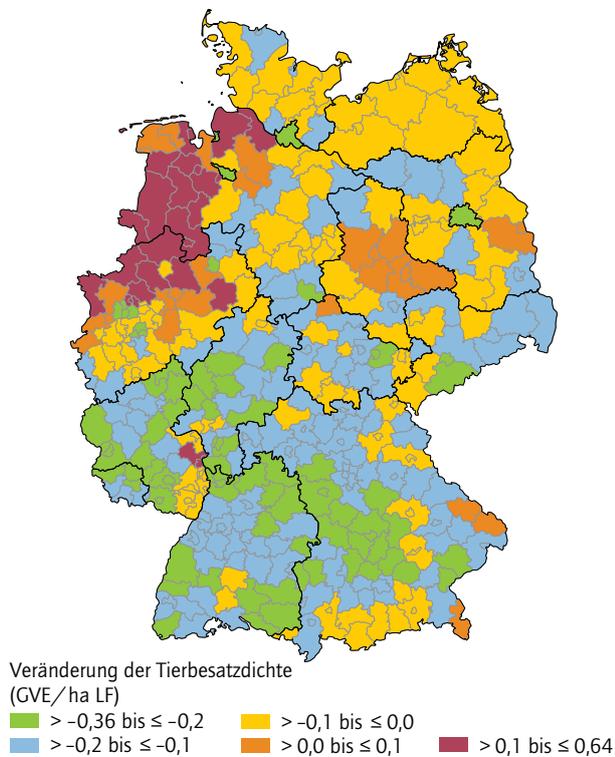


Abbildung 8: Veränderung der Tierbesatzdichte auf Basis der Mittelwerte von 2015 bis 2017 und 1995 bis 1997 (Quelle: Häußermann et al. 2019)

indem Pflanzenbau und Nutztierhaltung räumlich wieder zusammengeführt werden. Damit lassen sich Überschüsse vor Ort besser abbauen. Neben einer stärkeren Dezentralisierung der Nutztierhaltung wirken sich auch insgesamt kleinere Nutztierbestände in Deutschland unmittelbar auf Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft aus. Durch eine Reduzierung der Nutztierzahl in bestehenden Ställen können zusätzlich zum Stickstoffanfall in der Tierhaltung auch Tierwohlaspekte und Nahrungsmittelsicherheit bezüglich Zoonosen¹²² besser berücksichtigt werden.

Erreicht werden kann eine Verringerung der hohen Konzentration der Nutztierhaltung durch eine Flächenbindung. Eine solche wird seit längerem diskutiert¹²³ und kann zur deutlichen

Reduktion von Stickstoffüberschüssen beitragen.¹²⁴ Aktuell gilt in verschiedenen Bundesländern bereits ein Grenzwert von zwei Großvieheinheiten je Hektar als Voraussetzung für die Zuschussung neuer Stallbauten. Eine bundesweite Flächenbindung mit Obergrenze, wie im Klimaschutzplan 2050 aus dem Jahr 2016 angekündigt¹²⁵ und von der seit 2021 amtierenden Bundesregierung diskutiert¹²⁶, kann eine starke Lenkungswirkung entfalten. Um variierende Standortbedingungen abzubilden, etwa in puncto Empfindlichkeiten der Naturräume, kann diese bundesweite Flächenbindung durch regionalspezifische Empfehlungen oder Regelungen mit Grenzwerten von unterhalb zwei Großvieheinheiten je Hektar ergänzt werden. Dabei sind Ertragspotenziale ausgehend von Boden und Witterungsbedingungen von Bedeutung. Beispielsweise kann die Vegetation an produktiven Grünlandstandorten, etwa im Voralpenland, höhere Stickstoffmengen aufnehmen und verwerten als etwa Standorte in Brandenburg auf Sandböden, wo die Kulturen bei niedrigem Ertragspotenzial weniger Stickstoff umsetzen können. Entsprechend muss auch die Zufuhr geringer ausfallen, sodass eine regional geringere Tierbesatzdichte sinnvoll erscheint.

Bei einer Beschränkung der Tierbesatzdichte werden Nachweise über Flächen im eigenen Betrieb oder Flächenverfügbarkeit über die Kooperation mit anderen Betrieben notwendig. Die Nachfrage nach Flächen mit geringen Besatzdichten dürfte infolgedessen zunehmen, besonders außerhalb von Regionen mit derzeit hoher Tierbesatzdichte, ebenso wie die Preise für die Abgabe von Wirtschaftsdünger an andere Betriebe. Die Wirtschaftlichkeit von Betrieben mit Nutztierhaltung und wenigen Flächen wird geringer, und es entsteht der beabsichtigte Anreiz, Tierhaltung in Gebiete mit geringerer Tierbesatzdichte zu verlagern.

Entsprechende gesetzliche Regelungen zur Flächenbindung müssen bei bestehenden Tierhaltungsanlagen den Vertrauens- und Bestandsschutz beachten. Ein obligatorischer Rück- oder Umbau ist nur mit finanziellen Ausgleichszahlungen für noch nicht abgeschriebene Investitionen ordnungsrechtlich durchsetzbar. Daher kann der im Rahmen der Debatte um Tierwohl diskutierte Weg eines freiwilligen Rück- und Umbaus bestehender Stallanlagen, gegebenenfalls finanziert durch eine bundesweite

122 | Zoonosen sind Erkrankungen, die potenziell vom Tier auf den Menschen übergehen können, wie etwa beim SARS-CoV-2-Virus der Fall. In der europäischen Tierhaltung ist insbesondere auch die Schweinegrippe relevant, vgl. Henritzi et al. 2020.

123 | Vgl. Gesetzesantrag des Landes Niedersachsen 1994.

124 | Vgl. Häußermann et al. 2019.

125 | Vgl. BMU 2016.

126 | Vgl. SPD/Bündnis 90/Die Grünen/FDP 2021.



Tierwohlabgabe auf tierische Lebensmittel (siehe Kapitel 4.2.1), politisch und rechtlich vorzugswürdig sein.¹²⁷ In bestehenden Ställen würden dann weniger Tiere als bisher untergebracht, sodass die Tierbesatzdichte sinken würde, sofern nicht im selben Maße zusätzliche Ställe gebaut würden. Eine umfangreiche Folgenabschätzung zeigt, dass die Umsetzung vorgeschlagener Maßnahmen für mehr Tierwohl umfassende Veränderungen für einzelne Betriebe wie auch die gesamte Entwicklung der Nutztierhaltung in Deutschland zur Folge haben kann.¹²⁸ Produktionskosten der Tierhaltung werden bei Vorgaben zu mehr Tierwohl ansteigen, wobei der Effekt je nach Tierart unterschiedlich stark ausfällt und von wichtigen Eckpunkten der Regelungen abhängt, etwa dem Ausmaß von Auslaufflächen je Tier, die erst noch festgelegt werden müssen. Eine begleitende Finanzierung kann Kosteneffekte abdämpfen, vermeidet dadurch eine Auslagerung der Produktion in Staaten mit weniger strengen Auflagen (siehe Kapitel 4.2.1) und unterstützt die Planungssicherheit der landwirtschaftlichen Betriebe ebenso wie die Wirtschaftlichkeit von Betrieben mit Nutztierhaltung.

4.1.2 Veränderungen im Landbau zur Minderung von Stickstoffüberschüssen

Verschiedene Elemente des heutigen ökologischen und konventionellen Landbaus können eine zukünftige nachhaltige Landwirtschaft gemeinsam gestalten, die ein Spektrum von Bewirtschaftungsmethoden umfasst.¹²⁹ Dies betrifft auch die Adaption und nachhaltige Nutzung von Technologien, etwa Züchtungsmethoden (siehe Kapitel 4.3.1).

Im ökologischen Landbau ist die Stickstoffeffizienz oft höher als im konventionellen Landbau,¹³⁰ auch wenn man die im ökologischen Landbau je nach Kontext um 3 bis 53 Prozent geringeren Erträge^{131, 132, 133} berücksichtigt. Niedrigere Stickstoffüberschüsse im ökologischen Landbau gehen mit einer um 28 bis

39 Prozent verminderten Stickstoffauswaschung einher¹³⁴ und sind damit eine direkte Folge des begrenzten Stickstoffeinsatzes: Mineralischer Stickstoffdünger darf nicht verwendet werden,¹³⁵ und der Zukauf von Futter, Biomasse und organischen Düngern ist reglementiert. Weitere Gründe sind Bewirtschaftungsvorgaben, vielseitige Betriebsstrukturen und artenreiche Fruchtfolgen mit Leguminosen, Untersaaten und Zwischenfrüchten. Auch die flächengebundene Nutztierhaltung trägt zu niedrigen Stickstoffüberschüssen bei. Flächenlose Nutztierhaltung ist in der ökologischen Landwirtschaft nicht erlaubt. Pro Hektar liegt der maximale Tierbesatz nach EU-Vorgaben bei zwei Großvieheinheiten,¹³⁶ wobei ökologische Anbauverbände in Deutschland den Besatz weitergehend auf 1,4 Großvieheinheiten je Hektar begrenzen. Betriebe des ökologischen Landbaus sind deshalb in Bezug auf Stickstoff überwiegend als „Low-Input-Systeme“ zu bewerten, und Stickstoff ist hier nicht selten ein ertragsbegrenzender Faktor.

Die Bundesregierung strebt an, den Flächenanteil des ökologischen Landbaus von heute etwa 10 auf 30 Prozent (rund 5,4 Millionen Hektar) im Jahr 2030 zu erhöhen.¹³⁷ Auch der Absatz von Ökoprodukten wächst dynamisch, sodass mit einem substanziellen Flächenanstieg zu rechnen ist. Die EU-Kommission hat 2020 in ihrer Farm-to-Fork-Strategie ein Flächenziel von 25 Prozent für den ökologischen Anbau formuliert. Bilanz und Umweltwirkungen des ökologischen Landbaus sind ebenso wie die des konventionellen Landbaus standortabhängig, sodass die Förderung des Ökolandbaus auch daran ausgerichtet sein sollte.¹³⁸ Der stärkere Ausbau des ökologischen Landbaus wird sowohl positive Folgen, etwa im Hinblick auf Stickstoffüberschüsse, als auch negative Folgen, etwa durch geringere Erträge, haben. Eine umfassende, fortlaufende Bewertung der Auswirkungen des Ausbaus des ökologischen Landbaus wird daher auch vom Wissenschaftlichen Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz (WBAE) empfohlen.¹³⁹ Weil im ökologischen Landbau geringere Erträge erzielt werden, sollte dieses Ziel kombiniert

127 | Vgl. Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020.

128 | Vgl. Deblitz et al. 2021.

129 | Vgl. acatech 2019.

130 | Vgl. Sanders/Heß 2019.

131 | Vgl. Haller et al. 2020.

132 | Vgl. WBAE 2016.

133 | Vgl. Seufert et al. 2012.

134 | Vgl. Sanders/Heß 2019.

135 | Vgl. Verordnung (EU) 2018/848 2022, Art. 9 sowie Anhang II, Absatz 1.9.8.

136 | Vgl. Durchführungsvorschriften 889/2008, Art 15 und 16.

137 | Vgl. SPD/Bündnis 90/Die Grünen/FDP 2021.

138 | Vgl. WBAE 2020.

139 | Vgl. ebd.

werden mit (a) einer Reduzierung der Lebensmittelverluste und (b) einer Verringerung des Konsums tierischer Lebensmittel (siehe Kapitel 4.4).¹⁴⁰ Geht mit fallenden Erträgen jedoch kein geringerer inländischer Lebensmittelverbrauch einher, kann das Ökolandbau-Ziel – global betrachtet – konterkariert werden, wenn es zu mehr Nettoimporten von Agrargütern aus anderen Staaten mit geringeren Anforderungen an Tierwohl und Umweltverträglichkeit kommt.¹⁴¹ Dies kann unter anderem zu höherem Flächenverbrauch der landwirtschaftlichen Produktion führen.

4.2 Ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen

4.2.1 Internalisierung der externen Kosten von Stickstoffüberschüssen

Bislang werden die ökologischen und volkswirtschaftlichen Kosten von Stickstoffeinträgen in die Umwelt, die sogenannten externen Kosten, nicht auf die landwirtschaftlichen Produkte oder verursachenden Betriebe umgelegt, also nicht internalisiert. Dementsprechend tragen die Gesellschaft und künftige Generationen diese Kosten. Der Umgang mit externen Kosten betrifft die Landwirtschaft in vielerlei Hinsicht, wie etwa die Diskussion um den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln¹⁴² sowie die Debatten um die Finanzierung tierwohlgerechter Haltung¹⁴³ und um Treibhausgasemissionen¹⁴⁴ zeigen. Ein Einbezug der Landwirtschaft in eine Bepreisung von Treibhausgasen wie zum Beispiel CO₂, analog zur Regelung in anderen Sektoren, wird in diesem Abschnitt aufgrund dessen Komplexität und nur teilweiser Überschneidung mit der Stickstoffthematik nicht näher diskutiert.¹⁴⁵ So trägt beispielsweise der umfangreiche Export tierischer Produkte zu den hohen Stickstoffüberschüssen bei, weil gleichzeitig Futtermittel aus Drittländern importiert werden und der Wirtschaftsdünger auf

den Flächen deutscher Betriebe verbleibt. Solche Exporte sind durch die unzureichende Regulierung und fehlende Internalisierung der externen Gesellschaftskosten bei den dabei anfallenden Stickstoffüberschüssen indirekt subventioniert.

Dem kann eine Bepreisung direkt von Stickstoffüberschüssen oder von mineralischen Stickstoffdüngern und betriebsexternen, also zugekauften Futtermitteln entgegenwirken. Dadurch werden ökonomische Anreize gesetzt, Dünge- und Futtermittel effizienter zu nutzen und Stickstoffeinträge in die Umwelt zu vermeiden, wodurch auch die externen Folgekosten sinken. Gleichzeitig werden mit einer Bepreisung – wenn auch in pauschalisierter Form – die externen Kosten der Stickstoffemissionen und einträge in die Umwelt zumindest teilweise in die betrieblichen Kostenkalkulationen und Produktpreise einbezogen. Aus dem Aufkommen der Bepreisung können die verbleibenden gesellschaftlichen Folgekosten, etwa für Trinkwasseraufbereitung oder Naturschutzmaßnahmen, finanziert werden. Entsprechende Ansätze zu einer Bepreisung werden schon seit Längerem gefordert^{146, 147} und zuletzt auch von der Zukunftskommission Landwirtschaft als Option beschrieben.¹⁴⁸ Neben den verschiedenen Bepreisungsansätzen kann auch der Einsatz von Fördermitteln – beispielsweise aus den Säulen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) – stickstoffeffizientes Wirtschaften anregen. Ein wesentlicher allgemeiner Vorteil einer Bepreisung, unabhängig von ihrer genauen Ausgestaltung, ist, dass sie den landwirtschaftlichen Betrieben die unternehmerische Entscheidungsfreiheit lässt, welche Maßnahmen zur nachhaltigen Stickstoffnutzung sie einsetzen. Bei der Ausgestaltung einer Bepreisung gilt es, Wirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit (siehe Abschnitt Wettbewerbssituation und Nutzung der Einnahmen einer Bepreisung in diesem Kapitel) und Effekte durch starke Marktpreisschwankungen der Betriebsmittel mit zu berücksichtigen, die zuletzt etwa in Form des starken Preisanstiegs bei Mineraldüngemitteln in den Jahren 2021 und 2022 auftraten.

140 | Vgl. Muller et al. 2017.

141 | Vgl. acatech 2020.

142 | Vgl. Möckel et al. 2021.

143 | Vgl. Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020.

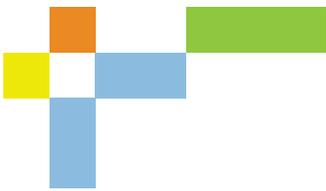
144 | Vgl. Isermeyer et al. 2019.

145 | Dabei sind über die Lachgasemissionen hinaus besonders die Methanemissionen bei Rindern sowie die Kohlenstoffspeicherung in Böden von Bedeutung. Die Stickstoffthematik wiederum hat aber auch Effekte auf die Biodiversität, die in einer Treibhausgasbepreisung keine Rolle spielen. Für eine ausführliche Diskussion eines Einbezugs der Landwirtschaft in eine Treibhausgasbepreisung sei auf weiterführende Literatur verwiesen: vgl. ebd.

146 | Vgl. WBAE 2016.

147 | Vgl. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1985.

148 | Vgl. Zukunftskommission Landwirtschaft 2021.



Stickstoffüberschussabgabe

Eine Stickstoffüberschussabgabe könnte auf Grundlage der Bilanzierung von Nährstoffströmen (siehe Infokasten Düngebedarfsermittlung und Nährstoffbilanzierung, Kapitel 4.2.2) in landwirtschaftlichen Betrieben ermittelt werden. Die Erstellung von Bilanzen erfolgt in bestimmten Betrieben gegenwärtig bereits seit 2018 im Rahmen der Stoffstrombilanzverordnung (siehe Kapitel 4.2.2).¹⁴⁹ Insbesondere viehstarke Betriebe mit einer hohen Besatzdichte müssen Input und Output von Nährstoffen exakt nachweisen. Alle Betriebe mit mehr als 50 Großvieheinheiten oder mit mehr als 30 Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche bei einer Besatzdichte von jeweils mehr als 2,5 Großvieheinheiten je Hektar müssen eine Stoffstrombilanz erstellen. Auch Betriebe, die externen Wirtschaftsdünger aufnehmen oder in einer Biogasanlage verwerten, sind zur Bilanzierung verpflichtet. Eine Ausweitung der Bilanzierungspflicht erfolgt zum Januar 2023 auf alle Betriebe mit mehr als 20 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche.

Zur Bestimmung einer Stickstoffüberschussabgabe kann ein Zielwert festgesetzt werden, oberhalb dessen die Betriebe für jedes Kilogramm Stickstoffüberschuss eine Abgabe zahlen müssen.¹⁵⁰ Die Höhe der Zahllast je Kilogramm und die Wahl des Zielwerts sind entscheidend dafür, wie wirksam die Abgabe als ökonomischer Anreiz für Betriebe ist, Stickstoffüberschüsse zu senken.¹⁵¹ Das finanzielle Aufkommen aus dieser Abgabe geht im Unterschied zur Bepreisung mineralischen Stickstoffdüngers und betriebsexterner Futtermittel gegen null, wenn der festgelegte Zielwert der Stickstoffüberschüsse kaum mehr übertroffen wird.

Ein Vorteil einer Stickstoffüberschussabgabe liegt darin, dass diese Maßnahme direkt an den bilanziellen Stickstoffüberschuss anknüpft, welcher den Umfang der Umwelteinträge widerspiegelt. Anders als bei der Bepreisung an sogenannten Flaschenhälsen von Betriebsmitteln (siehe folgender Abschnitt) wäre bei der betriebsbezogenen Stickstoffüberschussabgabe eine regionale

oder betriebliche Differenzierung der Zahllast und des Zielwerts ähnlich wie bei der Grundsteuer möglich. Damit ließen sich ökologische Unterschiede wie zum Beispiel Bodentypen, Niederschlagsverhältnisse oder schützenswerte Ökosysteme, Habitats und Arten berücksichtigen.

Nachteile der Stickstoffüberschussabgabe liegen gegenüber der im folgenden Abschnitt skizzierten Bepreisung an Flaschenhälsen in einem höheren Verwaltungsaufwand und den damit verbundenen Kosten, da hier die Bilanzierung bei über 200.000 landwirtschaftlichen Betrieben kontrolliert werden müsste. Deshalb hat sich der wissenschaftliche Beirat des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gegen eine Stickstoffüberschussabgabe ausgesprochen.¹⁵² Sofern allerdings die Bilanzierung für alle landwirtschaftlichen Betriebe schon ordnungsrechtlich vorgeschrieben ist und kontrolliert wird – entsprechend der Stoffstrombilanzverordnung ist dies derzeit nur für bestimmte Betriebe der Fall, der Kreis der zur Bilanzierung verpflichteten Betriebe wird ab Januar 2023 aber deutlich ausgeweitet (siehe oben) –, entsteht durch eine daran anknüpfende Abgabe nur ein geringer zusätzlicher Erhebungsaufwand. Auch für die landwirtschaftlichen Betriebe hält sich der zusätzliche administrative Aufwand dann in Grenzen.¹⁵³

Bepreisung mineralischen Stickstoffdüngers und betriebsexterner Futtermittel

Eine Besteuerung von Düngemitteln an sogenannten Flaschenhälsen¹⁵⁴ setzt bei Unternehmen an, die mineralischen Stickstoffdünger in den Verkehr bringen. Flaschenhälse bezeichnen Stellen in Wertschöpfungsketten, die von großen Mengen an Gütern passiert werden – beispielsweise Großunternehmen oder staatliche Instanzen. Im Fall von Mineraldünger sind dies wenige Unternehmen, die diese Düngemittel als Hersteller oder Importeure in Deutschland in den Verkehr bringen.¹⁵⁵ Bei einer Steuer von 50 Cent pro Kilogramm mineralischen Stickstoffs wird beispielsweise

149 | Vgl. Taube et al. 2020.

150 | Vgl. Möckel 2017.

151 | Vgl. Oehlmann et al. 2018.

152 | Vgl. WBAE 2016.

153 | Bei der Einführung einer Stickstoffüberschussabgabe sind die eingesetzten Kontrollmechanismen und ihr Umfang zu prüfen, um eine wirksame Umsetzung zu gewährleisten.

154 | Vgl. Möckel 2006.

155 | Vgl. Isermeyer et al. 2019.

geschätzt, dass dessen Einsatz um 11 Prozent zurückgeht.¹⁵⁶ Auch Erfahrungen aus anderen Ländern wie Österreich zeigen, dass eine Abgabe den Düngemittelverbrauch verringern kann: Dort galt von 1986 bis 1994 eine Stickstoffabgabe – in diesem Zeitraum sank der Düngemittelverbrauch jährlich um 3 Prozent, während Düngemittelpreise durch die Abgabe um 10 Prozent stiegen.¹⁵⁷ Mit dem EU-Beitritt wurde sie in Österreich abgeschafft, weil man Wettbewerbsnachteile gegenüber anderen EU-Ländern befürchtete.¹⁵⁸

Der Vorteil einer Mineraldüngerbesteuerung im Vergleich zu einer Stickstoffüberschussabgabe (siehe obiger Abschnitt) besteht darin, dass sie einfacher zu erheben und zu kontrollieren ist. Ferner ist zu erwarten, dass bei einer Besteuerung von Mineraldünger dieser effizienter eingesetzt wird und zudem der Wert von Wirtschaftsdünger steigt; im Jahr 2020 machte Mineraldünger rund 48 Prozent der Stickstoffzufuhr der Landwirtschaft in Deutschland aus.¹⁵⁹ Inwiefern anfallender Wirtschaftsdünger vor dem Hintergrund der räumlichen Konzentration der Nutztierhaltung in Deutschland breiter verteilt würde, bedarf noch der Klärung.¹⁶⁰ Die Entsorgung der Exkremate ist heute bei den meisten flächenlosen Tierhaltungsbetrieben ein Kostenfaktor. Nicht zuletzt bleiben bei einer Besteuerung von Mineralstickstoff regionale Gegebenheiten unberücksichtigt. Zudem werden Düngemittel generell verteuert, anstatt dass nur der Stickstoffüberschuss bepreist wird. Gerade unter den aktuellen Umständen mit hohen Energie- und Düngemittelpreisen ist diese geringere Lenkungsgenauigkeit im Vergleich zu einer Stickstoffüberschussabgabe ein bedeutender Nachteil. Auch die Frage, inwiefern durch eine reine Mineraldüngerbesteuerung indirekt ein Anreiz geschaffen würde, die Nutztierhaltung auszudehnen und dann wiederum auch mehr Futtermittel zu importieren,¹⁶¹ bleibt offen.

Auch betriebsexterne Futtermittel sind eine Quelle betrieblicher Stickstoffüberschüsse¹⁶² und sollten in eine Besteuerung einbezogen werden. So würde ein ökonomischer Minderungsanreiz für die wesentlichen stickstoffhaltigen Stoffe, Mineraldünger und Futtermittel, geschaffen.¹⁶³ Die innerbetriebliche Nutzung von Futtermitteln bleibt von einer solchen Besteuerung unberührt. Die Höhe der Besteuerung mineralischen Stickstoffdüngers und betriebsexterner Futtermittel sollte über den Stickstoffgehalt bestimmt werden. Bei der Besteuerung könnte zugleich auch der Gehalt anderer Düngerkomponenten, zum Beispiel Phosphor, berücksichtigt werden. Während die Importeure von Futtermitteln sowie der Agrargroßhandel „Flaschenhälse“ darstellen, können landwirtschaftliche Betriebe auch direkt an benachbarte Tierhaltungsbetriebe Futtermittel verkaufen.¹⁶⁴ Sofern die verkaufenden Betriebe den im Nachbarbetrieb anfallenden Wirtschaftsdünger wieder aufnehmen, wäre der Stickstoffkreislauf geschlossen, und die Futtermittel wären daher betriebsinternen Futtermitteln gleichzustellen. Die Erfassung und Differenzierung bei der Direktvermarktung von Futtermitteln würde die Kontrollierbarkeit beziehungsweise Administration der Besteuerung etwas erschweren, lässt diese jedoch weiterhin umsetzbar erscheinen, wie Beispiele aus anderen Bereichen, etwa der Alkoholbesteuerung, nahelegen.

Die aus Nachhaltigkeitsaspekten wünschenswerte Rückführung von Nebenprodukten wie Kleie, Treber und Ähnlichem aus der Verarbeitung heimischer pflanzlicher Ernteprodukte in den agrarischen Kreislauf wird durch die gleichmäßige Besteuerung aller Futtermittel nicht benachteiligt. Nebenprodukte könnten von einer Besteuerung ausgenommen werden, um die Kreislaufführung zu unterstützen.

156 | Vgl. Grethe et al. 2021. Hierbei ist anzumerken, dass eine Steuer oder Abgabe pauschal Mineraldünger im gesamten Erhebungsraum verteuert. Dies bedeutet, dass es Betriebe und Kulturen gibt, bei denen durch eine Steuer von 50 Cent pro Kilogramm mineralischen Stickstoffs gewünschte Lenkungsanreize entstehen, während bei anderen Betrieben oder Kulturen 50 Cent gegebenenfalls noch deutlich zu gering sind, um Wirkung zu entfalten.

157 | Vgl. WBAE 2016.

158 | Vgl. Möckel 2017.

159 | Vgl. BMEL 2022a.

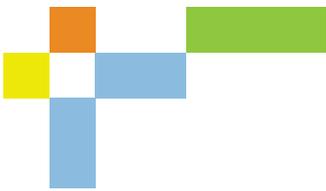
160 | Vgl. Isermeyer et al. 2019.

161 | Vgl. ebd.

162 | Vgl. Gawel et al. 2011.

163 | Vgl. ebd.

164 | Vgl. Isermeyer et al. 2019.



Wettbewerbssituation und Nutzung der Einnahmen einer Bepreisung

Wird eine Bepreisung von Stickstoffüberschüssen beziehungsweise von Stickstoff allein in Deutschland eingeführt, könnten inländische Betriebe gegenüber der Konkurrenz aus dem Ausland wettbewerbsfähig ins Hintertreffen geraten. Regelungen sollten daher nach Möglichkeit EU-weit getroffen werden. Im Fall einer nationalen Umsetzung könnte eine Rückzahlung von erhobenen Abgaben die negativen Auswirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft abmildern. Tragen nationale Regelungen dazu bei, in Deutschland eine funktionierende nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft zu etablieren und Stickstoffeinträge zu verringern, kann dies zudem eine Signalwirkung für andere Staaten entfalten. Eine nicht gelungene Einführung kann allerdings zur Auslagerung der Produktion von Agrargütern unter weniger strengen Auflagen ins Ausland, zu sogenanntem Leakage, führen.

Die Verwendung der Einnahmen hängt von der Ausgestaltung als Steuer oder als nicht steuerliche Abgabe ab. Nach dem Bundesverfassungsgericht hat die Erhebung als Steuer wegen der diesbezüglichen Regelungen im Grundgesetz Vorrang gegenüber einer Erhebung als nicht steuerliche Abgabe, weshalb die Erhebung als Abgabe einer besonderen Rechtfertigung bedarf.¹⁶⁵

Um mineralischen Stickstoffdünger und/oder betriebsexterne Futtermittel zu bepreisen, käme in erster Linie eine Verkehrssteuer auf alle gehandelten betriebsexternen Dünge- und Futtermittel in Betracht, da hier problemlos an ein Rechtsgeschäft (Kauf) angeknüpft werden kann.¹⁶⁶ Eine solche Steuer könnte auf Bundesebene eingeführt werden, da eine Bepreisung betriebsexterner Dünge- und Futtermittel nur im gesamten Bundesgebiet eingeführt werden sollte, um die Rechts- oder Wirtschaftseinheit zu wahren. Das Aufkommen würde jedoch gemäß Grundgesetz (Artikel 106 Absatz 2 Nummer 3) in die Landeshaushalte fließen. Im Bundesgesetz wäre die Aufteilung unter den Ländern zu regeln, zum Beispiel nach Anteil an landwirtschaftlicher Fläche

in Deutschland. Die Landesgesetzgeber könnten dann, wie bei allen Steuern, entsprechend ihrer Budgethoheit über die Verwendung der zugewiesenen Einnahmen entscheiden.¹⁶⁷

Nach dem Bundesverfassungsgericht ist grundsätzlich auch bei Steuern eine Zweckbindung möglich, solange dies nicht die Dispositionsfreiheit des Haushaltsgesetzgebers übermäßig beschränkt,¹⁶⁸ das ist bei Steuern mit einem nur geringen Anteil am gesamten Haushalt nicht anzunehmen.¹⁶⁹ Allerdings muss ein solches Vorgehen sicherstellen, dass eine Zweckbindung mit internationalen und europarechtlichen Rechtsverpflichtungen vereinbar ist. Ob die Zweckbindung einer Besteuerung in Konflikt mit dem EU-Beihilferecht stehen könnte, ist unklar: Konflikte könnten sich ergeben, wenn ausländische Dünge- und Futtermittelproduzenten oder Händler bei einem Export nach Deutschland ebenso wie inländische Verkäufer besteuert würden, aber das Aufkommen nur deutschen landwirtschaftlichen Betrieben zugutekäme. Eine zweckfreie Einstellung in die nationalen Haushalte hingegen ist wie bei allen Steuern und Abgaben zulässig, solange für ausländische Produkte der gleiche Besteuerungsmaßstab und -satz gilt wie für inländische Produkte, die Steuer also diskriminierungsfrei angelegt ist. Eine detaillierte juristische Prüfung der Möglichkeit einer Zweckbindung ist demnach erforderlich. Einnahmen aus einer Besteuerung könnten zur Unterstützung einer nachhaltigen Stickstoffnutzung eingesetzt werden, beispielsweise durch die Förderung von betrieblichen oder technologischen Umstellungen sowie die Finanzierung von Weiterbildungsangeboten und ökologischen Betriebsberatungen.

Bei einer Stickstoffüberschussabgabe wäre eine Erhebung in Form eines der in Artikel 106 Grundgesetz (GG) genannten Steuertypen¹⁷⁰ nicht möglich. Vielmehr kommt hier in erster Linie der vom Bundesverfassungsgericht anerkannte Typ einer Finanzierungsabgabe in Betracht,¹⁷¹ für die das Gericht allerdings besondere Zulässigkeitsanforderungen aufgestellt hat, unter anderem hinsichtlich der Gruppenverantwortung der Abgabenschuldner sowie der gruppennützigen Verwendung des Aufkommens.¹⁷² Bei einer gruppennützigen Verwendung bestehen zwei

165 | Ausführlich dazu: vgl. Möckel et al. 2015.

166 | Vgl. Möckel et al. 2021.

167 | Vgl. BVerfG 2 BvL 31, 33/56; vgl. BVerfG 1 BvL 1, 7/58; vgl. BVerfG 2 BvR 154/74.

168 | Vgl. BVerfG 2 BvR 413/88 und 1300/93; vgl. BVerfG 1 BvR 1748/99, 905/00.

169 | Ausführlich dazu: vgl. Möckel et al. 2015, S. 266–272.

170 | Vgl. BVerfG 2 BvL 6/13. Nach dem Bundesverfassungsgericht ist dieser Kanon abschließend, und es besteht kein darüber hinausgehendes Steuererfindungsrecht des zuständigen Gesetzgebers.

171 | Ausführlich dazu: vgl. Möckel 2017, S. 15–28.

172 | Vgl. BVerfG 2 BvR 1139/12; vgl. BVerfG 2 BvF 3/77.

zentrale Optionen: Eine Möglichkeit ist die Rückzahlung der Einnahmen an alle Betriebe unabhängig vom Stickstoffüberschuss, zum Beispiel auf Basis der bewirtschafteten Betriebsfläche. Betriebe mit geringeren Stickstoffüberschüssen, die zuvor keine Abgabe gezahlt haben, erhalten dabei ebenso Geld aus der Rückzahlung wie Betriebe mit hohen Stickstoffüberschüssen, die die Abgabe leisten müssen. Dieses Vorgehen hätte den Vorteil, dass durch die Bepreisung insgesamt kein Geld aus dem Landwirtschaftssektor entnommen würde, was die politische Realisierbarkeit erleichtern und Leakage-Effekte mindern könnte. Bei einer Umsetzung müssten mögliche weitere unerwünschte Effekte geprüft werden. Im Falle einer Rückzahlung auf Basis der bewirtschafteten Betriebsfläche würde ähnlich wie in der ersten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Besitz von Fläche finanziell entlohnt. Hierdurch entstünde ein Anreiz für Betriebe, ihre bewirtschafteten Flächen auszuweiten, was unter anderem die Pachtpreise weiter steigen lassen könnte.

Alternativ kann das finanzielle Aufkommen dazu verwendet werden, Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffüberschüssen bei landwirtschaftlichen Betrieben zu finanzieren oder Auswirkungen landwirtschaftlicher Stickstoffeinträge in der Umwelt zu mindern und zu beseitigen. Infrage kommen zum Beispiel die Förderung von betrieblichen oder technologischen Umstellungen sowie die Finanzierung von Weiterbildungsangeboten und ökologischen Betriebsberatungen, der Trinkwasseraufbereitung oder von stickstoffmindernden Agrarumweltmaßnahmen. Damit würden zum einen die durch Stickstoffeinträge entstehenden gesellschaftlichen Kosten teilweise im Sinne des Verursacherprinzips ausgeglichen, zum anderen würde die ökologisch ausgerichtete Einnahmeverwendung das Ziel einer nachhaltigen Stickstoffnutzung auch aufkommensseitig unterstützen. Auch im Fall der zweiten Option wäre die Voraussetzung der gruppennützigen Verwendung erfüllt, da die Einnahmen im Sinne der gruppenbezogenen Verursacherverantwortung der stickstoffemittierenden landwirtschaftlichen Betriebe verwendet würden.¹⁷³ Sofern die Agrarumweltmaßnahmen im Rahmen der zweiten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) erfolgen (ELER-Verordnung), sind auch die europarechtlichen Voraussetzungen für Beihilfen erfüllt.

Förderung landwirtschaftlicher Betriebe durch die Gemeinsamen Agrarpolitik

Bisher hat die Förderung landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) (siehe Kapitel 2) der EU aufgrund ihrer weitgehend flächenbezogenen Direktzahlungen kaum einen Beitrag zur Bewältigung negativer Umweltwirkungen der Landwirtschaft geleistet.^{174, 175} Die neuen Regelungen in der Reform der GAP, die in den Jahren 2023 bis 2027 gültig sein soll, verringern den Anteil der flächengebundenen Direktzahlungen nur wenig. Angesichts der bestehenden Klima- und Umweltschutzziele wird von verschiedenen Seiten angeregt, die Direktzahlungen weitgehend durch Prämien für Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen auf europäischer Ebene zu ersetzen.^{176, 177, 178} Dies kann beispielsweise über die alleinige finanzielle Ausstattung der derzeitigen zweiten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und der darin enthaltenen Fördermechanismen für entsprechende Maßnahmen in der nächsten Ausgestaltung der GAP erfolgen. Das trägt auch wesentlich zu einer nachhaltigen Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft bei.

Auf nationaler Ebene verabschiedete das Kabinett der deutschen Bundesregierung im April 2021 die Umsetzung von vier Gesetzen, die eine Basis für den nationalen GAP-Strategieplan bilden sollen. Demnach sollen 25 Prozent der Direktzahlungen an Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen (Eco-Schemes oder Öko-Regelungen) geknüpft sein. In welchem Umfang diese Maßnahmen zur Reduktion des Stickstoffüberschusses beitragen, ist jeweils unterschiedlich. Hierbei können landwirtschaftliche Betriebe zwischen verschiedenen Maßnahmen wählen. Um den Stickstoffeintrag in die Umwelt zu senken, können im Ackerbau vielfältige Kulturen, einschließlich Leguminosen, angebaut werden, unterstützt durch Flächenstilllegung sowie eine extensive Nutzung von Grünland. Bisher sind die Eco-Schemes allerdings nicht sehr ambitioniert.

Eine weitere Möglichkeit, um die Senkung von Stickstoffüberschüssen zu fördern, ist die Umwidmung von Mitteln der ersten Säule in die zweite Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP). Darüber hinaus können die Bundesländer die Förderung

173 | Ausführlich dazu: vgl. Möckel 2017, S. 77, 92–94.

174 | Vgl. Pe'er et al. 2020.

175 | Vgl. Europäischer Rechnungshof 2021.

176 | Vgl. Pe'er et al. 2020.

177 | Vgl. Europäischer Rechnungshof 2021.

178 | Vgl. Leopoldina/acatech/Akademienunion 2020.



stickstoffreduzierender Agrarumweltmaßnahmen ausweiten. Der Umfang einer solchen Umwidmung betrug national bislang 6 Prozent, ab 2023 sollen 10 Prozent aus der ersten Säule der GAP in die zweite Säule umgeschichtet werden. Dieser Anteil soll bis 2026 sukzessive auf 15 Prozent steigen.¹⁷⁹ Die Umsetzung der Bewirtschaftungsmaßnahmen in der zweiten Säule ist freiwillig, und es darf dabei weiterhin nach den europäischen Vorgaben kein Gewinn erzielt werden. Unabhängig davon könnten die Kosten für mehr Umweltschutz in der Landwirtschaft durch eine erhöhte Umwidmung breiter finanziert und mit den zuvor diskutierten Maßnahmen – Steuer auf Mineraldünger und betriebsexterne Futtermittel oder einer Bepreisung von Stickstoffüberschüssen – verbunden werden.

Verbraucher- beziehungsweise Produktabgaben

Der Umbau der Nutztierhaltung ist eine der wichtigsten Maßnahmen auf dem Weg zur nachhaltigen Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft und zugleich eng mit der Diskussion um mehr Tierwohl verbunden (siehe Kapitel 4.1). Das Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung, auch Borchert-Kommission genannt, hat finanzielle Instrumente vorgeschlagen, die das Tierwohl fördern sollen.¹⁸⁰ Auch die Zukunftskommission Landwirtschaft verweist in ihrem Abschlussbericht auf die Bedeutung dieser Vorschläge.¹⁸¹ Diese finanziellen Instrumente setzen bei den Konsumentinnen und Konsumenten an: Die Fachleute der beiden Kommissionen empfehlen eine Anpassung der Mehrwertsteuer oder eine mengenbezogene Abgabe auf tierische Produkte, technisch umgesetzt als Verbrauchssteuer. Anfang März 2021 wurde eine Machbarkeitsstudie veröffentlicht, die die Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen beurteilt.¹⁸² Den ermäßigten Mehrwertsteuersatz für tierische Produkte anzuheben, hätte demnach den Vorteil, dass diese Maßnahme administrativ einfach umzusetzen ist. Eine Anhebung der Mehrwertsteuer hat einen prozentualen Preisaufschlag zur Folge – dadurch fällt der absolute Preisaufschlag für ohnehin bereits höherpreisige, nachhaltig erzeugte tierische Produkte höher aus als bei günstigeren Preisen anderer

Produkte. Die Nachfrage nach nachhaltig erzeugten Produkten könnte sich dadurch verringern. Dieser Effekt tritt bei einer mengenbezogenen Abgabe in Form einer Verbrauchssteuer nicht auf, da diese die Preise für eine Produktkategorie gleichmäßig erhöht.¹⁸³ Somit kann sich die Lenkungswirkung bezüglich des Konsums bei einer solchen Abgabe effektiver auswirken. In beiden Fällen würden auch importierte Waren besteuert. Im Hinblick auf das EU-Beihilferecht ergeben sich deshalb juristische Fragestellungen dahingehend, inwiefern eine Zweckbindung der Einnahmen aus einer mengenbezogenen Abgabe zugunsten der deutschen Landwirtschaft, gegebenenfalls zur Finanzierung von höheren Tierwohlstandards oder Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen, festgelegt werden kann.¹⁸⁴ Darüber hinaus sollte bei beiden Maßnahmen bedacht werden, wie eine sozialpolitische Flankierung aussehen könnte.

4.2.2 Betriebliches Nährstoffmanagement

Die langjährig hohen Stickstoffüberschüsse haben dazu geführt, dass Nährstoffmanagement und Düngepraxis immer strenger reglementiert werden. Vorgaben zur Stickstoffdüngung sind im Düngegesetz sowie konkretisierend in der Düngeverordnung (DüV) und der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) festgelegt. Im Mai 2020 trat die novellierte DüV in Kraft und erlangte zum 1. Januar 2021 ihre volle Gültigkeit.

Die Düngeverordnung beinhaltet bis 2020 den Nährstoffvergleich,¹⁸⁵ eine Nährstoffbilanz, mit der der Nährstoffüberschuss landwirtschaftlicher Nutzflächen ermittelt wurde. Seit 1. Januar 2018 gilt zudem die Stoffstrombilanzverordnung. Sie zielt darauf ab, die Nährstoffflüsse in den Betrieben transparenter zu machen, um die Nährstoffverluste aus der Landwirtschaft zu verringern und zu gewährleisten, dass Umweltziele eingehalten werden. Bei der Stoffstrombilanz dokumentieren Betriebe nach dem Hoftorprinzip die eingehenden und ausgehenden Nährstoffströme (siehe Infokasten Düngebedarfsermittlung und Nährstoffbilanzierung). Die Stoffstrombilanz wird schrittweise eingeführt.

179 | Vgl. BMEL 2021b.

180 | Vgl. Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020.

181 | Vgl. Zukunftskommission Landwirtschaft 2021.

182 | Vgl. Karpenstein et al. 2021.

183 | Das Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung hält es beispielsweise für denkbar, eine Abgabe von 40 Cent pro Kilogramm Fleisch und Fleischverarbeitungsprodukte, 2 Cent pro Kilogramm Milch und Frischmilchprodukte sowie Eier und 15 Cent pro Kilogramm Käse, Butter und Milchkpulver zu erheben, vgl. Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020.

184 | Vgl. Karpenstein et al. 2021.

185 | Vgl. DüV 2017, §§ 8, 9.

Die derzeitigen Vorgaben zur Stoffstrombilanz weisen einige Schwachstellen auf, die die Wirksamkeit der Regelungen begrenzen.¹⁸⁶ Zunächst fallen deutlich weniger Betriebe unter diese Regelungen als bei der flächenbezogenen Nährstoffbilanz, die bis 2020 existierte, auch wenn ab Januar 2023 die Bilanzierungspflicht auf kleinere Betriebe ausgeweitet wird.¹⁸⁷ Es bestehen außerdem keine wirksamen Sanktionsmechanismen für den Fall, dass die Bilanzwertobergrenzen in Paragraph 6 der StoffBilV überschritten werden. Einige der Verordnung zugrunde liegenden Nährstoffbedarfswerte werden von Fachleuten als wissenschaftlich fragwürdig angesehen.¹⁸⁸ Die angegebenen Nährstoffbedarfswerte liegen demnach über dem tatsächlichen Stickstoffbedarf der Pflanzen und legitimieren dadurch die Gabe „überschüssigen“ Stickstoffs, der letztlich im Boden und in der Umwelt verbleibt. Zudem wird in dieser Einschätzung der zulässige Stoffstrombilanzwert von 175 Kilogramm Stickstoff je Hektar – also der maximal zulässige Stickstoffüberschuss – als zu hoch eingeschätzt, um Einträge in die Umwelt wirksam vermindern zu können.¹⁸⁹

In der betrieblichen Praxis variieren die Stickstoffgehalte in Wirtschaftsdünger und Gärresten aus Biogasanlagen sowie im Boden. Diese Stickstoffgehalte sind davon abhängig, wie im Betrieb gefüttert und gedüngt wird. Hierfür finden sich in der Verordnung derzeit Näherungswerte. In Zusammenarbeit mit

den landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten der Bundesländer könnten diese Werte für Wirtschaftsdünger und Böden präzise ermittelt werden und als belegbare Größe in die Berechnungen eingehen. So ließe sich zum Beispiel die Stickstoffnachlieferung aus dem Boden nach langjähriger Gülleanwendung berücksichtigen.

Hinzu kommt, dass die deutschlandweit einheitlichen Vorgaben zur Bilanzierung und zu Bilanzwertobergrenzen regionale oder lokale Unterschiede unberücksichtigt lassen. Die Bilanzierung kann daher regionale Klimabedingungen und Bodeneigenschaften sowie deren Bedeutung für Klimaschutz, Luftreinhaltung und Gewässerschutz nicht ausreichend berücksichtigen. Zum Beispiel wirken sich Stickstoffüberschüsse je nach Bodenart und Bodenmächtigkeit sowie jährlicher Niederschlagshöhe unterschiedlich auf die Stickstoffkonzentration und menge im Sickerwasser und damit auf die Nitratgehalte im Grundwasserkörper aus. In niederschlagsarmen Gebieten führen aufgrund der geringeren Grundwasserneubildung bereits relativ geringe Stickstoffüberschüsse zu einer hohen Nitratkonzentration des Sickerwassers – mit der Folge, dass der Grenzwert von 50 Milligramm Nitrat je Liter Grundwasser vergleichsweise schneller überschritten wird. Die Evaluation der Stoffstrombilanzverordnung bis Ende des Jahres 2021 bietet eine Möglichkeit, diese Schwachstellen zu beseitigen.

186 | Vgl. Taube et al. 2020.

187 | Seit 2018 müssen Betriebe mit mehr als 50 Großvieheinheiten oder mehr als 30 Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche bei einer Besatzdichte von jeweils mehr als 2,5 Großvieheinheiten eine Stoffstrombilanz erstellen. Auch Betriebe, die externen Wirtschaftsdünger aufnehmen oder in einer Biogasanlage verwerten, sind zur Bilanzierung verpflichtet. Ab 2023 gilt die Stoffstrombilanzverordnung zusätzlich für alle Betriebe mit mehr als 20 Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche.

188 | Vgl. Taube et al. 2020.

189 | Der Stoffstrombilanzwert bezeichnet den Summenwert aller Stoffströme und somit den maximal erlaubten Nährstoffüberschuss.



Düngebedarfsermittlung und Nährstoffbilanzierung

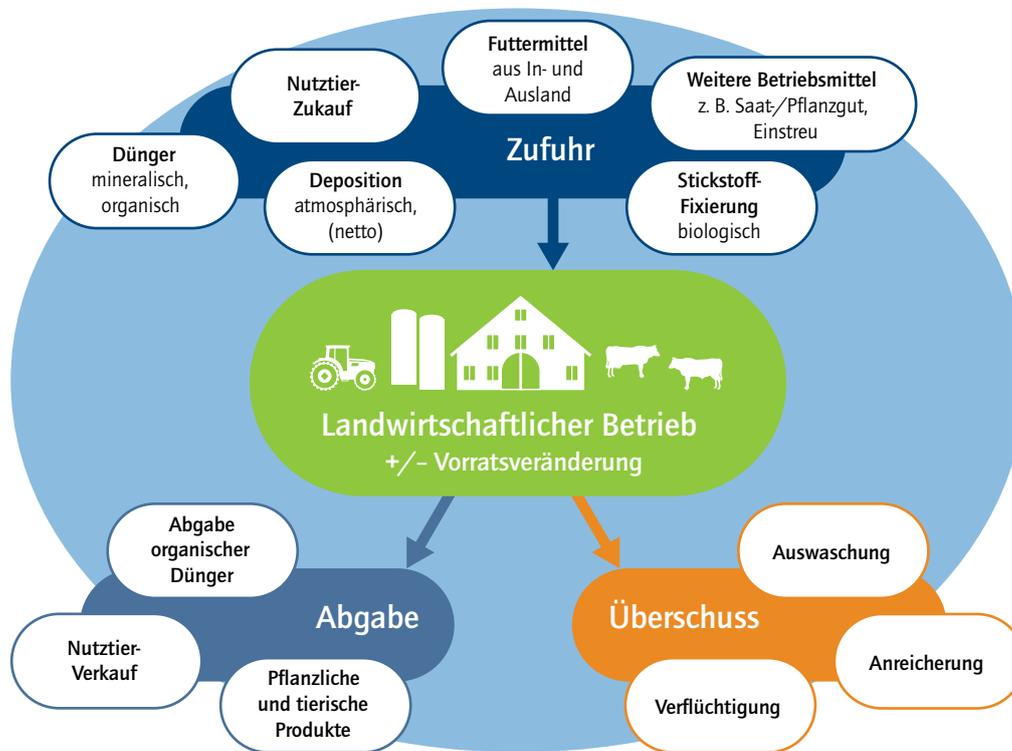


Abbildung 9: Wesentliche Elemente der Stickstoffbilanzierung (Quelle: eigene Darstellung nach Klages et al. 2017)

Für die Düngung im landwirtschaftlichen Betrieb wird der notwendige, fruchtartenspezifische und ertragsabhängige Düngebedarf ermittelt, auf dessen Basis die Düngemaßnahmen geplant werden. Das Nährstoffmanagement und die Ausbringung von Düngemitteln sind in der Düngeverordnung (DüV) geregelt. Nach diesen Vorgaben muss der jährliche Düngemittelbedarf anhand einer Bilanzierung bestimmt werden. Jede Kulturpflanze hat einen unterschiedlichen Bedarf an Nährstoffen. In der Praxis ist eine Einschätzung des voraussichtlichen Ertrags (Zielertrag) erforderlich, der aus dem durchschnittlichen Ertrag der letzten fünf Jahre berechnet wird.

Idealerweise fließen bei der Bestimmung des Zielertrags und des Düngebedarfs Bodeneigenschaften mit ein. Diese variieren auch innerhalb eines einzelnen Feldstücks,

was in der Praxis beispielsweise bedeutet, dass Kulturpflanzen an günstigen Standorten besser wachsen und dadurch mehr Nährstoffe aufnehmen als an anderen Standorten. Der Einsatz von Stickstoffdüngemitteln im Pflanzenbau erfolgt überwiegend im Frühjahr, in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf, von der Pflanzenentwicklung und den verschiedenen Phasen des Pflanzenwachstums. Um den Düngebedarf zu ermitteln, müssen die spezifische Bewirtschaftungseinheit, die spezifische Kultur, Düngerart, Düngermenge und Ausbringungsart ermittelt und dokumentiert werden.

Eine Stoffstrombilanz nach dem Hoftorprinzip berücksichtigt alle zugeführten und abgegebenen Stoffströme eines Betriebs an Betriebs- und Futtermitteln sowie landwirtschaftlichen Produkten (siehe Abbildung 9).

Erfasst wird der Nährstoffimport über Futter- und Düngemittel, Saatgut, Viehzukauf und Stickstoffbindung durch Leguminosen. Dem wird der Nährstoffexport in Form von Tieren, pflanzlichen und tierischen Erzeugnissen, Düngemittel oder Saatgut gegenübergestellt. Diese Nährstoffflüsse müssen sowohl für Stickstoff als auch für Phosphor mittels Lieferscheinen oder Rechnungen dokumentiert werden. Bezieht man das Gesamtergebnis dieser Nährstoffbilanz auf die landwirtschaftliche Fläche eines Betriebs, so lassen sich mittlere Nährstoffüberschüsse pro Hektar berechnen. Zur Kalkulation der Stoffstrombilanz müssen Annahmen für die Stickstoffgehalte der landwirtschaftlichen Produkte getroffen werden. Diese Werte sollten die betrieblichen Bedingungen so realitätsnah wie möglich abbilden. Bei Tierhaltungsbetrieben und Biogasanlagen stehen dazu die Stickstoffgehalte in den eingesetzten Futtermitteln beziehungsweise Substraten sowie im anfallenden Wirtschaftsdünger respektive Gärrest im Vordergrund. Eine wissenschaftsbasierte,

realitätsnahe Angabe der Werte für diese Einzelkomponenten der Bilanz ist entscheidend für eine korrekte Bilanzierung.

Die Stoffstrombilanz kann innerbetriebliche Stoffströme und Unterschiede im Nährstoffmanagement sowie die Stickstoffüberschüsse auf den verschiedenen Flächen eines Betriebs nicht darstellen. Insbesondere bei großen Betrieben und bei stark wechselnden Bodenbedingungen können trotz einer im Mittel ausgeglichenen Nährstoffbilanz hohe Nährstoffüberschüsse auf Teilflächen vorliegen. Die Bilanzierung von Teilflächen geht mit einem höheren Aufwand im landwirtschaftlichen Betrieb einher, liefert aber detaillierte Informationen darüber, wie sich die Bewirtschaftungspraxis verbessern lässt (siehe Kapitel 4.3.1). Teilflächenbilanzen sind daher im Wesentlichen für das betriebliche Wissen von Belang, während sie sich administrativ nur schwer kontrollieren lassen.

Vorgaben der Düngeverordnung für die Ausbringung von Düngemitteln

Die Düngeverordnung regelt die Düngebedarfsermittlung und damit die maximal zulässige Düngermenge, die mögliche Zeitspanne zur Ausbringung von Düngemitteln beziehungsweise Sperrfristen, in denen Dünger nicht angewandt werden dürfen, sowie die Lagerung der Dünger. Sie macht zudem Vorgaben zur verlustarmen Düngeausbringung, etwa in der Gülleapplikation. Zeitliche Begrenzungen der Ausbringung orientieren sich vor allem am Pflanzenwachstum, am Nährstoffbedarf und an Witterungsbedingungen. Generell verboten ist die Stickstoffdüngung im Winter während der Vegetationsruhe beziehungsweise nach der Ernte. Die Regelungen berücksichtigen auch den Anbau von Zwischenfrüchten und die Wahl überwinternder Kulturen sowie die Art des Düngemittels. In der Novellierung der Düngeverordnung (DüV) 2020 wurden im Vergleich zu den vorherigen Auflagen einige Sperrfristenregelungen neu eingeführt.¹⁹⁰

Die Vorgaben enthalten auch Regelungen, in denen Abstände zu Gewässern festgelegt sind (Gewässerrandstreifen), wobei

Entwässerungsgräben und andere Kleingewässer in den meisten Bundesländern davon ausgenommen sind. Abstandsvorgaben oder Pufferflächen fehlen bei stickstoffsensiblen terrestrischen Biotopen. Darüber hinaus berücksichtigt das Düngegesetz weder die bodenspezifischen, geologischen, topografischen und klimatischen Standortverhältnisse noch den Erhaltungszustand und die Vulnerabilität lokaler aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beziehungsweise geschützter Biotope und Arten. Die einzige Ausnahme bildet die Ausweisung sogenannter roter Gebiete zum Schutz gefährdeter Grundwasserkörper oder Gewässer. Diese Gebiete sind definiert durch hohe Nitratgehalte in Grundwasserkörpern sowie die Gefahr einer Eutrophierung von Oberflächengewässern. In den roten Gebieten dürfen im Betriebsdurchschnitt maximal 80 Prozent der Düngemittelmengen ausgebracht werden, die dem nach Düngeverordnung (DüV) ermittelten Stickstoffdüngbedarf entspricht. Es dürfen zudem je Schlag, Bewirtschaftungseinheit oder je zusammengefasster Fläche¹⁹¹ pro Acker- und Grünlandschlag nicht mehr als 170 Kilogramm organische Düngemittel pro Hektar und Jahr ausgebracht werden.

190 | Vgl. LfL 2020a.

191 | Vgl. DüV 2020 nach § 3 Abs. 2 Satz 3.



4.3 Wissensmanagement und nachhaltige Nutzung von Technologien

4.3.1 Potenzial der nachhaltigen Nutzung technologischer Innovationen

Digitales Nährstoffmanagement und Precision Farming

Digitalisierung und Automatisierung können zu einer nachhaltigen Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft beitragen. Das Stichwort hierfür lautet Precision Farming und steht für eine flächendifferenzierte und zielgerichtete Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Es ermöglicht eine präzise sowie insbesondere teilflächenspezifische Düngung und damit einen effizienteren Umgang mit Stickstoff, aber auch anderen Nährstoffen oder Pflanzenschutzmitteln. Mittels Sensoren in Landmaschinen oder über Fernerkundung via Satelliten werden düngungsrelevante Kenngrößen wie zum Beispiel Biomasseertrag, Chlorophyllgehalt, Stickstoffgehalt oder Stickstoffaufnahme von Kulturpflanzenbeständen in definierten Entwicklungsstadien erfasst. Mit diesen Daten sowie entsprechenden Algorithmen und Modellen können Bodeneigenschaften, Erträge und Stickstoffzüge in hoher räumlicher Auflösung beschrieben werden, zum Beispiel im 10-mal-10-Meter-Raster, und der Stickstoffdüngbedarf kann teilflächengenau ermittelt werden.¹⁹² Für den Einsatz dieser Technologien ist ein entsprechendes Wissens- und Datenmanagement erforderlich, welches nur bedingt innerbetrieblich geleistet werden kann.¹⁹³ Aus diesem Grund wird der überbetriebliche Einsatz digitaler Technologien immer wichtiger.

Die Technik der sensorgestützten Düngung, Düngelgorithmen und digitale Düngesysteme werden von Landmaschinen- sowie Düng- und Pflanzenschutzmittelherstellern stetig weiterentwickelt. Zudem bietet die angewandte Forschung viel Potenzial für weitere Entwicklungen. Beispielsweise könnten Düngelgorithmen neben der Ertragsoptimierung auch die Nitratauswaschungsfahr einer Fläche miteinbeziehen. Ein besonderes Optimierungspotenzial besteht darin, kleinräumige Unterschiede

der Bodeneigenschaften auf demselben Ackerschlag besser in den Düngelgorithmen zu berücksichtigen. Dadurch könnte die zu erwartende Stickstoffaufnahme-fähigkeit der Pflanzen, die erheblich vom standortspezifischen Ertragspotenzial abhängt, präziser berücksichtigt und Überdüngung vermieden werden.

Bei allem Potenzial zukunftsweisender Technologien müssen grundlegende Voraussetzungen geschaffen werden. Viele ländliche Gebiete haben keine Anbindung an das Internet mit einem Standard von 4G oder 5G; dies ist aber Voraussetzung, um verschiedene Geräte und Methoden des Precision Farming und des digitalen Nährstoffmanagements einsetzen zu können. Weitere Hemmnisse in der Anwendung bestehen insbesondere für kleinere und mittlere Betriebe durch die hohen Investitionskosten. Neben staatlichen Förderungen ist eine Finanzierung beispielsweise durch gemeinsame Erwerbungen in Erzeugergemeinschaften möglich oder auch durch den Einsatz von Lohnunternehmern. Solche Modelle sind vor allem in einer kleinstrukturierten Landwirtschaft wichtig. Nicht zuletzt setzt der Einsatz digitaler Technologien einen entsprechenden Wissensstand der Anwenderinnen und Anwender sowie Qualifizierungsmöglichkeiten voraus (siehe auch Kapitel 4.3.2).¹⁹⁴

Um die erhobenen Daten effizient zu nutzen, bedarf es eines guten Datenmanagements. Unterschiedliche Datentools und Datenformate behindern derzeit noch den effizienten Austausch von Betriebsdaten. Systemübergreifende Plattformen können einen herstellerunabhängigen Austausch von Daten ermöglichen. Dabei können landwirtschaftliche Betriebe, Start-ups und mittelständische Unternehmen sowie Großunternehmen gleichermaßen davon profitieren, wenn Daten und Dienste sicher und unabhängig geteilt und besser genutzt werden. Verschiedene Projekte dazu wurden bereits initiiert, unter anderem AgriGaia im Rahmen von Gaia-X.^{195, 196} Hinzu kommt, dass die unterschiedliche Auslegung der Düngeverordnung und die technischen Systeme in den einzelnen Bundesländern Inkonsistenzen erzeugen, die eine effiziente Entwicklung breit anwendbarer Datenmodelle einschränken. Eine gemeinsame Herangehensweise der Bundesländer würde es deutlich erleichtern, Betrieben bundesweit einheitliche Datenmodelle für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung anzubieten und diese weiterzuentwickeln.

192 | Vgl. Mittermayer et al. 2021.

193 | Vgl. Gandorfer et al. 2017.

194 | Vgl. ebd.

195 | Vgl. Plattform Lernende Systeme 2020.

196 | Vgl. BMWK 2022.

Die sogenannte Bauernmilliarde stellt eine Investitionsförderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) dar, aus der landwirtschaftliche Betriebe bis zu 40 Prozent Zuschuss erhalten, wenn sie moderne Landtechnikgeräte erwerben.¹⁹⁷ Förderfähige Landtechnikgeräte wurden bislang auf einer Positivliste geführt, die auch emissionsarme Ausbringungstechnik umfasste. Die Nachfrage nach den Zuschüssen überstieg in der ersten Vergabe die vorhandenen Mittel deutlich. Das Vorgehen könnte eine Blaupause für die weitere Förderung stickstoffeffizienter Landtechnik sein, die zudem die Kompatibilität von Maschinen verschiedener Anbieter und das zugehörige Datenmanagement in der Landwirtschaft unterstützt. Eine langfristige Ausgestaltung und Umsetzung einer solchen Maßnahme hat Vorteile in Form einer höheren Planungssicherheit für landwirtschaftliche Betriebe sowie im Markt für Landtechnik.

Effizientere Ausbringung von Düngemitteln

Regelungen zur Einarbeitung von Wirtschaftsdünger zielen darauf ab, Stickstoffemissionen zu mindern, insbesondere Ammoniakemissionen und daraus folgende Feinstaubbelastungen.¹⁹⁸ Seit 2020 muss die Einarbeitung organischer Düngemittel auf unbestelltem Ackerland innerhalb von vier Stunden nach der Ausbringung erfolgen – ab 2025 innerhalb einer Stunde.¹⁹⁹ Die entsprechende Änderung der Regelung in der Düngverordnung (DüV) hin zur verpflichtenden sofortigen Einarbeitung kann die Ammoniakemissionen noch stärker verringern.²⁰⁰

Ausbringungsverfahren mit geringen Emissionen stehen bereits zur Verfügung, erfordern aber betriebliche Investitionen. In der Praxis bereits angewandt werden die Gülleinjektion, das Schleppschlauch- und das Schlitzverfahren. Die Breitverteilung, die im Zeitraum März 2019 bis Februar 2020 noch für 35 Prozent des flüssigen Wirtschaftsdüngers eingesetzt wurde,²⁰¹ ist auf bestelltem Ackerland seit Februar 2020 und mit einer Übergangsfrist bis 2025 auch auf Grünland und im mehrschnittigen Feldfutterbau untersagt. Auf unbestelltem Ackerland ist gemäß Düngverordnung (DüV) bislang allerdings keine derartige Einschränkung

vorgesehen. Ein entsprechendes generelles Verbot der Breitverteilung trägt dazu bei, Stickstoffemissionen in Form von Ammoniak in die Umwelt zu mindern.

Auch bei der Ausbringung von Mineraldünger bestehen Verbesserungspotenziale. Die aktuell weit verbreitete Ausbringung mit Zentrifugalstreuern, mit 90 Prozent Marktanteil im Jahr 2017, ist nur unzureichend präzise an Feldrändern sowie bei ungleichmäßigen Feldgrenzen, denn dabei gelangt Dünger unkontrolliert auch in angrenzende Gebiete.²⁰² Zentrifugalstreuer mit Grenzstreueinrichtungen und Maschinen mit einer Pneumatikstreuung bieten hier Verbesserungspotenzial. Bei Letzteren kann insbesondere der Einsatz von Sensorik dazu beitragen, Düngemittel teilflächengenau auszubringen und damit eine Verringerung der Stickstoffüberschüsse zu bewirken. Nachteile der Pneumatikstreuer sind eine geringere Flächenleistung je Arbeitsgang im Vergleich zu Zentrifugalstreuern der oberen Leistungsklasse sowie höhere Anschaffungskosten und anspruchsvollere Technik.²⁰³

Stickstoffeinträge in die Umwelt können auch durch den Einsatz von Inhibitoren verringert werden. Diese Verbindungen werden dem Düngemittel beigemischt und bewirken eine verlangsamte Umsetzung des Düngemittels durch die Enzyme von Bodenorganismen. Die Wirksamkeit von Inhibitoren richtet sich – wie der gesamte Stickstoffabbau – nach der mikrobiellen Aktivität im Boden, die stark temperatur- und feuchteabhängig ist.²⁰⁴ Mineraldünger, deren Harnstoffgehalt 50 Prozent der Gesamtstickstoffmenge oder mehr ausmacht, und Ammonium-Nitrat-Harnstoff-Lösungen müssen, sofern sie nicht sofort in den Boden eingearbeitet werden, seit 2020 mit Ureasehemmern versehen werden, um die Freisetzung von Ammoniak aus Harnstoff signifikant zu reduzieren. Die Düngung mit Harnstoff auf unbestelltem Ackerland ist gemäß Düngverordnung (DüV) von dieser Regelung ausgenommen; ergänzende Vorgaben hierzu können eine weitere Reduzierung der Emissionen bewirken.

Nitrifikationsinhibitoren verzögern die als Nitrifikation bezeichnete Oxidation von Ammoniumionen zu Nitrat, Lachgas oder

197 | Vgl. BMEL 2020a.

198 | Vgl. Rösemann et al. 2019.

199 | Vgl. DüV 2020, § 6. Ausnahmen bestehen für Festmist von Huf- oder Klauentieren, Kompost und Düngemitteln mit festgestelltem Trockensubstanzgehalt < 2 Prozent.

200 | Vgl. WBA/WBD/SRU 2013.

201 | Vgl. Destatis 2022.

202 | Vgl. DLG 2017.

203 | Vgl. ebd.

204 | Vgl. Irigoyen et al. 2003.



elementarem Stickstoff, indem sie die Aktivität bodenbürtiger Bakterien unterbinden. So werden weniger von diesen Stickstoffverbindungen, insbesondere Nitrat, in die Umwelt eingetragen, und mehr Ammonium wird für die Pflanzen verfügbar.²⁰⁵ Dies wiederum kann helfen, gewohnte Erträge bei insgesamt verringerter Düngemenge zu erhalten.²⁰⁶ Diese positiven Effekte müssen gegen einen eventuell zusätzlichen Austrag von Ammoniak²⁰⁷ abgewogen werden. Dieser würde dann in größeren Mengen entstehen – in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Porosität des Bodens. Zudem muss auch der eventuell nur langsame Abbau einiger althergebrachter Inhibitorsubstanzen in der Umwelt²⁰⁸ betrachtet werden. Hier sind neue, innovative, auch natürliche Produkte gefragt, die derzeit entwickelt werden.

Auch aus Ställen und bei der offenen Lagerung von Wirtschaftsdünger entweichen relevante Mengen von Stickstoffverbindungen, insbesondere Ammoniak. Mindestlagerkapazitäten von Wirtschaftsdünger sind seit 2017 in Paragraph 12 der Düngerverordnung vorgeschrieben, damit Betriebe anfallenden Wirtschaftsdünger während der Sperrfristen für Düngung lagern können und deren Einhaltung somit sichergestellt ist. Auch im Stallbetrieb gibt es verschiedene Ansätze, um Emissionen zu verringern – dies betrifft die Temperatur im Stall und die Reinigungsstrategie.²⁰⁹ Die Emissionen variieren dementsprechend je nach Haltungssystem, wobei die Weidehaltung etwas geringere Stickstoffemissionen verursacht als die offene Stallhaltung. In geschlossenen Ställen können auch Vorrichtungen zur Abgasreinigung eingesetzt werden, die jedoch kostenintensiv sind.²¹⁰ In manchen Bundesländern sind solche Vorrichtungen in Abhängigkeit von Nutztierart und Stalltyp vorgeschrieben.²¹¹ Güllelagerung in gasdichten Behältern und geschlossene Stallsysteme

können die Emissionen deutlich vermindern und die Nutzungseffizienz von Stickstoff erhöhen. Die Technische Anleitung (TA) Luft – die Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionschutzgesetz – ist von besonderer Bedeutung bezüglich der Vorgaben für notwendige Abluftreinigungssysteme. Im Juni 2021 hat das Bundeskabinett die seit Jahren vorbereitete Neufassung der TA Luft beschlossen. Den überarbeiteten Regelungen kommt eine hohe Bedeutung für Stickstoffemissionen aus der Nutztierhaltung zu. Unter anderem müssen nun große Tierhaltungsanlagen mit mehr als 1.500 Mastschweinen oder mehr als 30.000 Masthähnchen 70 Prozent der Ammoniak beziehungsweise Gesamtstickstoff sowie Feinstaubemissionen aus der Abluft entfernen.^{212, 213} Der Stickstoffniederschlag in der Umgebung einer Anlage muss im Genehmigungsverfahren berücksichtigt und ein Mindestabstand von 150 Metern zu stickstoffempfindlichen Pflanzen und Ökosystemen eingehalten werden.²¹⁴

Stickstoffreduzierte und bedarfsgerechte Fütterung

Die Nutztierfütterung bietet ebenfalls Ansatzpunkte für eine Verringerung der Stickstoffeinträge in die Umwelt. Aktuell enthält das Futter von Nutztieren oft Rohprotein in einer Menge und in einer Zusammensetzung der Aminosäuren, die nicht dem Bedarf der Tiere entspricht. In den vergangenen Jahren wurden der Proteinbedarf der verschiedenen Tiere und deren Aufnahme von Rohprotein aus dem Futter für die Praxis neu bewertet.^{215, 216} Dabei ergeben sich Möglichkeiten für eine stickstoffreduzierte und bedarfsgerechte Fütterung, die als Precision Feeding bezeichnet wird und auf einer Zufütterung limitierender essenzieller Aminosäuren basiert. Precision Feeding führt zu deutlich niedrigerem Stickstoffgehalt im Wirtschaftsdünger²¹⁷ sowie insgesamt

205 | Vgl. Ruser/Schulz 2015.

206 | Vgl. Rose et al. 2018.

207 | Ammoniak kann über den Luftpfad ausgetragen werden. Da der Gehalt von Ammoniak/Ammonium in Boden beziehungsweise Luft in einem Gleichgewicht vorliegt, kann eine größere Menge Ammoniak im Boden einen höheren Verlust über den Luftpfad bedeuten. Ammoniak kann über den Luftpfad ausgetragen werden. Da der Gehalt von Ammoniak/Ammonium in Boden bzw. Luft in einem Gleichgewicht vorliegt, kann eine größere Menge Ammoniak im Boden einen höheren Verlust über den Luftpfad bedeuten, vgl. Lam et al. 2017.

208 | Vgl. Scheurer et al. 2016.

209 | Vgl. LfL 2020b.

210 | Insgesamt besteht ein Zielkonflikt zwischen geringeren Emissionen bei geschlossenen Ställen mit Abluftfilter und dem für das Tierwohl bedeutenden Auslauf der Tiere. Eine Lösung des Zielkonflikts ist im Wesentlichen nicht absehbar.

211 | Vgl. DLG 2018.

212 | Vgl. BMU 2021.

213 | Vgl. TA Luft 2021.

214 | Vgl. BMU 2021.

215 | Vgl. DLG 2019.

216 | Vgl. DLG 2020.

217 | Vgl. LfL 2021b.

geringeren Stickstoffausscheidungen der Tiere. Auch die Zusammensetzung der Stickstoffausscheidungen verändert sich durch eine angepasste Fütterung, sodass zum Beispiel weniger Harnstoff ausgeschieden wird, wodurch Ammoniakemissionen deutlich verringert werden können. Besonders in Regionen mit hohen Gülleüberschüssen kann Precision Feeding einen Beitrag zur Verringerung von Stickstoffüberschüssen und Ammoniakemissionen leisten. Eine bedarfsgerechtere Futtermittelzufuhr trägt zudem zum Wohl der Tiere bei, deren Stoffwechsel dann weniger belastet wird. Auch die Betriebe können von niedrigeren Kosten profitieren, weil die notwendige Proteinfütterung je Tier durch eine bessere Aufnahme der nach dem Bedarf ausgerichteten Fütterung geringer ausfällt.

In der ökologischen Tierhaltung kann Precision Feeding derzeit nicht angewandt werden. Eine Zufütterung limitierender essenzieller Aminosäuren ist nach den entsprechenden Vorgaben kaum möglich, da diese Aminosäuren überwiegend mithilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen hergestellt werden. Ersatzstrategien zur Beschaffung der limitierenden essenziellen Aminosäuren sind daher seit längerem ein Thema in Forschung und Praxis der ökologischen Tierhaltung.^{218, 219} Erhebliche Unterhalte an essenziellen Aminosäuren in der Fütterung in ökologischen Betrieben können dazu führen, dass die Stickstoffausscheidungen von Schweinen und Geflügel bei gleicher Besatzdichte und gleichem Leistungsniveau in der ökologischen Tierhaltung größer sind als bei konventioneller, stickstoffminimierter Fütterung. Bezogen auf die Menge an erzeugten Lebensmitteln tierischer Herkunft können die Stickstoffausscheidung und die damit verbundenen Ammoniakemissionen in der ökologischen Tierhaltung also höher sein als bei konsequenter Anwendung der Handlungsoptionen in der konventionellen Tierfütterung.

Management des Mikrobioms im Boden

Das gezielte Management des Mikrobioms, also der Gesamtheit der Kleinstlebewesen im Boden, ist eine neue Strategie zur Beeinflussung von Stoffkreisläufen.²²⁰ Anhand einer veränderten Verwertung von Düngemitteln durch das Mikrobiom können

deren Einsatz optimiert und Stickstoffeinträge in die Umwelt verringert werden. Dies kann durch eine veränderte Wahl von Fruchtfolgen angeregt werden oder durch gezielte Einbringung, sogenanntes Animpfen, von Kleinstlebewesen mit gewünschten Eigenschaften in den Boden erfolgen.²²¹ Über die veränderte Verwertung von Stickstoff im Boden hinaus kann das Management des Bodenmikrobioms auch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduzieren sowie die Bodengesundheit²²² und Pflanzenproduktivität²²³ verbessern. Der Einsatz der Technologie steht noch am Anfang und unterliegt in seiner Wirksamkeit vielfältigen Einflussfaktoren, unter anderem der Fruchtfolge, Bodeneigenschaften und der Witterung.

Methoden der Pflanzenzüchtung

Züchtungsmethoden, die auf eine Anpassung an die immer stärker spürbaren Effekte des Klimawandels abzielen, tragen ebenfalls zu einer nachhaltigen Stickstoffnutzung bei. Höhere Temperaturen fordern zusammen mit Extremwetterereignissen, insbesondere Starkregen oder ausgeprägten Trockenperioden, die Landwirtschaft und ihre Produktivität heraus. Fallen Kulturen durch solche drastischen Wetterereignisse aus oder wird deren Entwicklung stark gehemmt oder verzögert, kann dies dazu führen, dass ausgebrachter Dünger nicht durch Pflanzen aufgenommen wird und höhere Stickstoffüberschüsse auf der landwirtschaftlichen Fläche verbleiben. Auch die Züchtung stickstoffeffizienter Pflanzen kann dazu beitragen, dass Stickstoff von der Pflanze effizienter aufgenommen und verwertet wird. Aufgrund veränderter Eigenschaften, zum Beispiel tiefergehender Wurzeln oder angepasstem Stoffwechsel, können entsprechend gezüchtete Pflanzen geringere Stickstoffmengen im Boden besser verwerten, wie beispielsweise Forschungsergebnisse zu Reis zeigten.²²⁴

Die Möglichkeiten der Pflanzenzüchtung werden neben den klassischen Züchtungsmethoden insbesondere durch neue molekularbiologische Techniken wie die CRISPR/Cas-Technologie erweitert und beschleunigt. Das Potenzial dieser Techniken im Lebensmittelbereich ist groß, ihr Einsatz wird in Europa jedoch bislang durch geringe gesellschaftliche Akzeptanz gehemmt, da

218 | Vgl. Jakobsen/Hermansen 2001.

219 | Vgl. Zollitsch 2007.

220 | Vgl. Qiu et al. 2019.

221 | Vgl. Hartman et al. 2018.

222 | Vgl. Dubey et al. 2019.

223 | Vgl. Saleem et al. 2019.

224 | Vgl. Liu et al. 2021.



so erzeugte Pflanzen als genetisch veränderte Organismen behandelt werden.^{225, 226} Ein wesentlicher Ansatzpunkt, um Kulturpflanzen über Züchtungsmethoden besser an den Klimawandel anzupassen, ist es daher, die Gesetzeslage unter Beibehaltung der notwendigen Transparenz und Sicherheit neu zu ordnen.²²⁷

Prozess- und Produktinnovationen für Lebensmittel

Alternative Proteinprodukte können zukünftig dazu beitragen, Stickstoffüberschüsse abzubauen, die Probleme intensiver Nutztierhaltung zu vermindern und eine wachsende Weltbevölkerung langfristig mit pflanzenbasierten, proteinhaltigen Produkten zu versorgen. Solche Produkte aus nachhaltig erzeugten Hülsenfrüchten wie zum Beispiel Soja und Erbsen können Fleisch auf dem Speiseplan ergänzen oder ersetzen. Auch werden Hybridprodukte mit verringertem Fleischanteil angeboten. Pflanzenbasierte Produkte weisen in jüngster Zeit verbesserte Eigenschaften hinsichtlich Geschmack, Sensorik und Verarbeitung auf, die für Verbraucherinnen und Verbraucher beim Fleischersatz von Bedeutung sind.²²⁸ Auch Algen, Pilze und Insekten kommen als Proteinlieferanten infrage. Sie sind im Hinblick auf eine nachhaltige Stickstoffnutzung interessant, da sie überwiegend in geschlossenen Produktionssystemen erzeugt werden und deshalb kaum Nährstoffe in die Umwelt gelangen können. Diesen Vorteil bringen auch Ansätze einer zellbasierten, künstlichen Produktion von Fleisch aus tierischen Zellen mit sich.²²⁹ Der technische Herstelleraufwand ist jedoch hoch, und die Nachhaltigkeit dieses Verfahrens muss noch in hochskalierten Prozessen bewiesen werden. Entsprechend muss die Gesamtbilanz dieser Prozesse herangezogen werden, um mögliche Nachhaltigkeitsvorteile zu bewerten. Wie Verbraucherinnen und Verbraucher solche hochtechnisierten Herstellungsverfahren wahrnehmen, kann eine zukünftig relevante Marktdurchdringung ebenfalls infrage stellen. Ein insgesamt großes Interesse an alternativen Proteinquellen in der Bevölkerung belegt der Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) -Ernährungsreport 2021: Etwa ein Drittel der Befragten gibt demnach an, Alternativprodukte zu Fleisch- und Milchwaren zu kaufen.²³⁰

225 | Vgl. acatech 2020.

226 | Vgl. Leopoldina et al. 2019.

227 | Vgl. ebd.

228 | Vgl. Rubio et al. 2020.

229 | Vgl. acatech 2020.

230 | Vgl. BMEL 2021a.

231 | Vgl. acatech 2020.

4.3.2 Beratung von Betrieben sowie Aus- und Fortbildung

Eine nachhaltige Stickstoffnutzung – ebenso wie andere Bereiche der Landwirtschaft – erfordert von den landwirtschaftlichen Betrieben ein grundlegendes Verständnis für ökologische Zusammenhänge, die Auswirkungen der jeweiligen Bodennutzungen und Bewirtschaftungsmethoden sowie Kenntnisse darüber, welche agrarumweltrechtlichen Erfordernisse an die landwirtschaftliche Bodennutzung bestehen. Darüber hinaus wird das Wissen über die Möglichkeiten neuer Technologien einschließlich der Digitalisierung und anderer Methoden der Landwirtschaft 4.0 weiter an Bedeutung gewinnen. Aus- und Weiterbildung sowie Beratung sind wesentliche Faktoren, um die Bewirtschaftung im Allgemeinen und den Stickstoffeinsatz im Speziellen nachhaltig zu gestalten. Mittel- und langfristig wird zudem der Wissenstransfer aus der Grundlagen- und angewandten Forschung eine größere Rolle spielen, wenn es darum geht, neue Erkenntnisse zeitnah in die Praxis umzusetzen.

Aus- und Fortbildung

Die Berufsausbildung von Landwirtinnen und Landwirten erfolgt in Deutschland in anerkannten Ausbildungsbetrieben und der Berufsschule. Die akademische Ausbildung findet an Universitäten und Fachhochschulen in agrarwissenschaftlichen Studiengängen statt. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendungen, zum Beispiel von Smart-Farming-Systemen oder Methoden des ökologischen Landbaus, müssen dabei breit vermittelt werden. In allen Bildungsstufen müssen vermehrt ökologische Aspekte und Bewirtschaftungsmethoden sowie zukünftig die Möglichkeiten der Landwirtschaft 4.0 integriert werden. Erst das entsprechende Wissen um den fachgerechten Umgang mit nachhaltigen Bewirtschaftungsmethoden und -techniken sowie um deren Nutzen für Ökologie und Ökonomie ermöglicht eine effiziente und nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft.²³¹ Inhalte des Nährstoffmanagements in Verbindung mit weiteren ökosystemaren Wirkungen des Nährstoffeinsatzes

müssen integraler Bestandteil aller Stufen der Aus- und Fortbildung sein. Beispielsweise ist eine verstärkte Vermittlung von Wissen um die Methoden der Gründüngung mit Zwischenfrüchten relevant, um deren verstärkten Einsatz zu fördern und damit einen Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt zu leisten. Die wachsenden gesellschaftlichen und rechtlichen Ansprüche an die Landwirtschaft erfordern von den Landwirtinnen und Landwirten zudem eine stetige Weiterbildung und lebenslanges Lernen über die erstmalige Berufsausbildung hinaus. Steigende Anforderungen an das Wissensmanagement werden kleinere Betriebe, insbesondere im Nebenerwerb, dabei vor größere Herausforderungen stellen.

Beratung und Forschung

Generell sind landwirtschaftliche Betriebe auf unabhängige Informationen angewiesen. Die landwirtschaftliche Beratung ist dabei eine Schlüsselkomponente des Wissenstransfers in die Praxis. Umso wichtiger ist eine objektive und neutrale staatliche oder staatlich finanzierte Beratung ohne eigene ökonomische Interessen der Beratenden. Die staatliche Officialberatung, eine hoheitliche Aufgabe der Bundesländer, ist in den jeweiligen Bundesländern unterschiedlich stark vertreten und zum Teil in den vergangenen Jahren zurückgefahren worden. Landwirtschaftsämter oder Kammern beraten daher oftmals nicht betriebsbezogen, vielmehr beschränkt sich die Beratung in vielen Fällen auf allgemeine oder regionsspezifische Empfehlungen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und Produktivität. Im Bereich der Officialberatung besteht aus diesem Grund ein großer Bedarf an betriebsbezogener Beratung, die ökonomische und ökologische Dimensionen vereint, um die Bewirtschaftung, Fruchtfolgen, die Bodenbearbeitung oder den Einsatz von Düngemitteln anzupassen. Voraussetzung hierfür ist aber eine entsprechende finanzielle Ausstattung und Förderung durch die Bundesländer. Zu diesem Zweck könnten die Einnahmen aus einer Steuer auf gehandelte, betriebsexterne Dünge- und Futtermittel oder eine Stickstoffüberschussabgabe (siehe Kapitel 4.2.1) verwendet werden.

Für eine breite, individuell verfügbare Beratung zum Umgang mit Stickstoffdüngung und Nährstoffmanagement sind Initiativen sowohl von privaten Institutionen als auch vom Staat sinnvoll. Beratungsplattformen werden in Zukunft eine große Rolle spielen, sie müssen zielgerichtet eingerichtet, bespielt und gepflegt werden: Ein einfacher Wissenszugang und auch der Austausch von Informationen zu einem effizienten Nährstoffmanagement und entsprechenden Bewirtschaftungstechniken (zum Beispiel teilflächenspezifische Düngung und Best-Practice-Beispiele von landwirtschaftlichen Betrieben) bieten effektive Möglichkeiten der Wissensvermittlung und Weiterentwicklung.

Daher sollten Beratungsplattformen stärker staatlich unterstützt und finanziell gefördert werden. Dies gilt insbesondere auch für den Austausch zwischen regionalen oder lokalen Betrieben mit ähnlicher Ausrichtung und ähnlichen Standortverhältnissen. Entsprechende digitale Foren bestehen schon heute in vielfältiger Form, sind aber auf das Engagement und die Finanzierung durch die einzelnen Mitwirkenden angewiesen. Staatliche oder staatlich geförderte Plattformangebote können diesen Wissensaustausch verbreitern und verstetigen.

Vertiefungsfächer zur Beratung in Studiengängen der Agrarwissenschaften könnten eine breitere Basis für zukünftige Beraterinnen und Berater schaffen. Darüber hinaus kann über den Weg staatlich anerkannter beziehungsweise zertifizierter Berater, die der Verpflichtung zur Fortbildung unterliegen, das stets wachsende Wissen zu Digitalisierung und Datenverarbeitung sowie zu nachhaltigen Bewirtschaftungskonzepten auf dem neuesten Stand gehalten werden.

Die Forschung spielt eine wichtige Rolle auf dem Weg zu einer nachhaltigen Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft (siehe Kapitel 4.3.1 und 4.3.2). Neben der wissenschaftlichen Weiterentwicklung stickstoffeffizienter Bewirtschaftungsmethoden und -techniken sind auch Kooperation und Kommunikation zwischen landwirtschaftlichen Betrieben und Forschenden notwendig, um Ergebnisse in der Praxis zielgerichtet und ohne großen zeitlichen Verzug umsetzen zu können. Schon heute gibt es zahlreiche Projekte zu nachhaltigem Stickstoffmanagement, zum Tierwohl oder zur Digitalisierung in der Landwirtschaft. Eine Ausweitung der Aktivitäten unter verstärktem Einbezug landwirtschaftlicher Betriebe, gegebenenfalls auch als Demonstrationsbetriebe, kann eine Modellwirkung erzeugen und veränderte Bewirtschaftungsmethoden verstärkt in die Anwendung bringen.

4.4 Nachhaltiger Konsum und informierte Kaufentscheidung

Im Gegensatz zu anderen Themen wie „Bio“, „Tierwohl“ oder „Treibhausgase“ werden die Umweltwirkungen von Stickstoff bis heute in der Öffentlichkeit kaum mit Lebensmitteln in Verbindung gebracht. Um die Nachfrage nach nachhaltig erzeugten Lebensmitteln auch für eine nachhaltige Stickstoffnutzung zu nutzen, ist es daher sinnvoll, konsumpolitische Maßnahmen zu bündeln, die darauf abzielen, negative Umwelteffekte insgesamt zu verringern. Zu den konsumpolitischen Maßnahmen können auch Verbraucher- und Produktabgaben gezählt werden, die als



Option der Internalisierung externer Kosten in Kapitel 4.2.1 behandelt wurden.

4.4.1 Nachhaltiger Konsum und Vermeidung von Lebensmittelabfällen

Handelsketten reagieren nahezu unmittelbar auf verändertes Verbraucherverhalten, geben Kundenwünsche an die Vermarkter und über diese letztlich an die Erzeuger weiter. Fragen Kundinnen und Kunden mehr nachhaltig produzierte Lebensmittel nach, liegt es nahe, Veränderungen bei der Erzeugung von Lebensmitteln vorzunehmen. Intuitiv verständliche, im Markt gut sichtbare und glaubwürdige, unabhängige Produktinformationen zu Lebensmitteln erhöhen die Salienz²³² von nachhaltig erzeugten Lebensmitteln am Point of Sale und ermöglichen informierte Kauf- und Konsumententscheidungen (siehe nachfolgender Abschnitt Produktkennzeichnung). Werden Produkte aus der ökologischen Landwirtschaft stärker nachgefragt und verringert sich der Konsum tierischer Produkte, nehmen Kundinnen und Kunden damit indirekt Einfluss auf den Stickstoffeintrag in die Umwelt – vorausgesetzt, dies wirkt sich entsprechend fördernd auf eine insgesamt nachhaltige Erzeugung aus (siehe Kapitel 4.1). Damit steht auch ein vermehrter Konsum pflanzlicher und anderer umweltfreundlich hergestellter Alternativen zu tierischen Produkten in Zusammenhang. Mehr nachhaltiger Konsum kann auch in der Gemeinschaftsverpflegung in Betriebskantinen sowie Bildungs- und Pflegeeinrichtungen angeregt werden, indem dort Aspekte der Nachhaltigkeit im Speisenangebot stärker berücksichtigt werden. Die Gemeinschaftsverpflegung erreicht in Deutschland täglich circa 16,5 Millionen Menschen.²³³ Dieser Bereich bietet somit viel Potenzial für den Absatz umweltfreundlich produzierter und gesunder Lebensmittel. Außerdem sind Kantinen und Mensen geeignete Orte, um Konsumentinnen und Konsumenten über die Auswirkungen verschiedener Produkte auf Umwelt und Gesundheit zu informieren. Der Staat könnte hierbei mit gutem Beispiel vorangehen, indem er Vorgaben für die Beschaffung nachhaltiger Lebensmittel oder für das Catering erarbeitet und die Gemeinschaftsverpflegung in staatlichen Einrichtungen entsprechend umstellt.

Die Vermeidung von Lebensmittelabfall ist ein weiterer wichtiger Hebel im Konsumbereich, der zur Einsparung von Stickstoffemissionen und zur Reduktion anderer schädlicher Umweltwirkungen der Landwirtschaft beiträgt. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat in seiner nationalen Strategie das Ziel formuliert, die Lebensmittelabfälle auf Einzelhandels- und Verbraucherebene bis 2030 zu halbieren.²³⁴ Dabei ist vor allem die Steigerung des Problembewusstseins auf Verbraucherebene ein zentraler Punkt. Aufklärungskampagnen wie „Zu gut für die Tonne“ sollen die Lebensmittelwertschätzung in der Bevölkerung erhöhen, wobei auch Bildungsstätten für junge Menschen wie Kindergärten und Schulen eine Rolle spielen. Neben der privaten Küche gibt es zudem in der Außer-Haus-Verpflegung große Einsparmöglichkeiten. Die Kooperation mit Tafeln ist ebenfalls eine Möglichkeit, Lebensmittelabfälle zu verringern. Zusätzlich gilt es, Infrastrukturen für die Verteilung von Lebensmittelüberschüssen zu fördern.²³⁵ Auf Industriebene können Handelsnormen mit dem Ziel angepasst werden, dass weniger Lebensmittel aufgrund zu rigider Qualitäts- oder Etikettiervorschriften entsorgt werden.²³⁶ Auch Kampagnen wie die bereits abgeschlossene „Genießt uns!“, die lebensmittelsparendes Handeln von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette durch Auszeichnungen gewürdigt hat, können als Vorbild dienen.²³⁷ Es bedarf jedoch auch vertiefter Forschung, um weitere Maßnahmen zur wirkungsvollen Verringerung von Lebensmittelabfällen zu identifizieren und deren Umsetzung zu initiieren.²³⁸

4.4.2 Produktkennzeichnung und informierte Kaufentscheidung

Bei einzelnen Produkten, etwa Eiern, ist es bereits Pflicht, Informationen für Verbraucherinnen und Verbraucher vorzuhalten – in diesem Fall über die Haltungsform von Legehennen und die Herkunft der Eier. Hinweise auf Umweltwirkungen von Produkten finden sich indes meist nur indirekt. In der ökologischen Landwirtschaft sind diese Hinweise oft an eine Zugehörigkeit zu Anbauverbänden gebunden, die Richtlinien für Pflanzenbau, Tierhaltung und Verarbeitung vorgeben und prüfen. Nicht zuletzt die große Zahl verschiedener Labels erschwert es den

232 | Salienz beschreibt die Sichtbarkeit beziehungsweise Auffälligkeit, vgl. Reisch/Sunstein 2021.

233 | Vgl. Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft 2021.

234 | Vgl. BMEL 2019c.

235 | Vgl. Deutsche Bundesregierung 2019.

236 | Vgl. BMEL 2012.

237 | Vgl. Tafel Deutschland e.V. 2014.

238 | Vgl. WBAE 2020.

Verbraucherinnen und Verbrauchern, sich mit vertretbarem Zeitaufwand eine Übersicht über deren Bedeutung und Glaubwürdigkeit zu verschaffen beziehungsweise eine informierte Kaufentscheidung zu treffen. Zu diesen Labels gehören oftmals auch solche, deren genaue Definition unklar ist. Die verbesserte Information von Verbraucherinnen und Verbrauchern durch den Handel kann daher die Einführung eines vereinheitlichten Labels für Umwelteffekte bringen.²³⁹ Dieses informiert zusammengefasst über Umwelteffekte durch Stickstoff sowie andere Umweltfaktoren in Pflanzenbau, Tierhaltung und Produktion des Lebensmittels, etwa Treibhausgasemissionen oder Wasserverbrauch.^{240, 241} Für die Bewertung von Erzeugnissen werden entsprechende Daten über die Bilanzen der Herstellung eines bestimmten Produkts benötigt. Zudem muss abgewogen werden, welche Gewichtung Themen wie Biodiversität, Klimaschutz oder Wasserverbrauch in einem solchen Label haben sollen. Das Umwelteffektlabel könnte ein privates oder staatliches Vertrauenslabel sein, das unabhängig zertifiziert ist und zudem eine hohe Aussagekraft besitzt.²⁴² Der Vorteil eines staatlichen Labels besteht darin, dass die Konsumentinnen und Konsumenten einer solchen Kennzeichnung besonders vertrauen dürften. Außerdem könnten auf diese Weise faire Wettbewerbsbedingungen im Hinblick auf die vielfältigen Informationen über Umweltwirkungen von Produkten geschaffen werden. In diesem Zusammenhang ist auch eine Herkunftskennzeichnung denkbar, die bereits bei einigen Produkten vorhanden ist.²⁴³ Einschlägige staatliche Maßnahmen müssen im Kontext des europäischen Wettbewerbsrechts geprüft werden, um einer Diskriminierung anderer Staaten beziehungsweise der dort erzeugten Produkte entgegenzuwirken.

Das allgemeine Wissen darüber, wie Lebensmittel erzeugt werden, wie man Lebensmittelabfälle vermeidet und welche Umweltwirkungen damit verbunden sind, kann gestärkt werden, indem diese Thematik in die schulische und gesellschaftliche Bildung integriert wird. Die Notwendigkeit der Vermittlung von Wissen rund um nachhaltigen Konsum ist auch im „Nationalen

Programm für nachhaltigen Konsum“ der Bundesregierung verankert.²⁴⁴ Wie bereits erwähnt sind im Sinne einer nachhaltigen Stickstoffnutzung veränderte Ernährungsgewohnheiten zugunsten von Produkten mit hoher Stickstoff- beziehungsweise Nährstoffeffizienz begrüßenswert. So könnten Bildungsinitiativen Informationen zum Konsum tierischer beziehungsweise pflanzlicher Lebensmittel sowie zu deren Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt vermitteln, über Landwirtschaft und Tierwohl informieren sowie Kennzeichnungen von Lebensmitteln behandeln – sowohl zur Bedeutung von Labels im Rahmen der EU-Öko-Verordnung sowie von Mindesthaltbarkeitsdaten, wobei letztere nicht mit Verfalls- oder Ablaufdaten gleichzusetzen sind.²⁴⁵

4.4.3 Verhaltensbasierte Instrumente

Heute wird neben nachfrageseitigen Instrumenten wie Steuern, Geboten, Information und Bildung auch das Nudging (übersetzt: „Anstoßen“) als verbraucherpolitisches Instrument erprobt. Dabei sollen sogenannte Nudges nachhaltige Kaufentscheidungen unterstützen.²⁴⁶ Im Kontext einer nachhaltigen Ernährung dienen diese verhaltensbasierten Instrumente dazu, Verbraucherinnen und Verbrauchern die Entscheidung für entsprechende Produkte zu vereinfachen. Nudges sind besonders wirksam, wenn sie einfach, attraktiv und sozial relevant sind sowie zeitlich klug gewählt werden.²⁴⁷ Nudges für nachhaltigen Lebensmittelkonsum im Alltag sind beispielsweise vegetarische Speisen, die standardmäßig in breiter Vielfalt und zu einem günstigen Preis in öffentlichen Kantinen angeboten werden. Dabei können Kantinen auch auf Umwelt- und Gesundheitswirkungen hinweisen und attraktive Alternativen anbieten. Ein weiteres Beispiel für Nudging ist die intuitive Darstellung von Ernährungsempfehlungen anhand eines leicht verständlichen Teller-Schemas anstelle einer komplexen Pyramide (Vereinfachung). Nudges setzen am tatsächlichen Verhalten der Marktakteure an und bieten bei geringer Eingriffstiefe die Möglichkeit, andere Instrumente wie Regulierung oder Information wirksamer zu machen.²⁴⁸

239 | Vgl. WBAE 2020.

240 | Vgl. Deblitz et al. 2021.

241 | Ein Beispiel ist das Label Eco-Score, das derzeit in Märkten in Berlin getestet wird.

242 | Vgl. BMU et al. 2019.

243 | Vgl. Spiller et al. 2021.

244 | Vgl. BMU et al. 2019.

245 | Die EU-Öko-Verordnung legt unter anderem Produktionsstandards als Voraussetzung für eine entsprechende Kennzeichnung fest. Vermittlung von Informationen über diese Standards können Konsumentinnen und Konsumenten bei einer informierten Kaufentscheidung unterstützen.

246 | Vgl. Reisch/Sunstein 2021.

247 | Vgl. ebd.

248 | Vgl. ebd.



Nudges sollen ein bestimmtes Verhalten anregen oder erleichtern, ohne dass Verbote ausgesprochen werden, finanzielle Anreize eine Rolle spielen oder Zwang ausgeübt wird.²⁴⁹ Kritische Stimmen fürchten, dass diese weichen Instrumente andere Maßnahmen wie Regulierungen verdrängen könnten, oder sehen einen unzulässigen Eingriff in die Autonomie des und der Einzelnen.²⁵⁰ Wird Nudging als Politikinstrument eingesetzt, ist es daher wichtig, den Eingriff transparent zu machen, alternative Entscheidungen zuzulassen („Ausoptieren“) und Nudging als Zusatz, nicht als Ersatz wirksamerer Politik zu verstehen. Nudging-Maßnahmen sollten durch gezielte Informationskampagnen

begleitet werden, um die Verbraucherinnen und Verbraucher über Bedeutung und Relevanz der Umwelteffekte von konsumierten Produkten aufzuklären. Erfolgreiche Pilotprojekte²⁵¹ auf dem Gebiet der umweltschonenden Lebensmittelproduktion zeigen, dass Verbraucherinnen und Verbraucher grundsätzlich zu einem umweltbewussten Konsum bereit sind, wenn gleichzeitig dessen Wirkung veranschaulicht wird. Solche Projekte fördern auch die kommunikative Verbindung von Landwirtschaft und (besser informierten) Verbraucherinnen und Verbrauchern, denen die direkten positiven Effekte ihrer Konsumententscheidungen vor Augen geführt werden.

249 | Vgl. Reisch/Sunstein 2021.

250 | Vgl. WBAE 2020.

251 | Ein Beispiel ist das Projekt Wasserschutzbrot.

5 Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Stickstoffnutzung

Kapitel 5 überführt die in Kapitel 4 beschriebenen, grundsätzlich möglichen Wege einer nachhaltigen Stickstoffnutzung in wesentliche Handlungsempfehlungen. Dieser Überblick ist kurz und prägnant gehalten. Auf regelmäßige Verweise auf Kapitel 4 wird im Folgenden verzichtet.

Stickstoff ist ein essenzieller Nährstoff für Pflanzen und Tiere. Aus diesem Grund muss er im notwendigen Umfang zugeführt werden, gleichzeitig schädigen zu hohe Zufuhren jedoch Mensch und Umwelt in erheblichem Maße. Eine nachhaltige Stickstoffnutzung zielt darauf ab, diesen Konflikt so weit wie möglich aufzulösen. Stickstoffüberschüsse müssen vermieden werden, um unsere Gesundheit und das Klima zu schützen. Damit verbunden sind der Erhalt von Bodenfruchtbarkeit, guter Wasserqualität und Biodiversität. Mithin sind Stickstoffüberschüsse eine wichtige Kenngröße in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, die eine Verringerung des Werts von aktuell etwa 90 auf 70 Kilogramm Stickstoff je Hektar landwirtschaftlicher Fläche im Jahr 2030 anvisiert. Dieser politisch gesetzte Zielwert ist allerdings nicht ausreichend, um den drängendsten Umweltproblemen entgegenzuwirken. So verbleiben auch bei einem Stickstoffüberschuss von 70 Kilogramm je Hektar landwirtschaftlicher Fläche weiterhin pro Jahr etwa 1,2 Millionen Tonnen Stickstoff in der Umwelt – mit entsprechenden Folgen (siehe Kapitel 3.1). Die Kommission Landwirtschaft im Umweltbundesamt hat als Zielwert einen Stickstoffüberschuss von 50 Kilogramm je Hektar landwirtschaftlicher Fläche formuliert.^{252, 253} Dabei sind die empfohlenen Werte von 70 wie auch von 50 Kilogramm je Hektar landwirtschaftlicher Fläche tolerierbarem Stickstoffüberschuss wissenschaftlich nicht belegt. Die Werte sind folglich zu überprüfen und gegebenenfalls durch einen neuen Zielwert zu ersetzen. Dieser sollte auch unterschiedliche Standortbedingungen berücksichtigen, besonders hinsichtlich Klima und Böden sowie der ökologischen Empfindlichkeit des jeweiligen Naturraums, und kann regionalspezifisch unterschiedlich ausfallen.

Um das Ziel deutlich verringerter Stickstoffüberschüsse zu erreichen, beziehen sich die in dieser acatech POSITION vorgestellten Handlungsempfehlungen auf den Systemblick entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Agrarwirtschaft (siehe Kapitel 2). Damit wird die zentrale Rolle der Landwirtschaft als Hauptemittent von Stickstoffverbindungen in Deutschland in einen Gesamtkontext gestellt, der zugleich die Bedeutung der übrigen Akteure miteinbezieht. Die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen konzentrieren sich auf die vier nachfolgend dargelegten Felder: nachhaltige Bewirtschaftungsstrukturen schaffen, ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen verändern, Wissensmanagement und nachhaltige Technologien ausbauen sowie nachhaltiges Konsumverhalten fördern (siehe Abbildung 10). Dabei müssen regional unterschiedliche Gegebenheiten und Standortfaktoren berücksichtigt werden, zum Beispiel was den Naturraum mit seinen Böden und seinen klimatischen wie auch topografischen Bedingungen angeht. Gleiches gilt für vorhandene technische Infra- und bestehende Betriebsstrukturen. Ein zentraler Aspekt der beschriebenen Handlungsempfehlungen ist deren zeitliche Abfolge und Wirksamkeit. Längerfristig wirksame Veränderungen, etwa von Bewirtschaftungsstrukturen, oder die Bepreisung von Stickstoff sollten sofort begonnen werden. Wissensmanagement und Technologieentwicklung sind dagegen kontinuierliche Prozesse, die sowohl unmittelbar als auch über lange Zeiträume ihre Wirkung entfalten können.

5.1 Nachhaltige Bewirtschaftungsstrukturen

5.1.1 Regionale Konzentration der Tierhaltung verringern

Die regionale Konzentration der Tierhaltung korreliert stark mit hohen Stickstoffüberschüssen (siehe Abbildung 7). Die generelle Begrenzung der Tierbesatzdichte in der Landwirtschaft, wie zum Beispiel im ökologischen Landbau, ist eine sehr wirksame Handlungsoption, die vorrangig umgesetzt werden sollte. Damit wird das Aufkommen an Wirtschaftsdünger als Quelle hoher Stickstoffüberschüsse in den entsprechenden Regionen verringert. Eine damit verknüpfte Verlagerung der Tierhaltung

252 | Vgl. UBA/BMU 2017.

253 | Vgl. UBA 2015b.

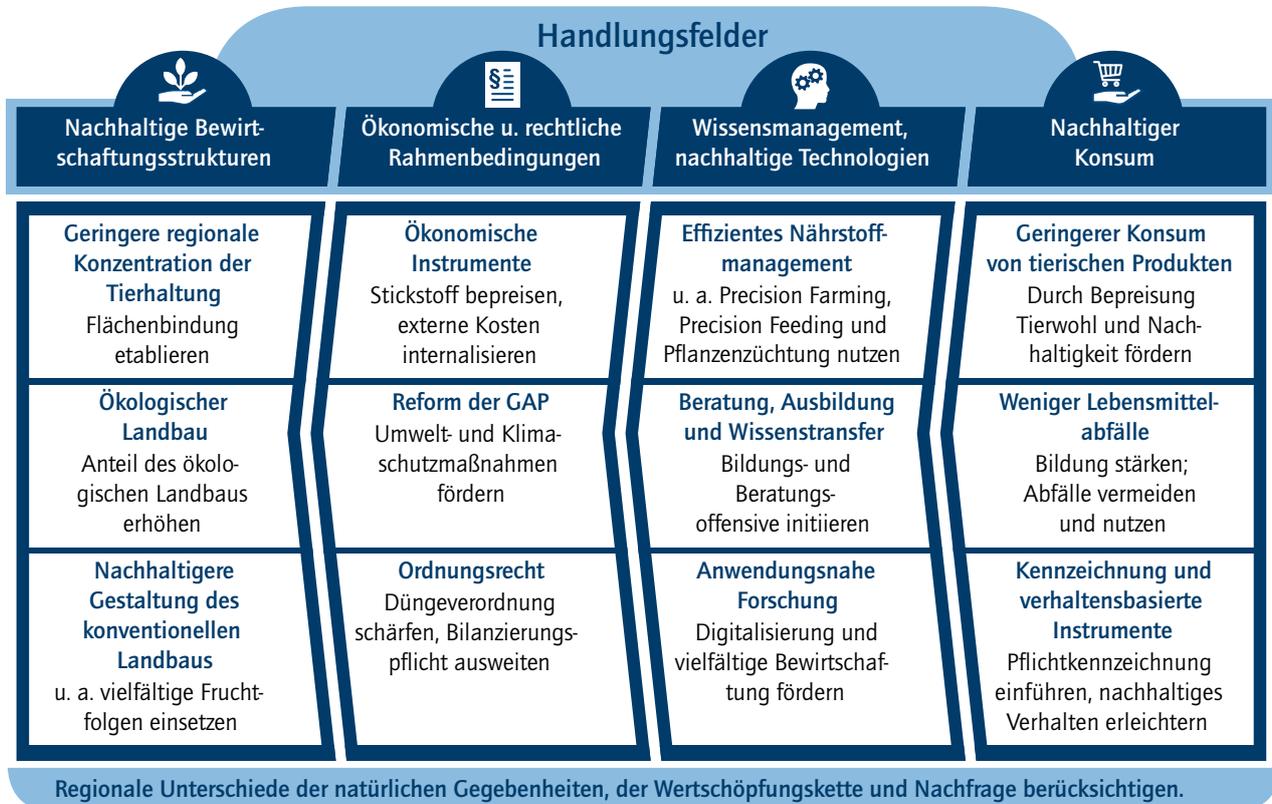


Abbildung 10: Handlungsfelder für eine nachhaltige Stickstoffnutzung (Quelle: eigene Darstellung)

innerhalb Deutschlands ermöglicht es, Nährstoffkreisläufe von Ackerbau und Viehzucht räumlich wieder stärker zu verzahnen, sodass Mineraldüngemittel durch Wirtschaftsdünger ersetzt werden können. Dabei kommt vorteilhaft hinzu, dass sich die Umwelt- und Kosteneffekte durch kurze Transportdistanzen und geringere Aufwendungen für die Lagerung von Wirtschaftsdünger verringern.

Der Klimaschutzplan 2050 aus dem Jahr 2016²⁵⁴ visiert konkret eine nationale Begrenzung der Tierbesatzdichte auf weniger als zwei Großvieheinheiten je Hektar an. Diese Regelung zielt auf die hohen Besatzdichten in den viehstarken Regionen Deutschlands mit ihren hohen Stickstoffüberschüssen und sollte möglichst zeitnah umgesetzt werden. Eine Einführung der flächenbezogenen Tierhaltung, wie auch von der seit 2021 amtierenden Bundesregierung gefordert,²⁵⁵ muss auch für Bestandsanlagen

gelten, verbunden mit entsprechenden Maßnahmen des Bestandsschutzes wie finanziellen Hilfen und Übergangsfristen. Zusätzlich sollten Maximalwerte der Tierbesatzdichte den Standortbedingungen entsprechen und regionalspezifisch niedriger ausgelegt werden. Beispielsweise können Kulturen an Standorten mit geringerem Ertragspotenzial weniger Stickstoff aufnehmen, sodass insgesamt weniger Wirtschafts- und Mineraldünger verwertet wird als an anderen Standorten. Die Tierbesatzdichte sollte in Regionen mit überwiegend geringerem Ertragspotenzial entsprechend niedriger ausfallen. Regelungen für Stallneubauten sind in allen Bundesländern an den regionalspezifisch sinnvollen Tierbesatzdichten zu orientieren.

Geringere Tierbesatzdichten und mehr Tierwohl gehen Hand in Hand. Die Handlungsempfehlungen für mehr Tierwohl des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung haben großen Einfluss auf die

254 | Vgl. BMU 2016.

255 | Vgl. SPD/Bündnis 90/Die Grünen/FDP 2021.

Tierhaltung, sollten sie zur Umsetzung kommen.²⁵⁶ Ordnungsrechtliche Vorgaben für höhere Mindestflächen je Tier können bewirken, dass der Besatz in einzelnen Ställen sinkt. Die Tierwohlpolitik kann auf diese Weise zur Verringerung der regionalen Tierkonzentration beitragen, wenn keine oder nur wenige Stallneubauten zum Ausgleich des geringeren Besatzes erfolgen. Umfassende Änderungen der Vorgaben an die Tierhaltung sollten daher unter gemeinsamer Berücksichtigung der relevanten Umweltfolgen in Bezug auf Stickstoff, aber auch in Bezug auf Tierwohl und weitere Umwelteffekte, etwa Methanemissionen, erfolgen.

5.1.2 Ökologischen Landbau ausweiten, konventionellen Landbau nachhaltiger gestalten

Generell besteht in Deutschland eine sehr hohe Düngungs- und Bewirtschaftungsintensität. Eine standortgerecht eingesetzte Vielfalt von Bewirtschaftungssystemen, die bei leicht geringeren Erträgen ökosystemare Zusammenhänge beachtet und Ökosystemleistungen nutzt, ist zielführend für das Erreichen geringerer Stickstoffüberschüsse. Vielfältige Anbausysteme können mittelfristig auch dazu beitragen, die Resilienz der Landwirtschaft gegenüber Effekten des Klimawandels zu erhöhen und Artenvielfalt sowie Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Dabei können konventionelle und ökologische Bewirtschaftung voneinander lernen und eine nachhaltige und effiziente Landwirtschaft gestalten.

Die Reduzierung von Stickstoffüberschüssen im konventionellen Landbau ist dringlich und Kernaspekt einer nachhaltigen Stickstoffnutzung. Dazu können verschiedene Ansätze kombiniert werden. Insbesondere die Wahl artenreicher Fruchtfolgen mit Leguminosen und Zwischenfrüchten, vergleichbar dem Ökolandbau, bei gleichzeitiger Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes bietet auch im konventionellen Landbau vielversprechende Möglichkeiten, um den Stickstoffüberschuss zu verringern.²⁵⁷ Dies beinhaltet zudem die Vorgabe entsprechender Rahmenbedingungen, etwa einer an der Stoffstrombilanz ausgerichteten bedarfsgerechten Düngung (siehe nachfolgende Kapitel). Zudem müssen Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger sowie die zugehörige Bodenbearbeitung optimiert werden.

Die Ausweitung ökologischer Anbauflächen ist ein geeignetes Mittel, um Stickstoffüberschüsse zu verringern. Der ökologische Landbau weist deutlich niedrigere Stickstoffüberschüsse und oft eine höhere Stickstoffeffizienz auf als vergleichbare konventionelle Betriebe. Von Vorteil ist auch, dass zur Umsetzung dieser Handlungsoption kein umfangreicher und über bestehende Verordnungen hinausgehender administrativer und regulatorischer Aufwand nötig ist, der mit hohen Kosten verbunden wäre. Der vorgesehene weitere Ausbau des ökologischen Landbaus in Deutschland und auf europäischer Ebene erscheint zum jetzigen Zeitpunkt angesichts der steigenden Nachfrage nach nachhaltig erzeugten Lebensmitteln sinnvoll. Die Auswirkungen dieses erhöhten Anteils ökologischer Anbaufläche sollten wissenschaftlich begleitet und aufgearbeitet werden. Die Auswirkungen könnten etwa nach Erreichen eines Ausbauziels, zum Beispiel von 20 Prozent der landwirtschaftlichen Flächen, begutachtet werden.²⁵⁸ Denn der ökologische Landbau weist je nach Kontext und Erzeugnis niedrigere Erträge auf, die beispielsweise bei Getreide noch erheblich sind. Dies kann die Nachhaltigkeit in Bezug auf Flächenverbrauch oder auch Treibhausgasemissionen im Verhältnis zum Ertrag erheblich beeinträchtigen. Die Ertragsdifferenz zwischen ökologischem und konventionellem Landbau zu verringern, ist eine dringliche Aufgabe für Forschung und Weiterentwicklung im ökologischen Landbau. Besonders wichtig erscheint dabei, verstärkt Züchtungsforschung – auch unter Einbezug neuer, bislang im Ökolandbau nicht zugelassener Methoden – zu betreiben und Bodenfruchtbarkeit sowie biologischen Pflanzenschutz zu verbessern.^{259, 260}

5.2 Ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen

5.2.1 Stickstoff für einen effizienten Umgang bepreisen

Externe, gesellschaftliche Kosten, die der Stickstoffeintrag in die Umwelt verursacht, können internalisiert werden. Zentrales Ziel hierbei ist es, geringere Stickstoffüberschüsse betriebswirtschaftlich attraktiv zu machen. Zur Internalisierung externer Kosten

256 | Vgl. Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020.

257 | Teilweise wird auch der Begriff Hybrid-Landwirtschaft verwendet, als Beispiel vgl. BMEL 2020b.

258 | Vgl. WBAE 2020.

259 | Vgl. Hamm et al. 2017.

260 | Vgl. Haller et al. 2020.



können die beiden nachfolgend beschriebenen finanziellen Instrumente einer Stickstoffüberschussabgabe beziehungsweise der Besteuerung von gehandeltem Mineraldünger und Futtermitteln dienen. Wird Stickstoff entweder in Form einer Abgabe auf Stickstoffüberschüsse oder beim Kauf von Mineraldünger und betriebsexternen Futtermitteln bepreist, liegt es bei den landwirtschaftlichen Betrieben, zu entscheiden, welche Maßnahmen für einen effizienteren Stickstoffeinsatz unter den betriebsindividuellen Voraussetzungen ergriffen werden sollen. Eine solche Abgabe kann mit vorhandenen ordnungsrechtlichen Maßnahmen abgestimmt beziehungsweise von diesen begleitet werden. Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit und Effekte durch starke Marktpreisschwankungen der Betriebsmittel sind in der detaillierten Ausgestaltung einer Bepreisung zu berücksichtigen.

Eine Stickstoffüberschussabgabe, die auf Basis der betrieblichen Stoffstrombilanz berechnet wird, wirkt mit Blick auf die Verringerung von Stickstoffüberschüssen zielgerichteter als eine Besteuerung von Mineraldünger und betriebsexternen Futtermitteln. Zudem kann eine Stickstoffüberschussabgabe regionale Standortbedingungen berücksichtigen. Dem gegenüber steht ein vergleichsweise hoher Aufwand an Administration und Kontrolle, der allerdings für größere Betriebe im Rahmen der Stoffstrombilanzverordnung ohnehin bereits besteht und zum Januar 2023 ausgeweitet wird.²⁶¹ Eine Stickstoffüberschussabgabe sollte für nahezu alle landwirtschaftlichen Betriebe gelten. Ausnahmeregelungen können für Kleinbetriebe ohne Aufnahme von Wirtschaftsdünger aus anderen Betrieben vorgesehen werden. Denkbar ist auch ein progressiver Anstieg der Zahllast je Kilogramm Stickstoffüberschuss, sodass der ökonomische Lenkungsanreiz bei höheren Überschüssen stärker ausfällt.

Eine zusätzliche Besteuerung beim Kauf von Mineraldünger kann Stickstoffüberschüsse verringern (vgl. Kapitel 4.2.1). Eine solche ist administrativ vergleichsweise einfach umsetzbar und kontrollierbar, weil nur wenige Unternehmen Mineraldünger in Umlauf bringen. Diese Maßnahme soll einhergehen mit der Besteuerung von betriebsexternen Futtermitteln, um Stickstoffüberschüsse aufgrund der in Futtermitteln enthaltenen Stickstoffverbindungen zu senken. Auch hier setzt die Abgabe bei den „Flaschenhälsen“ (Importeure und Agrargroßhandel) an, sie müsste allerdings auch administrativ die Direktvermarktung zwischen landwirtschaftlichen Betrieben miteinbeziehen, sofern

der Wirtschaftsdünger nicht wieder zum Futtermittel herstellenden Betrieb zurückgeliefert wird. Dies erfordert einen höheren administrativen Aufwand. Die Umsetzung erscheint trotz des erhöhten Aufwands zwar möglich. Es besteht aber zusätzlich die Problematik, dass die Besteuerung nicht regionalspezifisch umgesetzt werden kann und sie Düngemittel generell verteuert, anstatt den Stickstoffüberschuss unmittelbar zu adressieren. Zusammen mit den derzeit bereits hohen Preisen für Düngemittel und Futtermittel erscheint deren Besteuerung weniger zielführend als eine Stickstoffüberschussabgabe.

Einnahmen aus einer Stickstoffüberschussabgabe könnten an alle Betriebe pauschal, etwa nach der landwirtschaftlichen Nutzfläche, zurückgezahlt werden. Analog ist dies auch für Einnahmen aus einer Besteuerung machbar, sofern eine Zweckbindung juristisch möglich ist. Einnahmen aus einer Bepreisung könnten alternativ zu einer Rückzahlung für die Förderung von Maßnahmen für eine nachhaltige Stickstoffnutzung in Deutschland verwendet werden.

5.2.2 Abgaben auf tierische Produkte einführen

Das Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung schlägt eine Anpassung der Mehrwertsteuer auf tierische Produkte oder eine mengenbezogene Verbrauchssteuer auf tierische Produkte vor, die sozialpolitisch flankiert wird.²⁶² Der Vorschlag zielt auf einen verringerten Konsum tierischer Produkte ab, der auch für eine nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft zielführend ist, da er indirekt die Stickstoffeinträge der Landwirtschaft in die Umwelt reduziert. Eine Anhebung des Mehrwertsteuersatzes ist administrativ relativ einfach umzusetzen. Außerdem sind bei einer mengenbezogenen Verbrauchssteuer juristische Fragestellungen bezüglich des EU-Diskriminierungsrechts zu prüfen. Die Lenkungswirkung bezüglich Konsum, die einer sozialpolitischen Begleitung bedarf, steht dabei jedoch außer Frage und ist zu begrüßen.

Höhere Nachhaltigkeits- und Tierwohlstandards in Deutschland können dazu führen, dass Teile der landwirtschaftlichen Produktion ins Ausland abwandern, verbunden mit Einkommenseinbußen in der Landwirtschaft, und dass der Import aus Staaten mit gegebenenfalls geringeren Produktionsstandards zunimmt. Entsprechend ist, soweit politisch möglich, eine Abstimmung von

261 | Bei der Einführung einer Stickstoffüberschussabgabe sind die eingesetzten Kontrollmechanismen und deren Umfang zu prüfen, um eine wirksame Umsetzung zu gewährleisten.

262 | Vgl. Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020.

Maßnahmen in der EU und darüber hinaus mit Drittländern beziehungsweise Staatenverbänden von Bedeutung. Gelingt es, effiziente nationale Maßnahmen einzusetzen, kann Deutschland innerhalb der EU aber auch eine Vorreiterrolle in Sachen Nachhaltigkeit, Umweltschutz und Tierwohl einnehmen.

5.2.3 Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik: Gelder für Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen verwenden

Künftig sollen laut Beschluss des Bundeskabinetts 25 Prozent der Direktzahlungen aus der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) an Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen gebunden sein.²⁶³ Für eine Minderung der Stickstoffeinträge in die Umwelt beim konventionellen Landbau sind unter anderem Maßnahmen wie der Anbau artenreicher Zwischenfrüchte unter Einbezug von Leguminosen, die Flächenstilllegung sowie die Extensivierung von Grünland relevant. Landwirtschaftliche Betriebe können aus einer Reihe von Maßnahmen wählen.

Die Umwidmung zusätzlicher Gelder auf nationaler Ebene aus der ersten in die zweite Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik ist ein möglicher, zeitnah umsetzbarer Schritt, um stickstoffeffizienteren ökologischen Landbau, den Umbau von Tierhaltungsanlagen sowie weitere Umweltmaßnahmen im Agrarbereich zu fördern. Ab 2023 sollen insgesamt 10 Prozent der Gelder von der ersten in die zweite Säule der GAP umgeschichtet werden, bis 2026 soll dieser Anteil sukzessive auf 15 Prozent erhöht werden.²⁶⁴ Eine frühere, umfassendere Umschichtung zusätzlicher Gelder ist notwendig. Über die Maßnahmen, die mit diesen Geldern gefördert werden, sowie über die Höhe der Förderung entscheiden die Bundesländer. Die Maßnahmen sind so zu wählen und zu fördern, dass neben weiteren Zielen vor allem eine nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft vorangetrieben wird.

Direktzahlungen im Rahmen der bestehenden Gemeinsamen Agrarpolitik an Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen zu binden, hat nur eine begrenzte Wirksamkeit auf die Verringerung von Stickstoffeinträgen in die Umwelt – insbesondere, da ein Großteil der Maßnahmen auf Freiwilligkeit beruht und nicht explizit auf geringere Stickstoffüberschüsse abzielt. Doch auch wenn Prämien für Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen Stickstoffeinträge in die Umwelt nur begrenzt reduzieren, sollten diese Prämien

flächengebundene Direktzahlungen der GAP weitgehend ersetzen – auch angesichts der vielfältigen weiteren Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt.

5.2.4 Düngeverordnung und Nährstoffbilanzierung schärfen und ausweiten

Vorgaben zur Bilanzierung der Nährstoffströme landwirtschaftlicher Betriebe sind in der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBiV) festgehalten. Die aktuelle Regelung weist signifikante Schwächen auf, die zum Teil sogar hinter die Wirksamkeit der Regelungen in der Düngeverordnung (DüV) in der Fassung von 2017 zurückfallen (siehe Kapitel 4.2.2). Der bislang eingeschränkte Geltungsbereich der StoffBiV wird zum Jahresbeginn 2023 zwar ausgeweitet, sollte entgegen bisherigen Planungen aber für nahezu alle Betriebe gelten, um ein nachhaltiges Nährstoffmanagement in der Breite zu gewährleisten. Ausnahmeregelungen sollen für Kleinbetriebe ohne Aufnahme von Wirtschaftsdünger oder Gärresten aus anderen Betrieben vorgesehen werden. Die Verordnung in ihrer aktuellen Form lässt zudem zu hohe Stickstoffüberschüsse zu. Die Festlegung der Zielwerte in der StoffBiV sollte durch wissenschaftliche Begleitung regelmäßig überprüft und aktualisiert werden. Insbesondere ist zu prüfen, ob vor dem Hintergrund der gerade erst jetzt greifenden DüV 2020 – inklusive der in 2021 zum ersten Mal ausgewiesenen „Roten Gebiete“ und weiterer länderspezifischer Anstrengungen – der Stickstoffüberschuss von 70 Kilogramm pro Hektar im Jahr, wie er in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie formuliert wurde, erreicht werden kann und / wissenschaftlich begründet gegebenenfalls niedriger angesetzt werden muss. Die StoffBiV weist zudem einen Mangel an wirksamen Sanktionsmöglichkeiten bei Übertretungen durch landwirtschaftliche Betriebe auf. Dabei sind wirksame Sanktionsmöglichkeiten, ergänzend zu einer Stickstoffüberschussabgabe, eine Voraussetzung für die praktische Wirksamkeit des Instruments. Die Stoffstrombilanz kann so eine zentrale Stellschraube für eine nachhaltige und effiziente Stickstoffnutzung sein und andere strukturelle und ökonomische Maßnahmen sinnvoll ergänzen.

Die Düngeverordnung und deren Vorgaben für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger wurden in den vergangenen Jahren mehrfach novelliert. Eine bodennahe Ausbringung ist auf bestellten Ackerflächen ab 2020 und auf Grünland ab dem Jahr 2025 vorgeschrieben. Die Einarbeitung von Wirtschaftsdünger

263 | Vgl. BMEL 2021b.

264 | Vgl. ebd.



auf unbestellter Ackerfläche muss ab dem Jahr 2025 innerhalb einer Stunde nach dem Ausbringen erfolgen. Dennoch besteht weiterhin Optimierungspotenzial. So sollte die bodennahe Ausbringung von Wirtschaftsdünger auch auf unbestellter Ackerfläche verpflichtend werden. Zudem ist es technisch möglich, Wirtschaftsdünger unmittelbar nach der Ausbringung in den Boden einzuarbeiten und damit Ammoniakemissionen weiter zu verringern. Eine Zugabe von Inhibitoren bewirkt, dass Düngemittel verlangsamt freigesetzt und dadurch Stickstoffeinträge in die Umwelt verringert werden. Bestehende Vorgaben zum Einsatz von Urease-Inhibitoren und zur Einarbeitung für Harnstoffdüngemittel sollten entgegen der derzeitigen Regelung auch für die Ausbringung von Düngermischungen mit weniger als 44 Prozent Harnstoffanteil beziehungsweise 44 Prozent Stickstoffanteil gelten.²⁶⁵

Mit Ausnahme der Ausweisung nitratbelasteter und eutrophierter Gebiete gemäß Paragraph 13a der Düngeverordnung berücksichtigt weder die Düngeverordnung noch die Stoffstrombilanzverordnung derzeit bodenspezifische, geologische und klimatische Standortverhältnisse. Die lokale Wirkung von Stickstoffüberschüssen auf die Umwelt ist vom jeweiligen Erhaltungszustand und der Vulnerabilität nahegelegener aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beziehungsweise geschützter Biotope und Arten abhängig. Um diese regionalen und lokalen Schutzanforderungen von Ökosystemen vollständig wiederzugeben, können Critical Levels oder Critical Loads flächendeckend ermittelt und ausgewiesen werden. Der Erhalt natürlicher Ökosysteme, zum Beispiel auch in Naturschutzgebieten, erfordert zudem die Minderung von Ammoniakemissionen, insbesondere aus der Tierhaltung (siehe Kapitel 5.1), die über den Luftpfad eingetragen werden.

5.3 Wissensmanagement und nachhaltige Nutzung von Technologien

5.3.1 Digitales und effizientes Nährstoffmanagement fördern

Moderne Landtechnik und Sensortechnologien verbunden mit Datenmanagementsystemen und Modellierungen machen es möglich, lokale Gegebenheiten, unter anderem innerhalb eines

Felds, hochaufgelöst miteinzubeziehen. Eine teilflächenspezifische Bodenbearbeitung und Ausbringung von Düngemitteln (Precision Farming) ist in Zukunft von großer Bedeutung, um Stickstoffemissionen zu reduzieren. Eine zunehmende Automatisierung in der Landwirtschaft ist mit einem geringeren Arbeitsaufwand verbunden, was die Gabe mehrerer kleiner Düngegaben mit verringerten Stickstoffeinträgen in die Umwelt erleichtern kann.

Analog zu Precision Farming ist auch Precision Feeding, also stickstoffminimierte und bedarfsgerechte Tierfütterung, ein wichtiger Ansatz für ein verbessertes Nährstoffmanagement, der nicht nur in Regionen mit hohem Gülleaufkommen einen Beitrag zur Verringerung von Stickstoffüberschüssen und Ammoniakemissionen leisten kann.

Nitrifikationsinhibitoren bieten eine weitere Möglichkeit, Lachgasemissionen nachhaltig zu vermeiden. Die Gesamtwirkung von Nitrifikationsinhibitoren auf die Umwelt ist grundsätzlich positiv, sofern die Gesamtstickstoffmenge in der Düngung verringert wird und eine Anreicherung in der Umwelt ausgeschlossen ist. Nitrifikationsinhibitoren könnten zum Beispiel in den Katalog der förderfähigen Eco-Schemes der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) aufgenommen werden.

Um den breiten Zugang zu kostenintensiver emissionsreduzierender Landtechnik zu beschleunigen, können Vorgaben zum Technikeinsatz durch das Angebot entsprechender Finanzierung flankiert werden. Das Förderprogramm im Rahmen der sogenannten Bauernmilliarde stellt Zuschüsse für die Anschaffung von Landtechnik in Aussicht und kann durch Fortsetzung in ähnlicher Form die hohen Investitionskosten für Betriebe abmildern. Hierfür müssen die technischen Voraussetzungen geschaffen werden, insbesondere eine Infrastruktur, die leistungsfähige Internetverbindungen auch in ländlichen Gebieten bereitstellt. Eine einheitliche Herangehensweise im Datenmanagement der Bundesländer wäre hierbei sehr förderlich und wünschenswert.

5.3.2 Beratungs- und Ausbildungsinitiativen sowie Wissenstransfer unterstützen

Eine nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft ist komplex, es bestehen vielfältige systemische Wechselwirkungen, zum Beispiel zwischen Düngung, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und Pflanzenschutz. Hinzu kommen übergeordnete

265 | Vgl. LfL 2021c.

Nachhaltigkeitsaspekte und ökonomische Rahmenbedingungen. Eine effiziente Bewirtschaftungs- und Düngestrategie, die Stickstoffüberschüsse vermeidet, ist daher immer auch eine betriebsindividuelle Entscheidung. Bei der Vielzahl der Entscheidungsmöglichkeiten sollen Betriebe auf fundiertes Wissen zurückgreifen können, welches auch den Einsatz neuer Landtechnik und aktuelle Forschungserkenntnisse umfasst. Die landwirtschaftliche Beratung ebenso wie die Aus- und Fortbildung erfüllen hier wichtige Aufgaben, indem sie verfügbares Wissen aufbereiten und vermitteln sowie dessen Zugänglichkeit vor Ort erleichtern.

Beratungsangebote sollten dabei immer unabhängig und frei von Eigeninteressen sein. Voraussetzung dafür ist, dass sich die Bundesländer deutlich stärker engagieren und die staatliche Offizialberatung, die in manchen Bundesländern wenig oder nicht mehr stattfindet, entsprechend finanziell ausstatten und fördern. Zu diesem Zweck könnten auch Einnahmen aus einer Stickstoffbepreisung eingesetzt werden (siehe Kapitel 5.2). Eine privatwirtschaftliche Beratung kann über eine Zertifizierung zugelassen werden, die sicherstellt, dass dabei alle Aspekte einer nachhaltigen Landwirtschaft berücksichtigt werden.

Ökologische Gesichtspunkte, die Breite der Bewirtschaftungsmethoden sowie die Möglichkeiten der Landwirtschaft 4.0 sollten in Zukunft auf allen Ebenen der Aus- und Fortbildung deutlich stärker integriert sein. Dies gilt für Hochschulen, Berufsschulen und Universitäten gleichermaßen. Die entsprechenden Curricula sollten von den zuständigen Fachgesellschaften und Gremien diesbezüglich durchgesehen und auf den aktuellen Stand des Wissens gebracht werden. Auch die Frage der Nährstoffeffizienz muss integraler Bestandteil in allen Stufen der Aus- und Fortbildung sein.

5.3.3 Forschung für die zukünftige nachhaltige Landwirtschaft weiterentwickeln

Eine nachhaltige und effiziente Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft basiert auf dem Wissen um den fachgerechten Umgang mit nachhaltigen Bewirtschaftungsmethoden und Techniken sowie deren Nutzen für Ökologie und Ökonomie.²⁶⁶ Um diesbezügliche Forschungserkenntnisse schneller in die Praxis zu bringen, können Pilotprojekte und Modellbetriebe die breitere

Anwendung einschlägiger Techniken befördern und gleichzeitig Daten für die Wissenschaft liefern. Durch ein Forschungsnetzwerk, an dem auch landwirtschaftliche Betriebe beteiligt sind, können sowohl die Wissenschaft als auch die Betriebe einen Vorteil für sich generieren.

Langfristig wichtig für eine nachhaltige Stickstoffnutzung erscheint es angesichts der Veränderung von Umweltbedingungen durch den Klimawandel außerdem, stickstoffeffiziente Bewirtschaftungsstrukturen und Landtechnik weiterzuentwickeln. Dies betrifft die Verbesserung der sensorgestützten Düngung, Düngelgorithmen und digitale Düngeysteme für die teilflächenspezifische Ausbringung von Düngemitteln. Ebenso ist bodenwissenschaftliche Forschung zur Rolle standörtlicher Unterschiede und zur biologischen Umwandlung von Stickstoffverbindungen im Boden wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen Stickstoffnutzung. Besondere Erkenntnisse können aus Dauerversuchen, verbunden mit einem landesweiten Monitoring, gewonnen werden.

Die Züchtung stresstoleranter oder stickstoffeffizienter Pflanzen, die beispielsweise widerstandsfähiger gegenüber Hitze und Trockenheit sind oder Stickstoff effizienter aufnehmen oder verwerten, ist ein wichtiges Forschungsfeld einer nachhaltigen Stickstoffnutzung und der Landwirtschaft im Allgemeinen. Durch den Einsatz entsprechend gezüchteter Pflanzen können Ernteaufträge verringert und geringe Stickstoffmengen im Boden besser verwertet werden. Witterungsbedingte Ertragsausfälle von Kulturen, die bereits gedüngt wurden, tragen zu Stickstoffeinträgen in die Umwelt bei, da die Pflanzen bereits ausgebrachten Stickstoff nicht mehr aufnehmen können.

Zur Produktion proteinhaltiger Lebensmittel sind zudem Prozesse und Produktinnovationen gefragt, die die Fleischerzeugung teilweise ersetzen und damit einhergehende Stickstoffeinträge in die Umwelt verringern können. Dies können insbesondere pflanzenbasierte Produkte sein, die von den Verbraucherinnen und Verbrauchern auch zunehmend nachgefragt werden. Des Weiteren können Proteine in Verfahren mit geschlossenen Nährstoffkreisläufen hergestellt werden. Diese Prozesse weisen allerdings einen hohen Energieverbrauch auf, sodass derzeit noch fraglich ist, ob sie einen nachhaltigen Beitrag für die Lebensmittelversorgung leisten können.

266 | Vgl. acatech 2020.



5.4 Nachhaltiger Konsum und informierte Kaufentscheidung

5.4.1 Konsum von tierischen Produkten und Aufkommen von Lebensmittelabfällen verringern

Die Produktion von Lebensmitteln hat viele Auswirkungen auf die Umwelt zur Folge, wobei der Eintrag von Stickstoff einen von mehreren Aspekten darstellt. Werden verstärkt nachhaltig produzierte Lebensmittel konsumiert, bewirkt dies indirekt geringere Stickstoffeinträge in die Umwelt. Ein verringerter Konsum tierischer Produkte ist vor dem Hintergrund des Klimaschutzes, des Tierwohls sowie menschlicher Gesundheit²⁶⁷ erwünscht.²⁶⁸ Dies erlaubt die Begründung durch Motivallianzen²⁶⁹ sowie eine zielgruppenspezifische Kommunikation. Um ein solches Konsumverhalten anzuregen, sind in Ergänzung zu höheren Endverbraucherpreisen für tierische Produkte (siehe Kapitel 5.2) breit zugängliche Informationen gefragt, die einen entsprechenden Ernährungsstil fördern.

Die Vermeidung von Lebensmittelabfall ist ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt, um Umwelteffekte der Landwirtschaft zu senken. Zusätzlich gilt es, Infrastrukturen für die Verteilung von Lebensmittelüberschüssen zu fördern. Auf Industrieebene können angepasste Handelsnormen dazu beitragen, das Aufkommen von Lebensmittelabfällen zu reduzieren (siehe Kapitel 4.4). Hierbei steht das Ziel im Vordergrund, Lebensmittel möglichst lange in einer Kreislaufwirtschaft zu halten. Zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung wird das Ziel verfolgt, Lebensmittelabfälle auf Einzelhandels- und Verbraucherebene bis 2030 zu halbieren.²⁷⁰ Hierbei besteht Forschungsbedarf, um weitere wirkungsvolle Maßnahmen zu identifizieren und zu implementieren.

5.4.2 Produktkennzeichnung einführen und verhaltensbasierte Instrumente nutzen

Lebensmittelkennzeichnungen helfen, die Verbraucherinnen und Verbraucher zu informieren beziehungsweise Transparenz über die Nachhaltigkeit von Produkten und deren Erzeugung zu schaffen.²⁷¹ Zusätzlich geben Kennzeichnungen dem Handel eine wichtige Orientierung zur aktiven Ausrichtung und Bewerbung seiner Produktpalette und haben somit eine zusätzliche Steuerungsfunktion. Wenn Käuferinnen und Käufer anhand von Produktkennzeichnungen nachvollziehen können, welche Stickstoffeinträge in die Umwelt mit der Herstellung des jeweiligen Produkts verbunden sind, kann diese Information das Kaufverhalten und damit auch die Herstellungsbedingungen beeinflussen. Um jedoch eine Vielzahl einzelner Labels und Maßnahmen im Konsumbereich zu vermeiden, bietet es sich an, ein Vertrauenslabel in Form einer privaten oder staatlichen Umwelteffekte-Kennzeichnung einzuführen, das Stickstoffeinträge und andere bedeutende Umwelteffekte, unter anderem CO₂-Fußabdruck oder Wasserverbrauch, umfasst. Dafür muss eine entsprechende Datenbank geschaffen werden und ein Konsens zur Gewichtung verschiedener Faktoren vorliegen. Der klare Vorteil einer staatlich vorgegebenen Kennzeichnung besteht in der Einheitlichkeit und dem großen Vertrauen, das ihr von Konsumentenseite entgegengebracht wird. Ein weiterer Punkt: Insbesondere das Wissen um nachhaltige Ernährung und die Möglichkeiten, Lebensmittelabfälle zu vermeiden, muss gestärkt werden, indem diese Thematik intensiver in schulische und gesellschaftliche Bildung integriert wird.

Auch verhaltensbasierte Instrumente können das Bewusstsein von Konsumentinnen und Konsumenten für die Umwelteffekte verschiedener Lebensmittel schärfen. Bei verhaltensbasierten Instrumenten, sogenanntem Nudging, handelt es sich um

267 | Der jährliche Konsum von etwa 57 Kilogramm Fleisch pro Person (Stand 2019) übersteigt die Obergrenze der von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung empfohlenen 16 bis 31 Kilogramm Fleisch pro Person um rund das Doppelte, vgl. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. 2021; vgl. BLE 2020a.

268 | Vgl. WBAE 2020.

269 | Motivallianzen bezeichnen ein ähnliches Ernährungs- und Konsumverhalten bei durchaus unterschiedlichen Motiven und Motivkombinationen, vgl. Brunner 2009.

270 | Vgl. BMEL 2019c.

271 | Vgl. WBAE 2020.

Verhaltensstimuli, die es erleichtern, gesündere und umweltfreundlichere Alternativen zu wählen. Dabei ist es wichtig, auch Transparenz über die genutzten Nudging-Eingriffe herzustellen, um der Kritik einer Manipulation oder Entmündigung von Konsumentinnen und Konsumenten entgegenzuwirken. Nicht zuletzt sollten verhaltenspolitische Maßnahmen durch gezielte Informationskampagnen begleitet werden (siehe Kapitel 4.4).

Gerade die Gemeinschaftsverpflegung bietet Gelegenheiten, umweltfreundlich produzierte und gesunde Lebensmittel anzubieten und die Gesellschaft über die Auswirkungen verschiedener

Produkte auf Umwelt und Gesundheit aufzuklären. So können beispielsweise Biolebensmittel, gegebenenfalls aus der Region, ebenso angeboten werden wie vorzugsweise pflanzliche Produkte statt Fleisch. Der Staat kann hierbei mit gutem Beispiel vorangehen, indem er Beschaffungsvorgaben staatlicher Stellen für Lebensmittel oder Catering entsprechend anpasst. Diese Maßnahmen wirken über alle Teile der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette zurück und leisten somit mittelbar einen nicht unerheblichen Beitrag zur nachhaltigen Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft.



Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wertschöpfungskette der Agrarwirtschaft	11
Abbildung 2:	Entwicklung der Erträge, der Anzahl gehaltener Tiere und der Fläche pro Betrieb	12
Abbildung 3:	Die Stickstoffkaskade	18
Abbildung 4:	Quellen der Emissionen unterschiedlicher gasförmiger Stickstoffverbindungen	19
Abbildung 5:	Einfluss der Stickstoffdüngung und weiterer Parameter auf Korn- und Proteinertrag von Weizen	23
Abbildung 6:	Der jährliche Stickstoffsaldo der deutschen Landwirtschaft	24
Abbildung 7:	Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft	25
Abbildung 8:	Veränderung der Tierbesatzdichte	27
Abbildung 9:	Wesentliche Elemente der Stickstoffbilanzierung	36
Abbildung 10:	Handlungsfelder für eine nachhaltige Stickstoffnutzung	48

Literatur

acatech 2019

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Nachhaltige Landwirtschaft* (acatech HORIZONTE), München 2019.

acatech 2020

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Resiliente und nachhaltige Lebensmittelversorgung. Die Coronakrise und weitere Herausforderungen* (ad hoc IMPULS), München 2020.

acatech 2021

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *HySupply – Deutsch-Australische Machbarkeitsstudie zu Wasserstoff aus erneuerbaren Energien*, 2021. URL: <https://www.acatech.de/projekt/hysupply-deutsch-australische-machbarkeitsstudie-zu-wasserstoffaus-erneuerbaren-energien/> [Stand: 11.10.2022].

acatech 2022

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *H₂ Kompass – Wegweiser für Wasserstoff*, 2022. URL: <https://www.acatech.de/projekt/h2-kompass-wegweiser-fuer-wasserstoff/> [Stand: 11.10.2022].

Barraza-Villarreal Albino et al. 2008

Barraza-Villarreal, A./Sunyer, J./Hernandez-Cadena, L./Escamilla-Nuñez, M. C./Sienra-Monge, J. J./Ramírez-Aguilar, M./Cortez-Lugo, M./Holguin, F./Diaz-Sánchez, D./Olin, A. C./Romieu, I.: „Air Pollution, Airway Inflammation, and Lung Function in a Cohort Study of Mexico City Schoolchildren“. In: *Environmental Health Perspectives*, 116, 6, 2008, S. 832–838.

Behera et al. 2013

Behera, S. N./Sharma, M./Aneja, V. P./Balasubramanian, R.: „Ammonia in the Atmosphere: A Review on Emission Sources, Atmospheric Chemistry and Deposition on Terrestrial Bodies“. In: *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 11, 2013, S. 8092–8131.

BGR 2019

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: *Zeitliche und räumliche Variabilität von Reaktionsfronten in der Critical Zone (VaRea)*, 2019. URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Stoffgehalte-mobilitaet_laufend/VaRea.html [Stand: 24.10.2022].

BLE 2020a

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: *Bericht zur Markt- und Versorgungslage Fleisch 2020*, Bonn 2020.

BLE 2020b

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: *Bericht zur Markt- und Versorgungslage Futtermittel 2020*, Bonn/Berlin 2020.

BLE 2020c

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: *Wie funktioniert die Gemeinsame Agrarpolitik der EU?*, 2020. URL: <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/wie-funktioniert-die-gemeinsame-agrarpolitik-der-eu> [Stand: 11.10.2022].

BLE 2022

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: *Pro-Kopfverbrauch von ausgewählten Milcherzeugnissen in Deutschland nach Kalenderjahren*, Bonn 2021.

BMEL 2012

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland 2012*.

BMEL 2019a

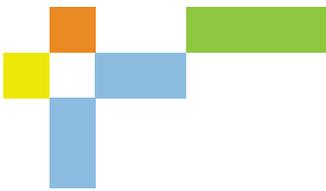
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Grundzüge der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und ihrer Umsetzung in Deutschland*, 2019. URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/gap/gap-nationale-umsetzung.html> [Stand: 11.10.2022].

BMEL 2019b

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Umrechnungsschlüssel zur Ermittlung der Großvieheinheiten (GV)*, 2019. URL: <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/SJT-3100100-0000.xlsx> [Stand: 11.10.2022].

BMEL 2019c

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung*, 2019. URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittelverschwendung/Nationale_Strategie_Lebensmittelverschwendung_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Stand: 11.10.2022].



BMEL 2020a

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Richtlinie zur Investitionsförderung im Rahmen des Investitions- und Zukunftsprogramms für die Landwirtschaft*, Bonn 2020.

BMEL 2020b

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: „Hybrid-Landwirtschaft ist Modell für die Zukunft: Konventionelle Landwirtschaft wird ökologischer, Ökolandbau produktiver“ (Pressemittteilung vom 12.02.2020). URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020/031-oekobarometer.html> [Stand: 11.10.2022].

BMEL 2021a

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Deutschland, wie es isst. Der BMEL-Ernährungsreport 2021*, Berlin 2021.

BMEL 2021b

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Pressemitteilungen – Klöckner: Wir stärken heimische Bauernfamilien und honorieren Umwelt- und Klimamaßnahmen der Landwirtschaft*, 2021. URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/058-gap.html> [Stand: 11.10.2022].

BMEL 2022a

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Nährstoffbilanz insgesamt von 1990 bis 2019*, 2022. URL: <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/MBT-0111260-0000.xlsx> [Stand: 11.10.2022].

BMEL 2022b:

„Bundesrat stimmt neuen Regeln für nitratbelastete und eutrophierte Gebiete zu“ (Pressemittteilung vom 08.07.2022). URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2022/97-avv.html> [Stand: 11.10.2022].

BMEL 2022c

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Versorgungsbilanzen Fleisch ab 1991*, 2022.

BMEL 2022d

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Statistischer Monatsbericht Kap A Nährstoffbilanzen und Düngemittel*, 2022. URL: <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/MBT-0111260-0000.xlsx> [Stand: 26.08.2022].

BMEL/BMU 2020

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Nitratbericht 2020*, Bonn 2020.

BMU 2016

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung*, Bonn/Berlin 2016.

BMU 2018a

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Referat WR I 5: *Zustand der deutschen Ostseegewässer 2018*, Bonn/Berlin 2018.

BMU 2018b

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Referat WR I 5: *Zustand der deutschen Nordseegewässer 2018*, Bonn/Berlin 2018.

BMU 2021

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Strengere Begrenzungen für den Schadstoffausstoß von Industrieanlagen*, 2021. URL: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/strengere-begrenzungen-fuer-den-schadstoffausstoß-von-industrieanlagen> [Stand: 12.08.2021].

BMU et al. 2019

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit/Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz/Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Nationales Programm für nachhaltigen Konsum*, Berlin 2019.

BMU/BfN 2020

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit/Bundesamt für Naturschutz: *Die Lage der Natur in Deutschland. Ergebnisse von EU-Vogelschutz- und FFH-Bericht*, Bonn/Berlin 2020.

BMWK 2022

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: *Agri-Gaia*, 2022. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/GAIA-X-Use-Cases/agri-gaia.html> [Stand: 24.10.2022].

Bobbink et al. 2010

Bobbink, R./Hicks, K./Galloway, J./Spranger, T./Alkemade, R./Ashmore, M./Bustamante, M./Cinderby, S./Davidson, E./Dentener, F.: „Global Assessment of Nitrogen Deposition Effects on Terrestrial Plant Diversity: A Synthesis“. In: *Ecological Applications*, 20, 1, 2010, S. 30-59.

BÖLW 2022

Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft: *Branchenreport 2022. Ökologische Lebensmittelwirtschaft*, 2022.

Bremner 1997

Bremner, J. M.: „Sources of Nitrous Oxide in Soils“. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 49, 1, 1997, S. 7-16.

Brightling 2018

Brightling, J.: „Ammonia and the Fertiliser Industry: The Development of Ammonia at Billingham“. In: *Johnson Matthey Technology Review*, 62, 1, 2018, S. 32-47.

Brink et al. 2011

Brink, C./van Grinsven, H. J./Jacobsen, B. H./Klimont, Z./Hicks, K./Brouwer, R./Dickens, R./Willems, J./Termansen, M./Velthof, G./Alkemade, R./van Oorschot, M./Webb, J.: „Costs and Benefits of Nitrogen in the Environment“. In: Sutton, M. A./Howard, C. M./Erismann, J. W./Billen, G./Bleeker, A./Grennfelt, P./van Grinsven, H./Grizzetti, B. (Hrsg.): *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*, Cambridge: Cambridge University Press 2011, S. 513-540.

Brunner 2009

Brunner, K.-M.: „Nachhaltiger Konsum - am Beispiel des Essens“. In: *SWS-Rundschau*, 49, 1, 2009, S. 29-49.

Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft 2021

Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft: *Bio in der Gemeinschaftsverpflegung*, 2021. URL: <https://www.boelw.de/themen/zahlen-fakten/handel/artikel/bio-in-der-gemeinschaftsgastronomie/> [Stand: 11.10.2022].

BZL 2021

Bundesinformationszentrum Landwirtschaft: *Wie viele Menschen ernährt ein Landwirt?*, 2021. URL: https://www.ble.de/Shared-Docs/Downloads/DE/BZL/Informationsgrafiken/211125_Ein_LW_ernaehrt.html [Stand: 29.01.2021].

Cameron/Haynes 1986

Cameron, K. C./Haynes, R. J.: „Retention and Movement of Nitrogen in Soils“. In: Haynes, R. J. (Hrsg.): *Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System*, Orlando, FL, USA: Academic Press, Inc 1986, S. 166-241.

Chmelíková et al. 2021

Chmelíková, L./Schmid, H./Anke, S./Hülsbergen, K.-J.: „Nitrogen-Use Efficiency of Organic and Conventional Arable and Dairy Farming Systems in Germany“. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 119, 3, 2021, S. 337-354.

Deblitz et al. 2021

Deblitz, C./Efken, J./Banse, M./Isermeyer, F./Rohlmann, C./Ter-gast, H./Thobe, P./Verhaagh, M.: *Politikfolgenabschätzung zu den Empfehlungen des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung* (Thünen Working Paper 173), Braunschweig 2021.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1985

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: *Umweltprobleme der Landwirtschaft*, Stuttgart, Mainz 1985.

Destatis 2021

Destatis: *Betriebsgrößenstruktur landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern*, 2021. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft/Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/betriebsgroessenstruktur-landwirtschaftliche-betriebe.html> [Stand: 11.10.2022].

Destatis 2022

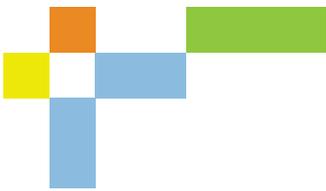
Destatis: *Landwirtschaftliche Betriebe, die flüssigen Wirtschaftsdünger auf Ackerland und Dauergrünland ausgebracht haben, nach Ausbringungstechnik*, 2022. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft/Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/Tabellen/ausbringungstechniken-wirtschaftsduenger.html> [Stand: 16.12.2022].

Deutsche Bundesregierung 2016

Deutsche Bundesregierung: *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie*, Berlin 2016.

Deutsche Bundesregierung 2019

Deutsche Bundesregierung: *Lebensmittelabfälle halbieren*, 2019. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/lebensmittelabfaelle-halbieren-1581854> [Stand: 11.10.2022].



Deutsche Bundesregierung 2021

Deutsche Bundesregierung: *Grundwasserkörper und Nitrat* (Drucksache 19/32211), 2021.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. 2021

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.: *Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE*, 2021. URL: <https://www.dge.de/index.php?id=52> [Stand: 13.10.2022].

Deutscher Bauernverband e.V. 2022

Deutscher Bauernverband e.V.: *Situationsbericht 22/23*, 2022. URL: <https://www.situationsbericht.de/1/12-jahrhundertvergleich> [Stand: 16.12.2022].

Di/Cameron 2002

Di, H. J./Cameron, K. C.: „Nitrate Leaching in Temperate Agroecosystems: Sources, Factors and Mitigating Strategies“. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64, 3, 2002, S. 237-256.

Diaz/Rosenberg 2008

Diaz, R. J./Rosenberg, R.: „Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 321, 5891, 2008, S. 926-929.

Dise et al. 2011

Dise, N. B./Ashmore, M./Belyazid, S./Bleeker, A./Bobbink, R./DeVries, W./Erisman, J. W./Spranger, T./Stevens, C. J./van den Berg, L.: „Nitrogen as a Threat to European Terrestrial Biodiversity. The European Nitrogen Assessment Sources, Effects and Policy Perspectives“. In: Sutton, M. A./Howard, C. M./Erisman, J. W./Billen, G./Bleeker, A./Grennfelt, P./van Grinsven, H./Grizzetti, B. (Hrsg.): *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*, Cambridge: Cambridge University Press 2011.

DLG 2017

DLG-Ausschuss für Technik in der Pflanzenproduktion/Scheufler, B./Uppenkamp, N.: *Technik zur Ausbringung fester Mineraldünger* (DLG-Merkblatt 410), Frankfurt am Main 2017.

DLG 2018

Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V.: *Hinweise zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen für die Schweinehaltung* (DLG-Merkblatt 403), Potsdam 2018.

DLG 2019

Stalljohann, G./Schneider, S./Spiekers, H./Kampf, D.: *Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen* (DLG-Merkblatt 418), 2019.

DLG 2020

Bonsels, T./Denißen, J./Kampf, D./Koch, C./Meyer, A./Pries, M./Rabe, M./Rauch, P./Riewenherm, G./Rösmann, P./Spiekers, H.: *Berücksichtigung N- und P-reduzierter Fütterungsverfahren bei den Nährstoffausscheidungen von Milchkühen* (DLG-Merkblatt 444), 2020.

Dubey et al. 2019

Dubey, A./Malla, M. A./Khan, F./Chowdhary, K./Yadav, S./Kumar, A./Sharma, S./Khare, P. K./Khan, M. L.: „Soil Microbiome: A Key Player for Conservation of Soil Health under Changing Climate“. In: *Biodiversity and Conservation*, 28, 8-9, 2019, S. 2405-2429.

Ernst & Young GmbH 2020a

Ernst & Young GmbH: *Nachhaltiger Konsum*, 2020.

Ernst & Young GmbH 2020b

Ernst & Young GmbH: *Preis ist für Verbraucher wichtigstes Kaufargument – Nachhaltigkeit wird für sie immer entscheidender*, 2020. URL: https://www.ey.com/de_de/news/2020/05/ey-nachhaltiger-konsum-2020 [Stand: 13.10.2022].

Europäische Kommission 2020a

Europäische Kommission: *Farm to Fork Strategy – For a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System*, Brüssel 2020.

Europäische Kommission 2020b

Europäische Kommission: „Common Agricultural Policy and Common Fisheries Policy“ (Pressemitteilung vom 02.06.2020). URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_20_985 [Stand: 13.10.2022].

Europäischer Rechnungshof 2021

Europäischer Rechnungshof: *Common Agricultural Policy and Climate* (Special Report), Brüssel 2021.

European Commission 2017

European Commission: *EU Agricultural Outlook for The Agricultural Markets and Income 2017-2030*, Brüssel 2017.

Flaig/Mohr 1996

Flaig, H./Mohr, H.: *Der überlastete Stickstoffkreislauf: Strategien einer Korrektur* (289), Halle (Saale), 1996.

Galloway 1998

Galloway, J. N.: „The Global Nitrogen Cycle: Changes and Consequences“. In: *Environmental Pollution*, 102, 1, 1998, S. 15-24.

Galloway et al. 2003

Galloway, J. N./Aber, J. D./Erisman, J. W./Seitzinger, S. P./Howarth, R. W./Cowling, E. B./Cosby, B. J.: „The Nitrogen Cascade“. In: *BioScience*, 53, 4, 2003, S. 341-356.

Gandorfer et al. 2017

Gandorfer, M./Schleicher, S./Heuser, S./Pfeiffer, J./Demmel, M.: *Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen (Ackerbau-technische Lösungen für die Zukunft 9)*, München-Freising 2017.

Gawel et al. 2011

Gawel, E./Köck, W./Kern, K./Möckel, S./Möckel, S./Fälsch, M./Völkner, T.: *Weiterentwicklung von Abwasserabgabe und Wasserentnahmeentgelten zu einer umfassenden Wassernutzungsabgabe* (UBA-Texte Band 67/2011), Dessau-Roßlau 2011.

GBD 2019 Risk Factors Collaborators 2020

GBD 2019 Risk Factors Collaborators: „Global Burden of 87 Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990–2019: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019“. In: *The Lancet*, 396, 10258, 2020, S. 1223-1249.

Giannadaki et al. 2018

Giannadaki, D./Giannakis, E./Pozzer, A./Lelieveld, J.: „Estimating Health and Economic Benefits of Reductions in Air Pollution from Agriculture“. In: *Science of The Total Environment*, 622-623, 2018, S. 1304-1316.

Giannakis et al. 2019

Giannakis, E./Kushta, J./Bruggeman, A./Lelieveld, J.: „Costs and Benefits of Agricultural Ammonia Emission Abatement Options for Compliance with European Air Quality Regulations“. In: *Environmental Sciences Europe*, 31, 1, 2019, S. 1-13.

Grethe et al. 2021

Grethe, H./Martinez, J./Osterburg, B./Taube, F./Thom, F.: *Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität*, Berlin 2021.

Habel et al. 2016

Habel, J. C./Seegerer, A./Ulrich, W./Torchyk, O./Weisser, W. W./Schmitt, T.: „Butterfly Community Shifts over Two Centuries“. In: *Conservation Biology*, 30, 4, 2016, S. 754-762.

Haller et al. 2020

Haller, L./Moakes, S./Niggli, U./Riedel, J./Stolze, M./Thompson, M.: *Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft* (UBA Texte 32/2020), Dessau-Roßlau 2020.

Hamm et al. 2017

Hamm, U./Niggli, U./Häring, A. M./Rahmann, G./Hülsbergen, K.-J./Horn, S./Isermeyer, F./Lange, S.: *Fachforum Ökologische Lebensmittelwirtschaft – Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz*, Braunschweig 2017.

Häner/Brabant 2016

Häner, L. L./Brabant, C.: „Die Kunst, den Stickstoffdünger für einen optimalen Ertrag und Proteingehalt von Weizen aufzuteilen“. In: *Agrarforschung Schweiz*, 7, 2, 2016, S. 80-87.

Hartman et al. 2018

Hartman, K./van der Heijden, M. G. A./Wittwer, R. A./Banerjee, S./Walser, J.-C./Schlaeppli, K.: „Cropping Practices Manipulate Abundance Patterns of Root and Soil Microbiome Members Paving the Way to Smart Farming“. In: *Microbiome*, 6, 1, 2018, S. 14.

Häußermann et al. 2019

Häußermann, U./Bach, M./Klement, L./Breuer, L.: *Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regional-gliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017* (UBA-Texte 131/2019), Dessau-Roßlau 2019.

Henritzi et al. 2020

Henritzi, D./Petric, P. P./Lewis, N. S./Graaf, A./Pessia, A./Starick, E./Breithaupt, A./Strebelow, G./Luttermann, C./Parker, L. M. K./Schröder, C./Hammerschmidt, B./Herrler, G./Beilage, E. G./Stadlbauer, D./Simon, V./Krammer, F./Wacheck, S./Pesch, S./Schwemmler, M./Beer, M./Harder, T. C.: „Surveillance of European Domestic Pig Populations Identifies an Emerging Reservoir of Potentially Zoonotic Swine Influenza A Viruses“. In: *Cell Host & Microbe*, 2020.

Irigoyen et al. 2003

Irigoyen, I./Muro, J./Azpilikueta, M./Aparicio-Tejo, P./Lamsfus, A. C.: „Ammonium Oxidation Kinetics in The Presence of Nitrification Inhibitors DCD and DMPP at Various Temperatures“. In: *Soil Research*, 41, 6, 2003, S. 1177-1183.

Isermeyer et al. 2019

Isermeyer, F./Heidecke, C./Osterburg, B.: *Einbeziehung des Agrarsektors in die CO₂-Bepreisung* (Thünen Working Paper 136), Braunschweig 2019.

Jakobsen/Hermansen 2001

Jakobsen, K./Hermansen, J. E.: „Organic Farming – a Challenge to Nutritionists“. In: *Journal of Animal and Feed Sciences*, 10, 2001, S. 29-42.



Kantar Emnid 2017

Kantar Emnid: *Das Image der deutschen Landwirtschaft*, 2017. URL: <http://media.repro-mayr.de/79/668279.pdf> [Stand: 13.10.2022].

Kanter et al. 2021

Kanter, D. R./Wagner-Riddle, C./Groffman, P. M./Davidson, E. A./Galloway, J. N./Gourevitch, J. D./van Grinsven, H. J. M./Houlton, B. Z./Keeler, B. L./Ogle, S. M./Pearen, H./Rennert, K. J./Saifuddin, M./Sobota, D. J./Wagner, G.: „Improving the Social Cost of Nitrous Oxide“. In: *Nature Climate Change*, 11, 12, 2021, S. 1008–1010.

Karpenstein et al. 2021

Karpenstein, U./Fellenberg, F./Schink, A./Johann, C./Dingemann, K./Kottmann, M./Augustin, J./Gausung, B.: *Machbarkeitsstudie zur rechtlichen und förderpolitischen Begleitung einer langfristigen Transformation der deutschen Nutztierhaltung*, Berlin/Bonn/Kraainem/Herne, 2021.

Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung 2020

Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung: *Empfehlungen des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung*, 2020.

Kurth et al. 2019

Kurth, T./Rubel, H./zum Meyer Felde, A./Krüger, J.-A./Zielcke, S./Günther, M./Kemmerling, B.: *Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft nachhaltig sichern*, 2019.

Lam et al. 2017

Lam, S. K./Suter, H./Mosier, A. R./Chen, D.: „Using Nitrification Inhibitors to Mitigate Agricultural N₂O Emission: A Double-Edged Sword?“. In: *Global Change Biology*, 23, 2, 2017, S. 485–489.

Lawrence et al. 2021

Lawrence, N. C./Tenesaca, C. G./VanLooche, A./Hall, S. J.: „Nitrous Oxide Emissions from Agricultural Soils Challenge Climate Sustainability in the US Corn Belt“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118, 46, 2021.

Lelieveld et al. 2015

Lelieveld, J./Evans, J. S./Fnais, M./Giannadaki, D./Pozzer, A.: „The Contribution of Outdoor Air Pollution Sources to Premature Mortality on a Global Scale“. In: *Nature*, 525, 7569, 2015, S. 367–371.

Leopoldina et al. 2019

Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften/Deutsche Forschungsgemeinschaft/Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften: *Wege zu einer wissenschaftlich begründeten,*

differenzierten Regulierung genomeditierter Pflanzen in der EU (Stellungnahme), Halle (Saale)/Berlin/Mainz 2019.

Leopoldina/acatech/Akademienunion 2020

Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften: *Biodiversität und Management von Agrarlandschaften. Umfassendes Handeln ist jetzt wichtig*, Halle (Saale) 2020.

Leopoldina/acatech/Akademienunion 2022

Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften: *Energiesysteme der Zukunft*, 2022. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/> [Stand: 03.06.2022].

LfL 2020a

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: *Änderung der Düngerverordnung beschlossen. Was ändert sich bereits jetzt, was erst 2021?*, München 2020.

LfL 2020b

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: *Reduzierung der N-Verluste im Betrieb*, München 2020.

LfL 2021a

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: *Nitrat-Gehalt in Gemüse*, 2021. URL: <https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/kontaminanten/nitrat/index.htm> [Stand: 13.10.2022].

LfL 2021b

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: *Nährstoffangepasste Schweinefütterung und Umweltwirkung*, 2021. URL: <https://www.lfl.bayern.de/ite/schwein/027669/index.php> [Stand: 13.10.2022].

LfL 2021c

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: *Häufig gestellte Fragen zur Düngerverordnung (FAQ)*, 2021. URL: <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/170760/index.php> [Stand: 13.10.2022].

Liu et al. 2021

Liu, Y./Wang, H./Jiang, Z./Wang, W./Xu, R./Wang, Q./Zhang, Z./Li, A./Liang, Y./Ou, S.: „Genomic Basis of Geographical Adaptation to Soil Nitrogen in Rice“. In: *Nature*, 590, 7847, 2021, S. 600–605.

Mathivanan et al. 2021

Mathivanan, G. P./Eysholdt, M./Zinnbauer, M./Rösemann, C./Fuß, R.: „New N₂O Emission Factors for Crop Residues and Fertiliser Inputs to Agricultural Soils in Germany“. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 2021, S. 107640.

Mittermayer et al. 2021

Mittermayer, M./Gilg, A./Maidl, F.-X./Nätscher, L./Hülsbergen, K.-J.: „Site-Specific Nitrogen Balances Based on Spatially Variable Soil and Plant Properties“. In: *Precision Agriculture*, 2021.

Möckel 2006

Möckel, S.: *Umweltabgaben zur Ökologisierung der Landwirtschaft* (Schriften zum Umweltrecht Band 146), Berlin 2006.

Möckel 2017

Möckel, S.: *Rechtsgutachten zur Klärung von Rechtsfragen zur Erhebung einer Abgabe auf Stickstoffüberschuss und einer Abgabe auf stickstoffhaltigen Mineräldünger durch den Landesgesetzgeber*, Berlin 2017.

Möckel et al. 2015

Möckel, S./Gawel, E./Kästner, M./Knillmann, S./Liess, M./Bretschneider, W.: *Einführung einer Abgabe auf Pflanzenschutzmittel in Deutschland*, Berlin: Duncker & Humblot 2015.

Möckel et al. 2021

Möckel, S./Gawel, E./Liess, M./Neumeister, L.: *Wirkung verschiedener Abgabekonzepte zur Reduktion des Pestizideinsatzes in Deutschland – eine Simulationsanalyse* (Studie im Auftrag der GLS Bank und GLS Bank Stiftung), 2021.

Möckel/Wolf 2020

Möckel, S./Wolf, A.: „Düngung bleibt weiterhin eine ökologische, rechtliche und politische Herausforderung“. In: *Natur und Recht*, 42, 11, 2020, S. 736–746.

Muller et al. 2017

Muller, A./Schader, C./El-Hage Scialabba, N./Brüggemann, J./Isensee, A./Erb, K.-H./Smith, P./Klocke, P./Leiber, F./Stolze, M./Niggli, U.: „Strategies for Feeding the World More Sustainably with Organic Agriculture“. In: *Nature Communications*, 8, 1, 2017, S. 1290.

Oehlmann et al. 2018

Oehlmann, M./Linsenmeier, M./Klaas, K./Kahlenborn, W./Runkel, M./Wronski, R./Fiedler, S./Mahler, A./Beermann, A. C.: *Ökonomische Instrumente in der Luftreinhaltung*, Berlin 2018.

Park et al. 2021

Park, J./Kim, H.-J./Lee, C.-H./Lee, C. H./Lee, H. W.: „Impact of long-term exposure to ambient air pollution on the incidence of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis“. In: *Environmental Research*, 194, 2021, S. 110703.

Peden 2001

Peden, D. B.: „Air pollution in asthma: effect of pollutants on airway inflammation“. In: *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 87, 6, Supplement, 2001, S. 12–17.

Pe'er et al. 2020

Pe'er, G./Bonn, A./Bruehlheide, H./Dieker, P./Eisenhauer, N./Feindt, P. H./Hagedorn, G./Hansjürgens, B./Herzon, I./Lomba, Ä./Marquard, E./Moreira, F./Nitsch, H./Oppermann, R./Perino, A./Röder, N./Schleyer, C./Schindler, S./Wolf, C./Zinngrebe, Y./Lakner, S.: „Action Needed for the EU Common Agricultural Policy to Address Sustainability Challenges“. In: *People and Nature*, 2, 2, 2020, S. 305–316.

Plattform Lernende Systeme 2020

Plattform Lernende Systeme: *Von Daten zu Wertschöpfung. Potenziale von daten- und KI-basierten Wertschöpfungsnetzwerken*, München 2020.

Pope/ Dockery 2006

Pope, C. A./Dockery, D. W.: „Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect“. In: *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 56, 6, 2006, S. 709–742.

Qiu et al. 2019

Qiu, Z./Egidi, E./Liu, H./Kaur, S./Singh, B. K.: „New Frontiers in Agriculture Productivity: Optimised Microbial Inoculants and in situ Microbiome Engineering“. In: *Biotechnology Advances*, 37, 6, 2019, S. 107371.

Ravishankara et al. 2009

Ravishankara, A. R./Daniel, J. S./Portmann, R. W.: „Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 326, 5949, 2009, S. 123–125.

Reisch/Sunstein 2021

Reisch, L. A./Sunstein, C. R.: „Verhaltensbasierte Regulierung (Nudging)“. In: Kenning P., Oehler A., Reisch L.A. (Hrsg.): *Verbraucherwissenschaften*, Wiesbaden: Springer Gabler 2021, S. 294–312.

**Renard et al. 2004**

Renard, J. J./Calidonna, S. E./Henley, M. V.: „Fate of Ammonia in the Atmosphere – A Review for Applicability to Hazardous Releases“. In: *Journal of hazardous materials*, 108, 1-2, 2004, S. 29–60.

Rose et al. 2018

Rose, T. J./Wood, R. H./Rose, M. T./van Zwieten, L.: „A Re-evaluation of the Agronomic Effectiveness of the Nitrification Inhibitors DCD and DMPP and the Urease Inhibitor NBPT“. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 2018, S. 69–73.

Rösemann et al. 2019

Rösemann, C./Haenel, H.-D./Dämmgen, U./Döring, U./Wulf, S./Eurich-Menden, B./Freibauer, A./Döhler, H./H./Schreiner, C./Osterburg, B./Fuß, R.: *Calculations of Gaseous and Particulate Emissions from German Agriculture 1990–2017: Report on Methods and Data (RMD) Submission 2019* (Thünen Report 67), Braunschweig 2019.

Rösemann et al. 2021

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.: *Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990–2019* (Thünen Report 84), 2021.

Rubio et al. 2020

Rubio, N. R./Xiang, N./Kaplan, D. L.: „Plant-Based and Cell-Cased Approaches to Meat Production“. In: *Nature Communications*, 11, 1, 2020, S. 6276.

Ruser/Schulz 2015

Ruser, R./Schulz, R.: „The Effect of Nitrification Inhibitors on The Nitrous Oxide (N₂O) Release from Agricultural Soil – SA Review“. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178, 2, 2015, S. 171–188.

Saleem et al. 2019

Saleem, M./Hu, J./Jousset, A.: „More Than the Sum of Its Parts: Microbiome Biodiversity as a Driver of Plant Growth and Soil Health“. In: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50, 1, 2019, S. 145–168.

Sanders/Heß 2019

Sanders, J./Heß, J.: *Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft* (Thünen Report 65), Braunschweig 2019.

Schaack et al. 2017

Schaack, D./Rampold, C./Behr, H.-C.: *Strukturdaten im ökologischen Landbau in Deutschland 2016. Bodennutzung, Tierhaltung und Verkaufserlöse*, Bonn 2017.

Schaap et al. 2018

Schaap, M./Hendriks, C./Kranenburg, R./Kuenen, J./Segers, A./Schlutow, A./Nagel, H.-D./Ritter, A./Banzhaf, S.: *PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland*, Dessau-Roßlau 2018.

Scheurer et al. 2016

Scheurer, M./Brauch, H.-J./Schmidt, C. K./Sacher, F.: „Occurrence and Fate of Nitrification and Urease Inhibitors in the Aquatic Environment“. In: *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18, 8, 2016, S. 999–1010.

Scholwin et al. 2019

Scholwin, F./Grope, J./Clinkscales, A./Daniel-Gromke, J./Rensberg, N./Denysenko, V./Stinner, W./Richter, F./Raussen, T./Kern, M./Turk, T./Reinhold, G.: *Aktuelle Entwicklung und Perspektiven der Biogasproduktion aus Bioabfall und Gülle* (UBA-Texte 41/2019), Dessau-Roßlau 2019.

Seufert et al. 2012

Seufert, V./Ramankutty, N./Foley, J. A.: „Comparing the Yields of Organic and Conventional Agriculture“. In: *Nature*, 485, 7397, 2012, S. 229–232.

Shepon et al. 2016

Shepon, A./Eshel, G./Noor, E./Milo, R.: „Energy and Protein Feed-to-Food Conversion Efficiencies in the US and Potential Food Security Gains from Dietary Changes“. In: *Environmental Research Letters*, 11, 10, 2016, S. 105002.

Smil 2001

Smil, V.: *Feeding the World A Challenge for the Twenty-First-Century*, MIT Press 2001.

SPD/Bündnis 90/Die Grünen/FDP 2021

Sozialdemokratische Partei Deutschlands/Bündnis 90/Die Grünen/Freie Demokratische Partei: *Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit* (Koalitionsvertrag 2021–2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP)), Berlin 2021.

Spiller et al. 2021

Spiller, A./Busch, G./Tangermann, S.: *Faire Spielregeln für eine nachhaltige deutsche Landwirtschaft*, 2021. URL: <https://agrardebatten.de/agrarzukunft/faire-spielregeln-fuer-eine-nachhaltige-deutsche-landwirtschaft/> [Stand: 24.10.2022].

Statista 2020

Statista: *Verbrauch von Stickstoffdünger in der Landwirtschaft in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2019*, 2020.

Stocker et al. 2013

Stocker, T. F./Qin, D./Plattner, G.-K./Tignor, M./Allen, S. K./Boschung, J./Nauels, A./Xia, Y./Bex, V./Midgley, P. M.: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA 2013.

TA-Luft 2021

TA Luft 2021: *Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)*, 2021.

Tafel Deutschland e.V. 2014

Tafel Deutschland e.V.: *Initiative „Geniesst uns!“*, 2014. URL: <https://www.tafel.de/ueber-uns/aktuelle-meldungen/2014/geniesst-uns-neue-initiative-gegen-lebensmittelverschwendung> [Stand: 09.10.2022].

Taube et al. 2020

Taube, F./Bach, M./Breuer, L./Ewert, F./Fohrer, N./Leinweber, P./Müller, T./Wiggering, H.: *Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung: Stickstoff- und Phosphor-Überschüsse nachhaltig begrenzen* (UBA-Texte 200/2020), Dessau-Roßlau 2020.

Thünen-Institut 2021

Johann Heinrich von Thünen-Institut: „Lachgas-Emissionen aus deutschen Ackerböden: Neues Berechnungsverfahren erlaubt präzisere Kalkulation“ (Pressemitteilung vom 23.11.2021). URL: https://www.thuenen.de/de/newsroom/detail?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=3608&cHash=3dccb2a1b52cc8e9be2e03fadb5dffe [Stand: 02.10.2022].

Thünen-Institut 2022

Johann Heinrich von Thünen-Institut: *Nutztierhaltung und Fleischproduktion in Deutschland*, 2022. URL: <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/nutztierhaltung-und-aquakultur/nutztierhaltung-und-fleischproduktion-in-deutschland> [Stand: 24.10.2022].

UBA 2015a

Umweltbundesamt: *Reaktiver Stickstoff in Deutschland*, 2015.

UBA 2015b

Umweltbundesamt: *Die Landwirtschaft grüner gestalten*, Dessau-Roßlau 2015.

UBA 2020a

Umweltbundesamt: *Reaktiver Stickstoff in der Umwelt*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-oekosysteme/reaktiver-stickstoff-in-der-umwelt#formen-reaktiven-stickstoffs> [Stand: 13.10.2022].

UBA 2020b

Umweltbundesamt: *Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/naehrstoffeintraege-aus-der-landwirtschaft#stickstoffuberschuss-der-landwirtschaft> [Stand: 13.10.2022].

UBA 2021a

Umweltbundesamt: *Ökologischer Landbau*, 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/oekologischer-landbau#okolandbau-in-deutschland> [Stand: 13.10.2022].

UBA 2021b

Umweltbundesamt: *Maßnahmenvorschläge für ein Aktionsprogramm zur integrierten Stickstoffminderung* (UBA-Texte 78/2021), Dessau-Roßlau 2021.

UBA 2022a

Umweltbundesamt: *Trendtabellen Treibhausgase 1990–2020 (Stand: EU-Submission: 12.01.2022)*, 2022. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2022_01_12_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v1.0.xlsx [Stand: 13.10.2022].

UBA 2022b

Umweltbundesamt: *Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990 bis 2018*, 2022.

UBA/BMU 2017

Umweltbundesamt/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Wasserwirtschaft in Deutschland. Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen*, Dessau-Roßlau 2017.



United Nations Department of Economic and Political Affairs 2021

United Nations Department of Economic and Political Affairs: *World Population Prospects – Population Division – United Nations*. (Data Query, 2021. URL: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/> [Stand: 13.10.2022]).

United Nations Environment Programme 2021

United Nations Environment Programme: *Food Waste Index Report 2021*, Nairobi 2021.

Universität Stuttgart 2019

Universität Stuttgart: „Neue Forschungsergebnisse der Universität Stuttgart zu Lebensmittelabfällen in Deutschland“ (Pressemitteilung vom 31.05.2019). URL: https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/aktuelles/presseinfo/document/047_19_Lebensmittelabfaelle.pdf [Stand: 13.10.2022].

Verband der ölsaaten-verarbeitenden Industrie in Deutschland 2020

Verband der Ölsaaten-verarbeitenden Industrie in Deutschland: *Nachhaltige Lieferketten – Herausforderungen und Chancen beim Aufbau entwaldungsfreier Lieferketten am Beispiel Soja aus Brasilien*, Berlin 2020.

Wang et al. 2020

Wang, M./Kong, W./Marten, R./He, X.-C./Chen, D./Pfeifer, J./Heitto, A./Kontkanen, J./Dada, L./Kürten, A./Yli-Juuti, T./Manninen, H. E./Amanatidis, S./Amorim, A./Baalbaki, R./Baccarini, A./Bell, D. M./Bertozzi, B./Bräkling, S./Brilke, S./Murillo, L. C./Chiu, R./Chu, B./Menezes, L.-P. de/Duplissy, J./Finkenzeller, H./Carracedo, L. G./Granzin, M./Guida, R./Hansel, A./Hofbauer, V./Krechmer, J./Lehtipalo, K./Lamkaddam, H./Lampimäki, M./Lee, C. P./Makhmutov, V./Marie, G./Mathot, S./Mauldin, R. L./Mentler, B./Müller, T./Onnela, A./Partoll, E./Petäjä, T./Philippov, M./Pospisilova, V./Ranjithkumar, A./Rissanen, M./Rörup, B./Scholz, W./Shen, J./Simon, M./Sipilä, M./Steiner, G./Stolzenburg, D./Tham, Y. J./Tomé, A./Wagner, A. C./Wang, D. S./Wang, Y./Weber, S. K./Winkler, P. M./Wlasits, P. J./Wu, Y./Xiao, M./Ye, Q./Zauner-Wieczorek, M./Zhou, X./Volkamer, R./Riipinen, I./Dommen, J./Curtius, J./Baltensperger, U./Kulmala, M./Worsnop, D. R./Kirkby, J./Seinfeld, J. H./El-Haddad, I./Flagan, R. C./Donahue, N. M.: „Rapid Growth of New Atmospheric Particles by Nitric Acid and Ammonia Condensation“. In: *Nature*, 581, 7807, 2020, S. 184-189.

WBA/WBD/SRU 2013

Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft/Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft/Sachverständigenrat für Umweltfragen: *Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen*, Berlin 2013.

WBAE 2016

Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft/Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung*, Berlin 2016.

WBAE 2020

Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Politik für eine nachhaltigere Ernährung – Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten* 2020.

WFP 2021

World Food Programme: *Zero Hunger*, 2021. URL: <https://de.wfp.org/zero-hunger> [Stand: 13.10.2022].

Zander et al. 2013

Zander, K./Bürgelt, D./Christoph-Schulz I., Salamon, P./Weible, D., Isermeyer, F.: *Erwartungen der Gesellschaft an die Landwirtschaft*, Braunschweig 2013.

Zollitsch 2007

Zollitsch, W.: „Challenges in the Nutrition of Organic Pigs“. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 15, 2007, S. 2747-2750.

Zukunftskommission Landwirtschaft 2021

Zukunftskommission Landwirtschaft: *Abschlussbericht*, Berlin 2021.

Gesetze, Gesetzentwürfe, Verordnungen und Verträge

AUEV 2012:

Europäische Union: *Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union* (AUEV). Konsolidierte Fassung vom 26.10.2012.

BBodSchG 1998

Deutsche Bundesregierung: *Bundesbodenschutzgesetz* (BBodSchG), 1998.

BNatSchG 2009

Deutscher Bundestag: *Bundesnaturschutzgesetz* (BNatSchG), 2009.

Durchführungsvorschriften 889/2008

Europäische Kommission(889/2008): *Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/ biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle* (Durchführungsvorschriften 889/2008). Konsolidierte Fassung vom 01.01.2022, 2008.

DüV 2017

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen* (Düngeverordnung – DüV), 2017.

DüV 2020

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen* (Düngeverordnung – DüV), 2020.

FFH-Richtlinie 1992

Europäisches Parlament(92/43/EWG): *Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen* (Flora-Fauna Habitat-Richtlinie/FFH-Richtlinie), 1992.

Gesetzesantrag des Landes Niedersachsen 1994

Land Niedersachsen(BR-Drucks. 1989/94): *Entwurf eines Gesetzes zur Begrenzung der Konzentration und zur Sicherung der Flächenbindung in der Tierhaltung*, 1994.

Nitratrichtlinie 1991

Europäisches Parlament(91/676/EWG): *Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen* (Nitratrichtlinie), 1991.

Verordnung (EU) 2018/848 2022

Europäische Union(2018/848): *Vorschriften für die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen*, 2022.

Vogelschutzrichtlinie 2009

Europäisches Parlament(2009/147/EG): *Erhaltung der wildlebenden Vogelarten* (Vogelschutzrichtlinie/VSchRL), 2009.

Wasserrahmenrichtlinie 2000

Europäisches Parlament(2000/60/EG): *Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik* (Wasserrahmenrichtlinie/WRRL), 2000.

WHG 2020

Deutscher Bundestag: § 38a *Wasserhaushaltsgesetz* (WHG), 2020.

Gerichtsentscheidungen

BVerfG 1 BvL 1, 7/58

Bundesverfassungsgericht – 1 BvL 1, 7/58 u. a. vom 20.05.1959: *Feuerwehrrabgabe*, BVerfGE 9, 291 (300).

BVerfG 1 BvR 1748/99, 905/00

Bundesverfassungsgericht – 1 BvR 1748/99, 905/00 u. a. vom 20.04.2004: *Ökosteuer*, BVerfGE 110, 274 (294 f.).

BVerfG 2 BvF 3/77

Bundesverfassungsgericht – 2 BvF 3/77 vom 10.12.1980: *Berufsausbildungsabgabe*, BVerfGE 55, 274 (Leitsätze und 304 ff.).

BVerfG 2 BvL 31, 33/56

Bundesverfassungsgericht – 2 BvL 31,33/56 u. a. vom 04.02.1958: *Badische Weinabgabe*, BVerfGE 7, 244 (254).

BVerfG 2 BvL 6/13

Bundesverfassungsgericht – 2 BvL 6/13 vom 13.04.2017: *Verfassungsmäßigkeit der Kernbrennstoffsteuer*, Leitsätze 1–3.



BVerfG 2 BvR 1139/12

Bundesverfassungsgericht – 2 BvR 1139/12 vom 06.05.2014:
Verfassungsmäßigkeit der Weinabgaben, Rn. 115 ff.

BVerfG 2 BvR 154/74

Bundesverfassungsgericht – 2 BvR 154/74 vom 12.10.1978: *Abgaben wegen Änderung der Gemeindeverhältnisse*, BVerfGE 49, 343 (353 f.).

BVerfG 2 BvR 413/88 und 1300/93

Bundesverfassungsgericht – 2 BvR 413/88 und 1300/93 vom 07.11.1995: *Wasserpfennig*, BVerfGE 93, 319 (348).



Über acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de



Herausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2023

Geschäftsstelle	Hauptstadtbüro	Brüssel-Büro
Karolinenplatz 4	Pariser Platz 4a	Rue d’Egmont/Egmontstraat 13
80333 München	10117 Berlin	1000 Brüssel (Belgien)
T +49 (0)89/52 03 09-0	T +49 (0)30/2 06 30 96-0	T +32 (0)2/2 13 81-80
F +49 (0)89/52 03 09-900	F +49 (0)30/2 06 30 96-11	F +32 (0)2/2 13 81-89
info@acatech.de		
www.acatech.de		

Geschäftsführendes Gremium des Präsidiums: Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Dr. Stefan Oschmann, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Manfred Rauhmeier

Empfohlene Zitierweise:

acatech (Hrsg.): *Nachhaltige Stickstoffnutzung in der Agrarwirtschaft* (acatech POSITION), München 2023.

DOI: https://doi.org/10.48669/aca_2023-1

ISSN 2194-0576

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2023

Koordination: Dr. Johannes Simböck

Redaktion: Alrun Straudi, Evi Draxl

Lektorat: Lektorat Berlin

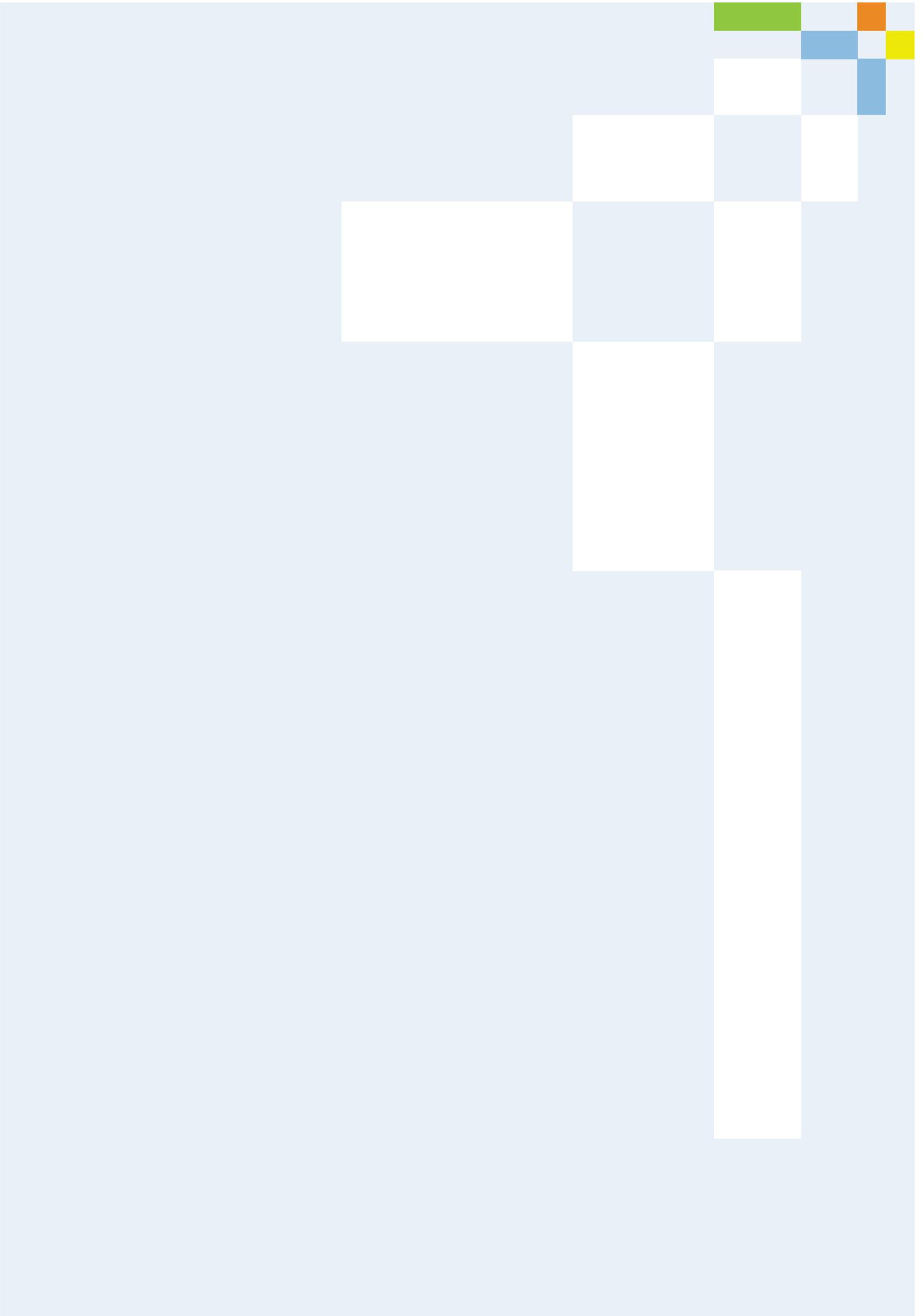
Layout/Konzeption: Groothuis, Hamburg

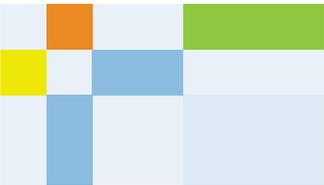
Titelfoto: © Shutterstock.com/Foto2rich

Grafiken: Erfurth Kluger Infografik GbR

Konvertierung und Satz: Heilmeyer und Sernau Gestaltung

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.acatech.de.





Die Diskussion um die zukünftige Gestaltung der Landwirtschaft in Deutschland ist in vollem Gang. Der nachhaltige Umgang mit Stickstoff ist ein bedeutender Bestandteil dieser Diskussion – in der Öffentlichkeit ist das Thema jedoch bislang wenig präsent. In Deutschland gelangen jährlich circa 1,5 Millionen Tonnen reaktiver Stickstoff aus der Landwirtschaft in die Umwelt. In Form verschiedener Verbindungen trägt Stickstoff wesentlich zum Klimawandel, zum Rückgang der Biodiversität sowie zu schlechterer Boden-, Luft- und Wasserqualität bei, wobei gesellschaftliche Kosten in geschätzter Höhe von 30 bis 70 Milliarden Euro pro Jahr entstehen.

Trotz dieser seit Jahrzehnten bekannten Problematik und umfangreicher Forschung sind bislang getroffene Maßnahmen nicht durchschlagskräftig, wie die nur langsam zurückgehenden Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft zeigen. Um hier einen deutlichen Schritt voranzukommen, betrachtet diese acatech POSITION die gesamte Wertschöpfungskette von der landwirtschaftlichen Erzeugung bis hin zu den Konsumentinnen und Konsumenten. Dies bildet den Ausgangspunkt für Handlungsempfehlungen, die auf eine effizientere und nachhaltige Ressourcennutzung sowie eine Verringerung von Stickstoffeinträgen in die Umwelt abzielen.