

## Klimaschutz in der Landwirtschaft

### Ergebnisse des Forschungsprojekts „E-MoLL“ zeigen weitergehende Optionen der Landwirtschaft zum Klimaschutz auf

## Zusammenfassung

Bis 2045 soll Deutschland treibhausgasneutral werden, das ist das Ziel der Bundesregierung. Die verbindlichen Zwischenschritte bis 2030 (-65 %) und 2040 (-88 %) sind im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG, Geändert durch Art. 1 G v. 18.8.2021 I 3905) vorgegeben. Mit der Novellierung des KSG in 2024 haben die Sektorziele zwar zugunsten eines zu erreichenden Gesamtziels an Bedeutung verloren. Das KSG enthält aber weiterhin sektorspezifische maximale Jahresemissionsmengen, die für die Sektoren richtungsweisend sind.

Die Maßnahmen, mit denen die Ziele erreicht werden sollen, sind im Klimaschutzprogramm (KSP) 2030 der Bundesregierung (Bundesregierung, 2019) und im Klimaschutzprogramm 2023 (Bundesregierung, 2023) festgelegt. Die Zielpfadentwicklung wird jährlich anhand der Projektionsdaten der Bundesregierung, die das Umweltbundesamt erstellen lässt, berichtet und diese dem Expertenrat für Klimafragen (ERK) zur Stellungnahme vorgelegt. Gemäß Projektionsdaten 2024 (Harthan et al., 2024) ist Deutschland zwar im Hinblick auf das 2030er Ziel auf einem guten Weg. Der ERK kam im Sommer 2024 jedoch zu dem Schluss, dass die bisherigen Maßnahmen nicht ausreichen werden, damit Deutschland seine Jahresemissionsgesamtmenge bis 2030 sicher erreicht und insbesondere darüber hinaus einen ausreichenden Beitrag zum Klimaschutz leistet (Expertenrat für Klimafragen, 2024b).

Nach § 9 des KSG ist die Bundesregierung außerdem verpflichtet, spätestens zwölf Kalendermonate nach Beginn einer neuen Legislaturperiode ein Klimaschutzprogramm vorzulegen. Ein neues Klimaschutzprogramm ist demnach erforderlich und spätestens in der ersten Jahreshälfte 2026 zu erwarten.

Der Sektor Landwirtschaft verursachte 2023 rund 9,4% der gesamten Treibhausgasemissionen (THG) Deutschlands. Dieser Anteil wird perspektivisch steigen, denn die Landwirtschaft wird auch künftig unvermeidbare Emissionen, etwa aus der Tierhaltung und der Düngung, verursachen. Im Forschungsprojekt „Entwicklung eines Modells zur Bewertung von Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft (E-MoLL)“ im Auftrag des Umweltbundesamtes wurde auf Basis der Methodik des landwirtschaftlichen Emissionsinventars für Treibhausgase (Rösemann et al., 2023) die Wirksamkeit von drei Klimaschutzmaßnahmen des KSP 2030 sowie 25 weiterer Maßnahmen in der Landwirtschaft analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wirkung der quantifizierbaren Maßnahmen des Klimaschutzprogrammes überschätzt wird, weil die zugrundeliegenden Annahmen unrealistisch hoch sind und die implementierten Instrumente nicht ausreichen, um die Ziele bis 2045 zu erreichen. Auch in den Projektionsberichten 2023 und 2024 werden die Annahmen zur Umsetzung der Einzelmaßnahmen als unrealistisch eingeschätzt (Harthan et al., 2024; Harthan et al., 2023).

Zusätzliche Maßnahmen sind daher erforderlich, insbesondere um die langfristige Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Im Projekt wurden daher 25 weitere Maßnahmen quantifiziert. Mit einer Kombination der effektivsten Maßnahmen (vgl. Tabelle 2) wird für ein Maximal-Szenario eine THG-Minderung von insgesamt 16,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ermittelt. Mit realistischen Annahmen halbiert sich diese Minderung jedoch auf 8,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Zusätzlich zum THG-Minderungspotenzial wurden die Maßnahmen hinsichtlich weiterer Umweltwirkungen, z.B. Freisetzung von Luftschadstoffen, Änderung des Nitrat-Auswaschungspotenzials und die Auswirkungen auf die THG-Emissionen anderer Sektoren bewertet. Weiterhin wurde eine Kalkulationsmethode zur Ermittlung der THG-Minderungskosten entwickelt, mit der eine Reihe von Maßnahmen berechnet wurden. Die Vermeidungskosten für die drei betrachteten KSP-Maßnahmen liegen bei -56 – 61 € t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-Äq., die der weiteren Maßnahmen weisen z.T. deutlich höhere Kostenspannen auf. Demzufolge wäre die Umsetzung dieser Maßnahmen sowohl mit Mehrkosten, abhängig von den Maßnahmen aber auch mit Kosteneinsparungen für die Landwirtschaft verbunden (vgl. Kap. 4).

In der Zusammenschau bilden die Ergebnisse eine belastbare Grundlage für die Auswahl und Priorisierung von Klimaschutzmaßnahmen im Sektor Landwirtschaft. Für die THG-Vermeidungskosten wurde eine methodische Basis geschaffen. Sie kann die Politik dabei unterstützen, die Förderung auf die effektivsten und aus Umweltsicht effizientesten Maßnahmen zu richten. Für die Entwicklung des nächsten Klimaschutzprogramms stellen die Ergebnisse daher eine wesentliche Ausgangsbasis dar.

## 1 Ausgangssituation

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Bundes-Klimaschutzgesetz das Ziel gesetzt, ihre Treibhausgas-Emissionen bis 2030 um mindestens 65 % und bis 2040 um 88 % zu senken. 2045 soll die Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden. Die Gesamt-THG-Emissionen aller CRT<sup>1</sup>-Sektoren dürfen dann die Senkenfunktion des Sektors „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forst“ (LULUCF) sowie potenzieller anderer, technischer Senken nicht überschreiten, wobei im LULUCF-Sektor nach aktuellem Stand des KSP eine Senke von mindestens 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bereitgestellt werden soll. Die maximalen Jahresemissionsmengen (JEM) der einzelnen Sektoren über das Jahr 2030 hinaus und auch die Ziele für technische Senken ab 2035 wurden bisher nicht gesetzlich verankert.

Die Landwirtschaft liefert Beiträge zur Reduzierung der THG-Emissionen in anderen Sektoren (z.B. über die Erzeugung erneuerbarer Energie), wird jedoch als Sektor selbst ihre THG-Emissionen nicht auf Null reduzieren können. Setzt man jedoch voraus, dass alle anderen Sektoren ihre Emissionen auf Null senken, bestünde die Möglichkeit, dass sie 2045 Gesamtemissionen von maximal 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. emittiert, die durch die Senkenfunktion des LULUCF Sektors ausgeglichen werden könnten. Das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität wäre dann erreicht.

---

<sup>1</sup> CRT: Common Reporting Table: Abgrenzung der Kategorien für die Zurechnung von THG-Emissionen zu Emissions-Quellbereichen in der internationalen Berichterstattung (UN-Klimarahmenkonvention, europäische Klimaschutzverordnung).

Einschließlich der energiebedingten Emissionen verursachte die Landwirtschaft 2023 insgesamt 63 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. 9,4 % der Gesamtemissionen Deutschlands (UBA, 2025b). Die Projektionen 2024 (Harthan et al., 2024) zeigen, dass die THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft im „Mit-Maßnahmen-Szenario“<sup>2</sup> (MMS) bis 2030 auf 57,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und in einem „Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario“<sup>3</sup> (MWMS) auf 56,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq sinken werden (Harthan et al., 2024). Die im KSG festgelegte maximale Jahresemissionsmenge von 56 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. in 2030 wird somit knapp verfehlt, die berechnete JEM in Höhe von 58,4 wird hingegen erreicht.<sup>4</sup> Ausgehend von diesen Emissionsmengen im Jahr 2030 muss der Sektor Landwirtschaft bis 2045 seine Emissionen folglich um rund 17 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. reduzieren, um auf die 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (aus der LULUCF-Senke) zu kommen.

Dies ist insgesamt eine konservative Schätzung des Minderungsbedarfs des Sektors Landwirtschaft bis 2045. Zum einen zeichnet sich bereits jetzt ab, dass insbesondere der LULUCF-Sektor seine Ziele 2030 (-25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.), 2040 (-35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) und 2045 (-40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) deutlich verfehlen wird (Harthan et al., 2024). Diese Entwicklung wird sich voraussichtlich zukünftig noch erheblich verschärfen, da der Wald in den letzten Jahren, u.a. aufgrund der Hitze- und Trockenperioden, ab 2018 seine CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion verloren hat und stattdessen zu einer Kohlenstoffquelle geworden ist (BMEL, 2024a; UBA, 2025d). Zum anderen basiert sie auf der optimistischen Annahme, dass alle anderen Sektoren es bis 2045 schaffen werden, ihre Emissionen auf Null zu reduzieren. Das Potenzial technischer Senken ist bisher nicht bekannt, sie können im Falle einer nicht ausreichenden natürlichen Senkenleistung, z.B. aufgrund starker Klimawandelauswirkungen (Stürme, Hitze, Trockenheit), als Sicherheitspuffer fungieren, um Residualemissionen auszugleichen.

Die Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL) kam 2021 zu dem Schluss, dass den Herausforderungen im Klimaschutz angemessen begegnet werden müsse und daher sofort implementierbare und wirksame Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgase aus der Landwirtschaft etabliert werden müssen. Unter anderem für die Bereiche Tierhaltung und Düngung schlug die ZKL (2021) eine Reihe von konkreten Minderungsmaßnahmen vor, teils basierend auf denjenigen des Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung (2020, sog. Borchert-Kommission). Einige dieser Minderungsmaßnahmen wurden im Rahmen dieses Projektes berücksichtigt und mit THG-Minderungspotenzialen bewertet, z.B. Nitrifikations-Hemmstoffe oder die Erhöhung der Lebensleistung von Milchkühen.

Zudem gelangt der ERK im Gutachten zur Prüfung der Treibhausgas-Projektionsdaten 2024 zu der Einschätzung, dass bis 2030 nicht von einer Gesamt-Zielerreichung auszugehen ist, anders als im Projektionsbericht 2023 festgestellt wurde (Expertenrat für Klimafragen, 2024a). In der Betrachtung über das Jahr 2030 hinaus sieht der Expertenrat ebenfalls zusätzlichen Handlungsbedarf, denn die Projektionsdaten zeigen, dass die Minderungsziele im Zeitraum 2031 bis 2040 überschritten werden und auch das Ziel der Treibhausgasneutralität weder bis 2045 noch bis 2050 erreicht wird (Expertenrat für Klimafragen, 2024a, 2024b). Als Konsequenz empfiehlt der Expertenrat, weitere Maßnahmen zu prüfen. Die Entwicklung zusätzlicher Klimaschutzmaßnahmen, auch im landwirtschaftlichen Sektor, ist daher dringend erforderlich. Die Ergebnisse des Projekts „E-MoLL“ bilden dafür eine wichtige Grundlage.

---

<sup>2</sup> Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden die zum jeweiligen Modellierungsbeginn gültigen Maßnahmen berücksichtigt.

<sup>3</sup> In das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) gehen zusätzlich zu den Maßnahmen des MMS bereits konkret geplante, jedoch noch nicht implementierte Maßnahmen ein.

<sup>4</sup> Gemäß § 5 Abs. 2 des KSG werden die JEM für 2030 aufgrund von Über- oder Unterschreitungen der in Anlage 2a des KSG festgelegten jährlichen JEM der Jahre 2021 bis 2023 angepasst. In 2023 betrug der berechnete Wert 58,4 Mio.t CO<sub>2</sub>-Äqu. für 2030, in 2024 beträgt er 58,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. für 2030. Hauptgrund der jährlichen Unterschreitungen waren methodische Änderungen. Die Wirkung dieses Mechanismus ist in Biewald, A.; Gniffke, P.; Fuß, R. (2022) und im Zweijahresgutachten des Expertenrat für Klimafragen (2022) näher erläutert.

## 2 Minderungspotenzial von Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft

Im Forschungsvorhaben „E-MoLL“, das von der Universität Gießen und DöhlerAgrar im Auftrag des Umweltbundesamts bearbeitet wurde, ist das Modell „EMMa-L-NC“ (weiter)entwickelt worden. Die Analyse der landwirtschaftlichen THG-Emissionen orientiert sich dabei streng an der Methodik des nationalen Emissionsinventars (in der Version von Rösemann et al., 2023), die dem Quellprinzip folgt. Das bedeutet, dass die THG-Quellen mit ihren Minderungsoptionen des Pflanzenbaus, der Tierhaltung und der Energieerzeugung (nur Biogas) bilanziert werden. Optionen zur Einsparung von THG-Emissionen über die Erzeugung erneuerbarer Energien, wie Biogas oder Agri-PV, oder THG-Einsparung durch den Einsatz von Biokraftstoffen werden gemäß Inventarmethodik dem Landwirtschaftssektor nicht zugeordnet.

Mithilfe dieses Modells sind drei der fünf Minderungsmaßnahmen für den landwirtschaftlichen Sektor des KSP quantifiziert und zudem 25 zusätzliche Maßnahmen analysiert worden. Die THG-Minderungswirkung dieser Maßnahmen wird einer Baseline-Projektion für 2030 gegenübergestellt. Die Baseline-Projektion orientiert sich an der Thünen-Baseline (Haß et al., 2022), mit der die erwartete Entwicklung des deutschen Agrarsektors in den nächsten Jahren bis 2032 beschrieben wird, und wurde an die Annahmen der Projektionsberichte 2023 und 2024 (Harthan et al., 2023; Harthan et al., 2024) sowie an das 2. Nationale Luftreinhalteprogramm (Vos et al., 2022; BMUV, 2023) angepasst. Für den Anteil gasdichter Gärrestlager, die Anbauflächen von Gemüse und Ackerkulturen (außer Getreide und Raps) sowie den Einsatz von Energiepflanzen in Biogasanlagen wurden eigene Annahmen getroffen (Dreisbach et al., 2025).

### 2.1 Maßnahmen des Klimaschutzprogramms

Das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung (KSP 2030) umfasst für den Sektor Landwirtschaft fünf Minderungsmaßnahmen. Im Projekt „E-MoLL“ wurden daraus die drei Maßnahmen „Senkung der Stickstoffüberschüsse“, „Steigerung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern“ und „Ausweitung des Ökolandbaus“ anhand der konkreten Teilmaßnahmen und Instrumente des KSP mittels des Modells „EMMa-L-NC“ quantifiziert. Für die Modellierung wurden jeweils mehrere Szenarien entwickelt, um unterschiedliche Umsetzungsgrade der Maßnahmen abschätzen zu können. (Kap. 2.1). Für die KSP-Maßnahme "Energieeffizienzsteigerung (Quellgruppe Feuerungsanlagen)" wurden qualitative Einschätzungen zur Steigerung der Wirksamkeit erarbeitet (Kap. 3).

Die KSP-Maßnahme „Verringerung der THG-Emissionen in der Tierhaltung“ ist im KSP bislang nicht näher ausgestaltet, weshalb diese nicht modelliert werden konnte. Unter den „zusätzlichen Maßnahmen (Kap. 2.2) werden jedoch Teilmaßnahmen aufgeführt, die zur Ausgestaltung dieser Maßnahme beitragen können.

#### Maßnahme Senkung der Stickstoffüberschüsse

Ziel dieser Maßnahme ist es, durch Einsparungen der Stickstoff (N)-Mineraldüngung die Stickstoffüberschüsse auf  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$  zu senken und dadurch Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Das  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$  Ziel stammt aus der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung und soll mithilfe der Düngeverordnung (DüV, zuletzt geändert durch Art. 97 G v. 10. August 2021) und einer novellierten Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV, 1. Fassung) erreicht werden. Eine Novellierung der StoffBilV erfolgte bisher nicht und konnte daher im Projekt nicht berücksichtigt werden.

Zur Senkung der Stickstoffüberschüsse sind drei Szenarien berechnet worden, die sich hinsichtlich ihrer regionalen Wirkungsebene (Bundesebene in Szenario 1, Kreisebene in Szenario 2 und

3) unterscheiden. In Szenario 2 wird berücksichtigt, dass auf Kreisebene nicht mehr Mineraldünger eingespart werden kann, als auch tatsächlich ausgebracht wird. In Szenario 3 werden die Mineraldüngereinsparungen berücksichtigt, welche nach Häußermann et al. (im Druck) durch die Düngeverordnung erreicht werden können. Weiterhin beinhaltet diese Maßnahme die Minderung der indirekten und der direkten Lachgasemissionen durch die Senkung der Ammoniak-Emissionen im Zuge der Umsetzung der NEC-Richtlinie sowie durch angepasste Düngungstechniken nach Vorgabe der Düngeverordnung. Die drei Szenarien führen zu THG-Minderungen von 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bis zu rund 1,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., wobei durch die Umsetzung der Düngeverordnung (Szenario 3) die geringste N-Mineraldüngereinsparung und THG-Minderung erreicht wird. Von den drei Maßnahmen des KSP hat die Senkung der N-Überschüsse insgesamt den geringsten Effekt.

### **Maßnahme Steigerung der Vergärung von Wirtschaftsdünger**

Ziel der Bundesregierung ist es, den Anteil des anfallenden Wirtschaftsdüngers, der in Biogasanlagen vergoren wird, von derzeit etwa 22 auf 70 % in 2030 zu erhöhen. In Kombination mit einer technisch gasdichten Abdeckung der Gärrestlager werden damit insbesondere Methan-, aber auch Lachgasemissionen gemindert. Auch für diese Maßnahme wurden Szenarien berechnet, die sich im Anteil (30 %, 50 %, 70 %) des anfallenden Wirtschaftsdüngers unterscheiden, der vergoren wird. In der Praxis wird die Vergärung von Wirtschaftsdüngern durch die Fermenterkapazitäten der Biogasanlagen limitiert. In einem vierten Szenario wurde ausgehend vom aktuellen Biogasanlagenbestand ermittelt, dass die derzeitige Fermenterkapazität die Vergärung auf maximal 63 % des anfallenden Wirtschaftsdüngers begrenzt. Es wird zudem angenommen, dass Wirtschaftsdünger maximal 80 % der Substratmasse in einem Biogasfermenter stellen kann. Es wird Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen (Gülle und Festmist) sowie Geflügelkot berücksichtigt.

Mit einer Steigerung der Wirtschaftsdüngervergärung auf 30 % der anfallenden Gesamtmenge sowie einer Lagerung aller Gärreste in technisch gasdichten Gärrestlagern werden die THG-Emissionen um 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gesenkt, bei einer Vergärung von 70 % des anfallenden Wirtschaftsdüngers kann theoretisch mit bis zu 5,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. die höchste Minderung erreicht werden.

### **Maßnahmen Ausweitung des Ökolandbaus**

Der Anteil des Ökolandbaus soll nach der Bio-Strategie des BMEL von derzeit rund 11 % bis 2030 auf 30 % der Landwirtschaftsfläche (LF) gesteigert werden (BMEL, 2023). Im KSP 2030 ist hingegen noch der alte Zielwert von 20 % Ökolandbau enthalten (Bundesregierung, 2019). Auch für diese Maßnahme wurden vier Szenarien betrachtet. Im ersten Szenario wurde nur die Minderung der N-Mineraldüngung durch Zunahme des Ökolandbaus berechnet. In drei weiteren Szenarien wurde der gesamte Dateninput des Modells EMMa-L-NC an Tierleistungen und Erträgen im konventionellen und im ökologischen Landbau angepasst und die THG-Emissionen separat berechnet. Damit wird die THG-Minderung für eine Ausdehnung des Ökolandbaus auf 20 %, 25 % und 30 % der Landwirtschaftsfläche untersucht. Die Minderung durch die Ausweitung des Ökolandbaus ist mit 0,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gering, wenn nur die N-Mineraldüngereinsparungen bei Ausweitung auf 20 % berücksichtigt werden. Wird der gesamte Datensatz einbezogen, betragen die Minderungspotenziale 1,6 bis 4,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bei Ausweitung auf 20 % bzw. 30 % Flächenanteil.

## Gesamtwirkung der KSP-Maßnahmen

In Tabelle 1 ist das THG-Minderungspotenzial für die verschiedenen Szenarien der drei landwirtschaftlichen Maßnahmen des KSP 2030 separat sowie in der Gesamtwirkung der Maßnahmenkombination dargestellt. Für die Gesamtwirkung können aufgrund von Überlagerungseffekten bzw. Doppelzählungen die Minderungspotenziale der Maßnahmen nicht aufsummiert werden. Beispielsweise werden Mineraldünger-minderungen durch die Umstellung auf Ökolandbau nicht zusätzlich für die Senkung der N-Überschüsse eingespart. Das kombinierte Gesamtpotenzial des KSP 2030 wird auf 7,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Vergleich zur Baseline-Projektion 2030 geschätzt. Für die Kombination der maximalen Wirkungen, die aus derzeitiger Sicht technisch unter besten Voraussetzungen umsetzbar erscheint, wird eine Minderung von 10,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ermittelt.

Die Erreichung der Ziele des Klimaschutzprogramms von 20 % Ökolandbau und die Vergärung von 70 % des anfallenden Wirtschaftsdüngers bis 2030 erfordern nahezu eine Verdopplung des ökologisch bewirtschafteten Flächenanteils und eine Verdreifachung der Wirtschaftsdüngervergärung gegenüber heute. Die Erreichung dieser Ausbauziele in den verbleibenden fünf Jahren erscheint unrealistisch. Daher werden in der Kombination mit „realistischen Annahmen“ die aktuell tatsächlich erreichbaren Umsetzungsgrade der Maßnahmen angenommen. Damit beträgt das THG-Minderungspotenzial nur noch 3,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Aus derzeitiger Sicht wird somit mit realistischeren Annahmen voraussichtlich nicht einmal die Hälfte der Minderungswirkung erreicht, die das KSP 2030 annimmt.

**Tabelle 1: THG-Minderungswirkung für verschiedene Szenarien der KSP-Maßnahmen, jeweils einzeln und in der Gesamtwirkung<sup>1</sup> für die drei Kombinationen „aktuelles KSP“<sup>2</sup>, „maximale Wirkung“<sup>3</sup> und „realistische Annahmen“<sup>4</sup>.**

Maßnahme	Einsparung im Vergleich zur Baseline 2030 [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.]		
	„Aktuelles KSP“	„Maximale Wirkung“	„Realistische Annahmen“
Reduzierung N-Überschuss - zzgl. 2. NLR <sup>5</sup>	1,7 (Szenario 1) 0,5	1,5 (Szenario 2) 0,5	0,5 (Szenario 3) 0,5
Steigerung Anteil Wirtschaftsdünger- vergärung	5,0 (70 %)	4,3 (63 %)	1,1 (30 %)
Ausweitung Ökolandbau <sup>6</sup>	0,8 (20 % der LF)	4,6 (30 % der LF)	1,6 (20 % der LF)
<b>Einsparung der Maßnahmen- Kombination<sup>1</sup></b>	<b>7,2</b>	<b>10,0</b>	<b>3,5</b>

<sup>1</sup> Aufgrund von Überlagerungseffekten bzw. Doppelzählungen können die Minderungspotenziale der Maßnahmen nicht linear aufsummiert werden.

<sup>2</sup> „Aktuelles KSP“: Umsetzung der Einzelmaßnahmen nach Vorgabe des aktuellen Klimaschutzprogramm

<sup>3</sup> „Maximale Wirkung“: maximal erreichbare Umsetzungsgerade der drei Einzelmaßnahmen des KSP

<sup>4</sup> „Realistische Annahmen“: aus derzeitiger Sicht realisierbare Umsetzungsgerade der drei Einzelmaßnahmen des KSP

<sup>5</sup> Wirkung des 2. Nationalen Luftreinhalteprogramms

<sup>6</sup> Für die Kombination „Aktuelles KSP“ wird nur die Mineraldüngereinsparungen einbezogen, weitere Änderungen in der Nutztierhaltung und dem Pflanzenbau durch Ausbau des Ökolandbaus werden nur in den beiden anderen Kombinationen einbezogen.

## 2.2 Zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen

Die Minderungswirkung der KSP-Maßnahmen wird überschätzt, demnach sind weitere Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft erforderlich. Im Projekt "E-MoLL" wurden daher 25

weitere Maßnahmen aus den Bereichen Düngung und Ackerbau, Biogas, Stall und Lager, Fütterung und Züchtung sowie strukturelle Maßnahmen untersucht. Die Minderungspotenziale der zusätzlichen Maßnahmen sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2: THG-Minderungspotenziale der 25 zusätzlichen Maßnahmen.**

Maßnahme	Minderungseffekt	Anzahl Szenarien	Einsparung [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.]
Ansäuerung bei Ausbringung	Reduzierte indirekte Lachgasemissionen durch Verringerung der Ammoniakemissionen	1	0,05
Optimierte Düngeplanung	Senkung der Mineraldüngung durch angepasste Düngeplanung	1	0,5
Teilflächenspezifische Düngung mittels Sensoren	Verminderte Mineraldüngung durch effizientere Düngung mittels Pflanzenspektrografen	2	0,06
Anbau von Körnerleguminosen	Geringerer N-Bedarf durch Mineraldüngung	2	0,6 – 1,2
Ausbau des Zwischenfruchtanbaus	Mineraldüngereinsparung durch geringere N-Auswaschung im Winter	1	0,1
<b>Einsatz von Nitrifikations-Hemmstoffen</b>	<b>Minderung der Lachgasfreisetzung durch die Hemmung der Lachgasbildung</b>	<b>1</b>	<b>1,0<sup>1</sup></b>
Abbau von Sicherheitszuschlägen	Verminderter Mineraldüngereinsatz	2	0,1 – 0,2
Verzicht auf Qualitätsdüngung beim Weizen	Die Spätdüngergabe wird vermindert	2	0,05 – 0,3
Vergärung von Nebenenergieprodukten	Weniger Energiepflanzenvergärung	4	-0,6 – 0,08
Entfrachtung von Überschussregionen	Verminderter Mineraldüngereinsatz durch Nutzung von überschüssigem Wirtschaftsdünger	3	0,05 – 0,3
Änderungen im Substratinput	Weniger Energiepflanzenvergärung	3	-0,4 – -0,05
Optimiertes Wirtschaftsdüngermanagement	Schnellere Entmistung führt zu geringeren Ammoniakemissionen und indirekten Lachgasemissionen	1	0,4
Emissionsoptimierter Offenstall	Reduzierte Ammoniakemissionen und indirekte Lachgasemissionen	1	0,4
Gülleabkühlung	Reduzierte Ammoniakemissionen und indirekte Lachgasemissionen	1	0,1
<b>Gülleansäuerung im Stall</b>	<b>Reduzierte Ammoniakemissionen und indirekte Lachgasemissionen</b>	<b>2</b>	<b>1,6<sup>1</sup></b>
Ausbau Weidegang	Reduzierte Ammoniak- und Methanemissionen		-0,03
<b>Güllezusätze (Methanogenese-hemmend)</b>	<b>Reduktion der Methanbildung und -freisetzung durch Zusatzstoffe bei der Güllelagerung</b>	<b>2</b>	<b>1,4<sup>1</sup></b>
Erhöhung der Lebensleistung (Milchkühe)	Rückgang der Tierzahlen	1	0,05
Förderung von Mehrnutzungsrindern	Rückgang der Tierzahlen	3	-2,6 – 1,4
N-reduzierte Fütterung	Geringere Lachgas- und Ammoniakfreisetzung durch geringere N-Aufnahme	1	-0,3



<b>Futterzusätze</b>	<b>Geringere Methanemissionen aus der enterischen Fermentation</b>	<b>1</b>	<b>1,3<sup>1</sup></b>
Veränderter Konsum	Durch verringerten Verzehr tierischer Produkte werden weniger Tiere benötigt	2	6,3 – 15,1
<b>Begrenzung der Viehbesatzdichte</b>	<b>Die Tierhaltung wird auf 2 GV je Hektar begrenzt</b>	<b>1</b>	<b>2,0<sup>1</sup></b>
Kennzeichnung der Tierwohlhaltungsstufe	Umsetzung von Tierwohlmaßnahmen führt zu Tierbestandsabbau	Maßnahmenwirkung derzeit nicht quantitativ abschätzbar	
N-Steuer	Stickstoffsteuer für den Verbrauch von Mineraldüngern führt zu reduziertem Mineraldüngereinsatz	3	0,1 – 0,4

<sup>1</sup> Die effektivsten Maßnahmen (Minderungspotenzial 1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und mehr) in der Landwirtschaft sind hervorgehoben.

### Bereich Düngung und Ackerbau

Am effektivsten im Bereich Düngung und Ackerbau ist der Einsatz von Nitrifikations-Hemmstoffen, mit denen die Lachgasemissionen aus dem Boden bei der Ausbringung von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und Gärresten vermindert werden und dadurch 1,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gegenüber der Baseline-Projektion für 2030 eingespart werden können. Nach Biewald et al. (2025) erlaubt die Studienlage jedoch keine eindeutige Aussage zum Emissionsminderungspotenzial von Nitrifikations-Hemmstoffen, außerdem werden Umweltrisiken genannt. Der verstärkte Anbau von Körnerleguminosen reduziert den N-Düngerbedarf, wodurch 0,6 bis 1,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gemindert werden könnten. Mit der Optimierung der Düngeplanung könnten 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart werden. Es sind verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der N-Mineraldüngung untersucht worden, welche unterschiedlich viel Mineraldünger einsparen und demnach auch THG-Emissionen mindern können: die Minderungspotenziale durch teilflächenspezifische Düngung mit Sensoren und Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus sind mit 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. am geringsten, gefolgt vom Abbau von Sicherheitszuschlägen mit 0,1 – 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Am effektivsten ist die optimierte Düngeplanung mit 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Die THG-Minderung der weiteren Maßnahmen im Bereich Düngung und Pflanzenbau ist mit weniger als 0,1 bis 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gering. Alle diese Maßnahmen zielen auf die Einsparung von Mineraldünger ab und weisen daher große Überlagerungseffekte auf.

Die N-Mineraldüngereinsparung, die mit der KSP-Maßnahme „Senkung der N-Überschüsse“ angestrebt wird, kann nicht ausschließlich durch die DüV erreicht werden. Zwar deutet der aktuelle Trend darauf hin, dass das Ziel von maximal 70 kg N ha<sup>-1</sup> Gesamtbilanzüberschuss bis 2030 erreicht werden kann, jedoch nicht durch die im KSP angestrebten Mineraldüngereinsparungen (Häußermann et al., im Druck; Dreisbach et al., 2025). Dementsprechend wird durch die Erreichung des 70 kg N ha<sup>-1</sup>-Ziels auch nicht die THG-Minderung, die im KSP vorgesehen wird, erreicht. Daher sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um die N-Mineraldüngermenge zu reduzieren. Bei der Kombination mehrerer Einzelmaßnahmen in Bereich Düngung können die Gesamtminderungspotenziale jedoch deutlich geringer ausfallen als in der Summe der Einzelminderungspotenziale.

### Bereich Biogas

Die zusätzlichen Maßnahmen in der Kategorie Biogas weisen nur ein geringes THG-Minderungspotenzial auf, teilweise entstehen sogar mehr THG-Emissionen. Die Maßnahme „Entfrachtung von N-Überschussregionen“ (gekennzeichnet durch einen N-Gesamtüberschuss von 70 kg N ha<sup>-1</sup> und mehr) durch Gärrestaufbereitung führt zu einem geringeren N-Mineraldüngereinsatz in den



Aufnahmeregionen (N-Gesamtüberschüsse von weniger als 70 kg N ha<sup>-1</sup>), indem N-Mineraldünger durch aufbereitete Gärreste ersetzt wird. Dadurch kann bis zu 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. THG-Minderung erreicht werden. Mit der Vergärung der Erntemasse von Blühstreifen und von Nebenernteprodukten (Stroh, Rübenblatt) in Biogasanlagen werden hingegen nur leichte Minderungen oder aber THG-Steigerungen erreicht: -0,6 bis 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Nebenernteprodukte) bzw. -0,4 bis 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Blühstreifen) werden an THG-Emissionen eingespart bzw. vermehrt freigesetzt. Grund dafür ist, dass diese alternativ eingesetzten Substrate zum Teil einen höheren N-Gehalt haben als die substituierten Energiepflanzen. Dadurch steigt der N-Gehalt der Gärreste, was höhere Lachgasemissionen bei der Gärrestausbringung zur Folge hat.

### **Bereich Stall und Lager**

Für den Bereich Stall und Lager sind die Gülle-Ansäuerung im Stall sowie der Einsatz von Methanogenese-hemmenden Güllezusätzen mit 1,6 bzw. 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. die effektivsten Klimaschutzmaßnahmen. In beiden Fällen werden die Methanemissionen aus der Tierhaltung gemindert. Die beiden stallbaulichen Maßnahmen Güllekühlung und emissionsoptimierter Offenstall mindern die Ammoniak- und somit die indirekten Lachgasemissionen. Eine potenzielle Minderung von Methanemissionen im Stall wurde hier nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für ein verbessertes Wirtschaftsdüngermanagement, wodurch der Stall schneller entmistet wird und dadurch die Ammoniakemissionen reduziert werden. Das THG-Minderungspotenzial dieser drei Maßnahmen ist mit 0,1 bis 0,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gering. Die Erhöhung der Anzahl an Milchkühen mit Weidegang führt zu einer Verlagerung der THG-Emissionen von Stall, Lager und Ausbringung auf die Weide, wodurch die THG-Emissionen leicht abnehmen. Da jedoch durch den höheren Grasanteil in der Futtermittelration die Methanemissionen aus enterischer Fermentation etwas ansteigt, führt diese Maßnahme in Summe zu keiner THG-Minderung (-0,03 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.). Die Kohlenstoffbindung im Grünland wurde hier nicht berücksichtigt, da sie nicht Teil der landwirtschaftlichen THG-Emissionen ist, sondern dem LULUCF-Sektor zugerechnet wird.

### **Bereich Fütterung und Züchtung**

Der Einsatz von Methanogenese-hemmenden Futterzusätzen bei Milchkühen vermindert die THG-Emissionen um 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und ist damit die effektivste Maßnahme im Bereich Fütterung und Züchtung. Die Förderung der Haltung von Mehrnutzungsrindern weist ein THG-Minderungspotenzial von 0,8 bis 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf, jedoch nur, wenn die Fleischproduktion insgesamt konstant bleibt und folglich weniger Fleischrinder gehalten werden. Ohne eine Anpassung in der Fleischrinderhaltung steigen die THG-Emissionen um 2,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. stark an. Würde die Lebensleistung von Milchkühen von derzeit weniger als drei auf vier Laktationen erhöht, könnte eine THG-Minderung von 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht werden. Bei Mastschweinen ist zudem die N-reduzierte Fütterung emissionsmindernd, hingegen wird bei Milchkühen mit einer N-reduzierten Fütterung der THG-Ausstoß erhöht, weshalb die Gesamt-THG-Emissionen um 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. steigen. Grund hierfür ist, dass bei einer N-reduzierten Fütterung von Milchkühen mehr rohfaserreiche Futtermittel eingesetzt werden, wodurch die Methanemissionen aus der enterischen Fermentation steigen.

### **Bereich Strukturelle Maßnahmen**

Im Bereich der strukturellen Maßnahmen wird mit einer Flächenbindung der Tierhaltung (Begrenzung auf betrieblicher Ebene auf 2 GV ha<sup>-1</sup>) der THG-Ausstoß um 2,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gemindert. Weniger hoch sind die Minderungspotenziale einer N-Steuer auf Mineraldüngerprodukte in Höhe eines CO<sub>2</sub>-Preises von 45€ t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> mit 0,1 bis 0,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., die Spannbreite resultiert aus unterschiedlichen Annahmen zur Preiselastizität. Im KSP 2030 sowie im neuen KSP 2023 (Bundesregierung, 2023, 2019) wird die Kennzeichnung von Tierwohlhaltungsstufen auf Lebensmitteln als Klimaschutzmaßnahme erwähnt. Die Datengrundlage reicht derzeit allerdings

nicht aus, um die Änderungen von Produktionsmengen infolge einer Tierwohlkennzeichnung abzuschätzen. Eine quantitative Bewertung der THG-Minderung ist daher nicht möglich. Die Anpassung des Konsums an die Ernährungsempfehlungen der PHD<sup>5</sup> (Willett et al., 2019) bzw. der DGE<sup>6</sup> (Schäfer et al., 2024), die eine Einschränkung des Konsums tierischer Lebensmittel vorschlagen, weist ein hohes Minderungspotenzial von 6,3 – 15,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf, ist jedoch aus derzeitiger Sicht bis 2030 unrealistisch. Zudem ist fraglich, inwiefern sich die Produktion im gleichen Maße an den Konsum anpassen würde. Der Selbstversorgungsgrad für Schweinefleisch liegt 2021 bei 148 % und für Rindfleisch bei 104 % (BMEL, 2024b). Bei einem Rückgang der Inlandsnachfrage ist daher nicht unmittelbar von einem Rückgang der Produktion, sondern von einem erhöhten Export von Schweine- und Rinderfleisch auszugehen.

### Gesamtwirkung der zusätzlichen Maßnahmen

Für die Bewertung der kombinierten Wirkung der zusätzlichen Maßnahmen sind zwei Maßnahmen-Bündel betrachtet worden (Tabelle 3). Die „Technischen Maßnahmen“ umfassen Maßnahmen aus den Bereichen Düngung, Biogas sowie Stall und Fütterung. Das Minderungspotenzial dieser Kombination beträgt 7,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.. Im zweiten Maßnahmen-Bündel, mit „Synergie-Maßnahmen“ bezeichnet, sind Maßnahmen zusammengefasst, die über die THG-Minderung hinaus positive Wirkungen auf Biodiversität, Boden, Wasser oder Tierwohl haben und daher aufgrund dieser Synergieeffekte besonders vorteilhaft sind. Das Minderungspotenzial dieser Maßnahmenkombination beträgt 3,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

Insbesondere die drei Maßnahmen „Emissionsoptimierter Offenstall“, „Förderung von Mehrnutzungsrindern“ und „Begrenzung der Tierhaltung auf 2 GV ha<sup>-1</sup>“ eignen sich zudem für die Konkretisierung der KSP-Maßnahme „Verringerung der Emissionen aus der Tierhaltung“ und sollten für die Ausgestaltung dieser KSP-Maßnahme berücksichtigt werden.

**Tabelle 3: Kombination der zusätzlichen Maßnahmen und THG-Minderungspotenziale.**

Technische Maßnahmen	Synergie-Maßnahmen
Einsatz von Nitrifikationshemmern	Anbau von Körnerleguminosen
Entfrachtung von Überschussregionen	Vergärung von Nebenernteprodukten
Erhöhung der Wirtschaftsdüngervergärung	Emissionsoptimierter Offenstall
Gülle-Ansäuerung im Stall	Förderung von Mehrnutzungsrindern
Futterzusätze	Begrenzung der Tierhaltung auf 2 GV ha <sup>-1</sup>
<b>7,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Minderung</b>	<b>3,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Minderung</b>

Abschließend ist die THG-Minderung in der Kombination der drei KSP-Maßnahmen (Tabelle 1) zusammen mit den effektivsten zusätzlichen Maßnahmen (Tabelle 3) abgeschätzt worden, wobei Überlagerungseffekte ebenfalls herausgerechnet wurden. Einerseits wird die KSP-Kombination „Maximale Wirkung“ mit allen Maßnahmen in Tabelle 3 kombiniert, welches die maximal erreichbaren Minderungen mit den in „E-MoLL“-untersuchten Maßnahmen darstellt. Andererseits wird mit der KSP-Kombination „Realistische Annahmen“ und den aus Tabelle 3 aus derzeitiger Sicht umsetzbaren Maßnahmen ein Gesamtminderungspotential berechnet, welches die

<sup>5</sup> Planetary Health Diet

<sup>6</sup> Deutsche Gesellschaft für Ernährung

aus derzeitiger Sicht realisierbare Minderung darstellt. So entfällt bspw. bei der letzteren Kombination die Maßnahme „Gülle-Ansäuerung im Stall“, da diese aufgrund der gesetzlichen Vorgaben nur mit massiven Stallumbauten eingesetzt werden darf.

Mit realistischen Annahmen kann bis 2030 ein THG-Minderungspotenzial in der Landwirtschaft von insgesamt 8,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. erreicht werden. Mit Annahme der größtmöglichen Minderungspotenziale wäre eine Gesamt-THG-Minderung von 16,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. möglich.

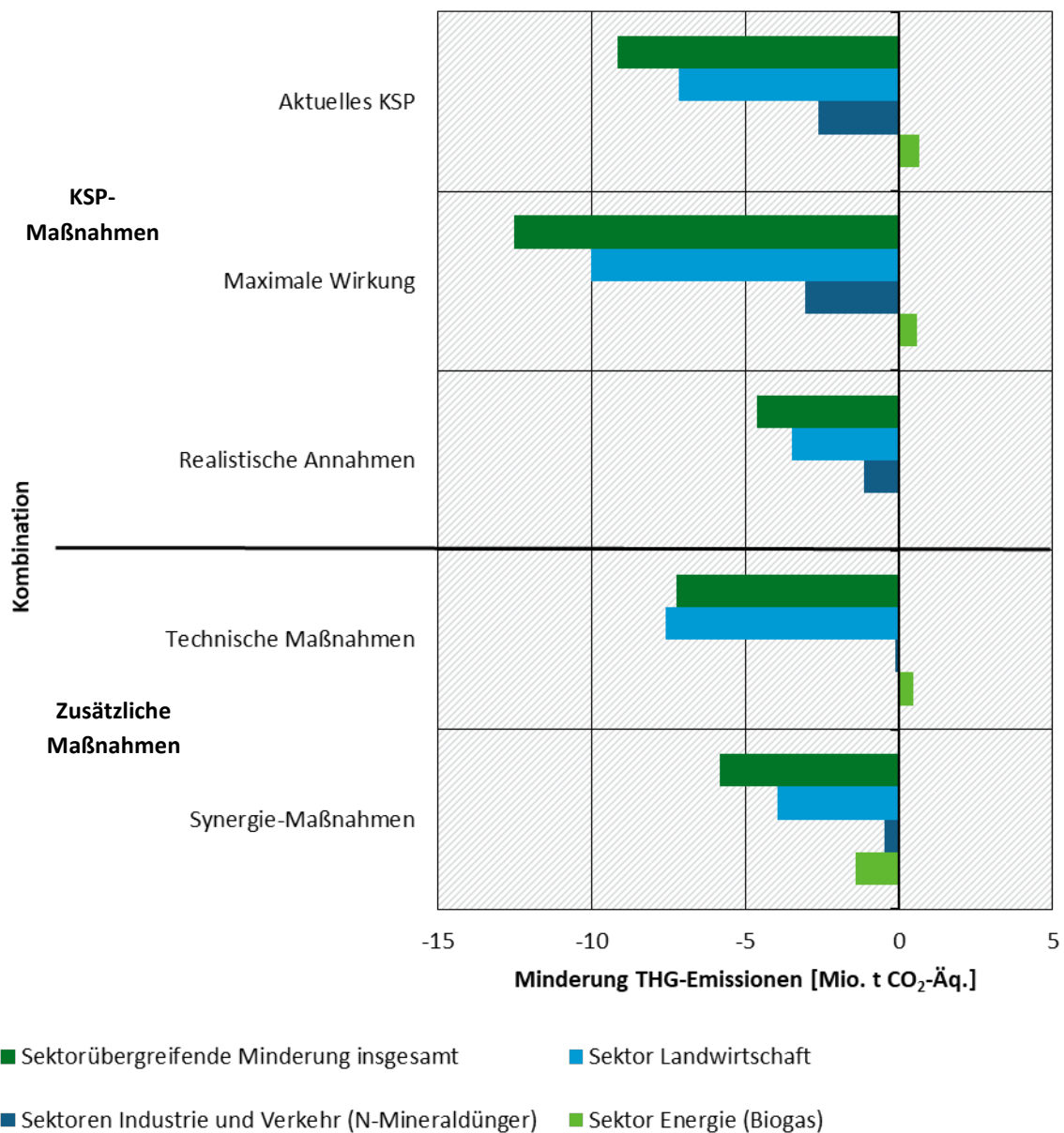
### **2.3 Sektorübergreifende Wirkungen und Zielkonflikte**

Viele Klimaschutzmaßnahmen haben positive und teilweise auch negative Wirkungen auf andere Schutzgüter (z.B. Boden, Wasser) sowie auf andere Sektoren (z.B. Energiesektor, LULUCF). Diese Wechselwirkungen („trade-offs“) und mögliche Zielkonflikte wurden für alle untersuchten Klimaschutzmaßnahmen analysiert und bewertet.

Der Ausstoß von Luftschadstoffen (Ammoniak, Feinstaub, NMVOC, NO<sub>x</sub>) und das Nitratauswaschungspotenzial wurden mit dem Modell EMMA-L-NC quantifiziert. Die Auswirkungen auf Boden und Biodiversität wurden qualitativ bewertet. Zur Erreichung der NEC-Ziele nach der Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen von Luftschadstoffen (Richtlinie (EU) 2016/2284, vom 14. Dezember 2016)) eignen sich für Ammoniak nur die Maßnahmen Gülle-Ansäuerung im Stall, Optimierung des Wirtschaftsdüngermanagements und emissionsoptimierte Offenställe. Die NEC-Ziele der anderen Luftschadstoffe werden mit keiner Einzelmaßnahme erreicht. Maßnahmen, die Ammoniak-Emissionen mindern, erhöhen jedoch das Nitrat-Auswaschungspotenzial, da die N-Emissionen von der Atmosphäre in die Hydrosphäre verlagert werden. Nur wenn der N-Input insgesamt gemindert wird, bspw. durch verminderte N-Mineraldüngung, reduzierte Tierzahlen oder N-reduzierte Fütterung, findet keine Verschiebung der negativen Umweltwirkungen statt. Daher sollten für die Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen immer der gesamte N-Kreislauf sowie die weiteren Umweltwirkungen betrachtet werden, um eine Verlagerung in andere Umweltbereiche zu vermeiden (sog. „pollution swapping“).

Innerhalb der landwirtschaftlichen Klimaschutzmaßnahmen hat die Verminderung der N-Mineraldüngung die stärkste Auswirkung auf die Emissionen in anderen Sektoren. Mit der Herstellung und dem Transport von N-Mineraldüngern werden nach Don (2022) jährlich rund 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. freigesetzt. Jede Reduktion des N-Mineraldüngereinsatzes mindert demzufolge auch die Emissionen aus der Herstellung und dem Transport. In der Berichterstattung werden diese Emissionen jedoch nicht der Landwirtschaft zugerechnet, sondern in den Sektoren Industrie und Verkehr bilanziert. Zudem sind die THG-Emissionen von importiertem Mineraldünger in den Berichterstattungen der Produktionsländer enthalten und tauchen im deutschen Emissionsinventar folglich nicht auf. Durch eine Senkung der N-Überschüsse können 112 bis 423 Gg N-Mineraldünger eingespart und damit zusätzlich 0,6 bis 2,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. THG-Emissionen gemindert werden, die bei Herstellung und Transport des N-Mineraldüngers entstehen. Auch bei der Ausweitung des Ökolandbaus werden durch den Verzicht auf den Einsatz von Mineraldüngern zusätzlich 0,5 bis 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart. Ähnlich hoch sind auch die zusätzlichen Minderungen bei einer Ausweitung des Körnerleguminosenanbaus mit 1,0 bis 2,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Die THG-Minderungen durch den reduzierten N-Mineraldüngereinsatz sind in jedem Maßnahmen-Szenario höher als die THG-Minderungen im landwirtschaftlichen Sektor. Diese Maßnahmen haben also großes Potenzial zur THG-Minderung, der Effekt wird jedoch nicht der Landwirtschaft und u.U. nicht dem deutschen Emissionsinventar zugerechnet.

**Abbildung 1: THG-Minderung der Maßnahmenkombinationen im Sektor Landwirtschaft sowie außerhalb in den Sektoren Industrie und Verkehr (Herstellung und Transport von N-Mineraldünger) und Energie (Biogas).**



Quelle: eigene Darstellung (Uni Gießen)

Das THG-Minderungspotenzial der Maßnahmenkombinationen erhöht sich um bis zu 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., wenn diese Effekte im außerlandwirtschaftlichen Bereich in die Bewertung einbezogen werden, wie Abbildung 1 zeigt. Die sektorübergreifende Minderung ist bei den KSP-Maßnahmen – mit Ausnahme der „realistischen Annahmen“ – sowohl innerhalb als auch außerhalb des landwirtschaftlichen Sektors am höchsten. Interessant ist der Vergleich der beiden Kombinationen „Synergie-Maßnahmen“ und „Technische Maßnahmen“: In der Landwirtschaft mindert die Kombination „Technische Maßnahmen“ die THG-Emissionen wesentlich stärker, jedoch entstehen außerhalb des Sektors durch verminderte Energieproduktion in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zusätzliche Emissionen, wodurch das Gesamt-THG-Potenzial von 7,6 auf 7,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sinkt. In der Kombination „Synergie-Maßnahmen“ werden hingegen Emissionen in der Energieproduktion gemindert, da durch die Vergärung von Nebenernteprodukten mehr Energie aus Biogas gewonnen wird. Außerdem werden der N-Mineraldüngereinsatz und dadurch die THG-

Emissionen außerhalb des Landwirtschaftssektors gemindert. Werden diese Einsparungen hinzugerechnet, steigt das Gesamt-THG-Potenzial von 3,9 auf 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Die Differenz zwischen den beiden Kombinationen beträgt bei sektorübergreifender Betrachtung nur noch rund 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. anstatt 3,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dies verdeutlicht, dass Klimaschutzmaßnahmen stets auch hinsichtlich ihrer Wirkung außerhalb des landwirtschaftlichen Sektors bewertet werden sollten, da ansonsten der Minderungseffekt von Maßnahmen, die in der Landwirtschaft umgesetzt, aber in anderen Sektoren bilanziert werden, unterschätzt wird.

Einzelne Maßnahmen, wie z.B. die Begrenzung der Viehbesatzdichte, der Ausbau des Ökolandbaus oder der Anbau von Körnerleguminosen, beeinflussen die Produktionsmengen der Landwirtschaft in Deutschland. Bei gleichbleibender inländischer Nachfrage führt ein Rückgang der inländischen Produktion unter Umständen zu höheren Importen, wodurch THG-Emissionen ins Ausland verlagert werden. Diese möglichen Verlagerungseffekte sind hier nicht berücksichtigt worden, müssten jedoch für eine ganzheitliche Bewertung der Maßnahmen mit betrachtet werden. Auf der anderen Seite werden auch die vielfältigen positiven Umweltwirkungen einzelner Maßnahmen nicht in die Bewertung einbezogen, was u.a. den Ökolandbau betrifft.

Neben den THG-Emissionen, die im KSG der Landwirtschaft zugerechnet werden, sind weiterhin auch Emissionen im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) auf landwirtschaftliche Aktivitäten zurückzuführen. Durch die Entwässerung und Bewirtschaftung von drainierten organischen Böden (Moorböden) und durch den Umbruch von Grünland wurden im Jahr 2023 rund 44 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq (UBA, 2025c) freigesetzt. Für die Minderung dieser THG-Emissionen wird ein großes Potenzial und eine große Notwendigkeit gesehen (Harthan et al., 2023). Maßnahmen in diesen Bereichen wirken nicht nur emissionsmindernd, sondern erhöhen auch die Kohlenstoffvorräte des LULUCF-Sektors, mit dem in 2045 die unvermeidbaren Restemissionen, die unter anderem auch in der Landwirtschaft entstehen, kompensiert werden sollen. Minderungspotenziale im LULUCF-Sektor sowie Wirkungen der KSP- und der 25 zusätzlichen Maßnahmen auf den LULUCF-Sektor waren nicht Inhalt des Projekts "E-MoLL".

### 3 Energiebedingte Emissionen aus der Landwirtschaft

Das KSP 2030 sieht als weitere Maßnahme die „Steigerung der Energieeffizienz (Quellgruppe Feuerungsanlagen)“ vor. Diese Maßnahme betrifft nicht den CRT-Sektor „Landwirtschaft“, den das Modell EMMA-L-NC abbildet, sondern den CRT-Sektor „mobile und stationäre Verbrennung in der Landwirtschaft<sup>7</sup>.“ 2023 betragen die Emissionen dieses Quellbereichs 8,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., was 13 % der landwirtschaftlichen THG-Emissionen entspricht. Der Energieverbrauch in der Landwirtschaft wird allerdings in der Emissionsberichterstattung nicht differenziert ermittelt, die Wirkung von Minderungsmaßnahmen kann auf Basis der Emissionsberichterstattung nicht abgeschätzt werden. Im Rahmen des Projekts wurde daher für diesen Quellbereich ein „bottom-up“-Ansatz entwickelt, mithilfe dessen zukünftig einzelne Maßnahmen quantifiziert und bewertet werden können.

Diesen Berechnungen zufolge betragen die THG-Emissionen der Außenwirtschaft (Acker- und Grünlandwirtschaft) 3,69 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., die der Innenwirtschaft (Nutztierhaltung) 0,88 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und des Unterglasanbaus 0,64 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr. In der Summe entstehen nach diesen Ansätzen im Quellbereich mobile und stationäre Feuerungsanlagen THG-Emissionen in Höhe von 5,22 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.

---

<sup>7</sup> gemäß CRT – Common Reporting Table wird die mobile und stationäre Verbrennung in der Landwirtschaft in Kategorie 1A4c berichtet

Die Differenz der Ergebnisse mit den Zahlen des Inventars lässt sich weitgehend mit der im vorliegenden Bericht unvollständigen Berücksichtigung der Dieserverbräuche von mobilen Geräten erklären. Es ist davon auszugehen, dass mit der methodischen Berücksichtigung weiterer Arbeitsgänge im Pflanzenbau über den Leistungs-Kostenrechner Pflanzenbau hinaus sowie weiterer Arbeitsgänge in der Innenwirtschaft über die Wiederkäuerfütterung hinaus ein signifikanter Teil dieser Differenz erklärt werden kann. Zudem kam es mit der Berichterstattung 2024 zu einer Änderung der Inventarmethodik, die zu einem rechnerischen Anstieg der Inventardaten von rund 2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. geführt hat. Diese erschweren die Vergleichbarkeit der Daten ebenfalls.

Für den Wärmeverbrauch in der Landwirtschaft eignen sich ähnliche Maßnahmen wie im Gebäudesektor wie bspw. Dämmung, erhöhte Effizienz oder der Einsatz erneuerbarer Energiequellen. Die Elektrifizierung von Arbeitsgängen im Stallbereich bspw. für Fütterung, Einstreuen und Entmisten bietet weitere Einsparpotenziale. Ein Großteil des Energieverbrauchs, und somit auch der THG-Emissionen, entfallen jedoch auf die Außenwirtschaft (pflanzliche Erzeugung). Minderungsmaßnahmen für Antriebstechniken der Arbeitsmaschinen in der Außenwirtschaft wie die Elektrifizierung von Landmaschinen oder der Einsatz von alternativen Kraftstoffen bedürfen noch weiterer Entwicklung und Machbarkeitsevaluierung. Insbesondere bei schweren Arbeitsmaschinen mit langen Einsatzzeiten auf dem Feld stellt der Umstieg von der Verbrennungstechnik auf alternative Antriebe eine große Herausforderung dar. Der Einsatz von Biokraftstoffen wird kontrovers diskutiert, insbesondere aufgrund der Auswirkungen auf Landnutzungsänderungen.

## 4 Kosten der Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft

Die THG-Vermeidungs-Kostenanalyse ist von besonderer Bedeutung, weil in der Regel von begrenzten ökonomischen Ressourcen auszugehen ist und sich daher die verfügbaren Klimaschutzmaßnahmen nicht alle sofort umsetzen lassen. Der größte Klimaschutzeffekt bei gegebenem Mitteleinsatz (also das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis) lässt sich erreichen, indem die größtmögliche Wirtschaftlichkeit der THG-Vermeidung angestrebt wird. Demzufolge sind finanzielle Mittel nicht zwingend auf die Maßnahmen mit den größten Potenzialen zu konzentrieren, sondern auf die Maßnahmen mit den geringsten THG-Minderungskosten. Eine Minderungskostenanalyse hilft dabei, möglichst kostengünstige Maßnahmen zu identifizieren.

Für ausgewählte Maßnahmen wurden daher Treibhausgas-Vermeidungskosten auf der Verfahrensebene berechnet (Tabelle 4). Sie beziffern die Kosten (netto) der Emissionsverminderung in Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äq. Die Vermeidungskosten entsprechen den (potenziellen) Mehrkosten für die Durchführung der Maßnahme, vermindert um mögliche Kostenreduzierungen, beispielsweise durch die Einsparung von N-Mineraldünger. Negative Minderungskosten, hier vereinfacht als Kostenminderung bezeichnet, können entstehen, wenn der Betriebsmittelaufwand ohne Veränderung der Naturalleistungen sinkt, gemäß der hier entwickelten Methodik aber auch, wenn unter Einbeziehung von Erlösen eines Verfahrens der Erlös höher ist als die tatsächlich entstehenden Kosten. Bei der Ermittlung von THG-Minderungskosten tritt das Problem der Kostenzuordnung oder Kostenzuweisung bei solchen Maßnahmen auf, die neben der THG-Vermeidung weitere Vorteilswirkungen für die Umwelt aufweisen. Beispielsweise haben Maßnahmen zur Emissionsminderung von Ammoniak einen signifikanten Nebeneffekt auf die THG-Minderung über die Vermeidung indirekter Lachgasemissionen. Ähnliches gilt für den Ökologischen Landbau, der einen beträchtlichen THG-Minderungsbeitrag leistet, jedoch überwiegend aus anderen Motiven (u.a. Bodenschutz, Grundwasserschutz, Schutz der Biodiversität) umgesetzt wird. Da



bislang keine anerkannte Methodik zur Kostenallokation von THG-Minderungsmaßnahmen existiert, wurde im Projekt ein erster Ansatz mit subjektiv festgelegten Anteilen verfolgt.

Die drei Maßnahmen des KSP weisen geringe Minderungskosten, teilweise sogar Kosteneinsparungen auf. Die Senkung der N-Überschüsse wird als kostenneutral angenommen. Die Zunahme der Wirtschaftsdüngervergärung verursacht Kosten in einer Spanne von -48 bis 61 Euro t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-Äq. Diese im Vergleich zu Literaturwerten geringen Minderungskosten sind auf den umfangreichen Bestand an Biogasanlagen in Deutschland zurückzuführen. Für die Umsetzung entstehen nur Kosten für die Umrüstung der Anlagen sowie für die Abdeckung der Gärrestlager. Wenn Biogasanlagen für diese Maßnahme neu errichtet werden müssten, fallen die Kosten höher aus. Die Vermeidungskosten für die Ausweitung des Ökolandbaus liegen zwischen -56 und -39 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äq., d.h. es werden im günstigsten Fall Kosten vermieden. Diese Bewertung erfolgt unter der Voraussetzung, dass der Rückgang der Produktionsmengen nicht ausgeglichen werden muss.

**Tabelle 4: THG-Minderungspotenziale und THG-Minderungskosten der Maßnahmen in der nationalen Grenzkostenkurve**

Maßnahme <sup>1</sup>	Minderungskosten Spanne <sup>2</sup> [€ t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> -Äq.]	Minderungspotenzial Spanne <sup>2</sup> [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.]	Allokation THG-Minderung <sup>3</sup> [%]
Abbau von Sicherheitszuschlägen bei der N-Düngung	<b>-309</b>	0,133 – <b>0,204</b>	100
Teilflächenspezifische Düngung mittels Sensoren	<b>-122</b> – -318	<b>0,062</b> – 0,063	25
Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen	<b>-57</b> – -18	0,649 – <b>1,218</b>	33
Ausweitung des Ökolandbaus Pflanzenbau und Tierhaltung	<b>-56</b> – -39	<b>1,595</b> – 4,607	25
Optimierte Düngeplanung	<b>-45</b>	<b>0,455</b>	25
Senkung der Stickstoffüberschüsse	<b>0</b>	0,53 – 1,72 <b>(1,125)</b>	100
Methanogenese-hemmende Güllezusätze	9 – <b>15</b>	1,401 – <b>1,416</b>	100
Gülleansäuerung im Stall	<b>25</b> – 43	<b>1,572</b> – 1,601	33
Steigerung der Wirtschaftsdüngervergärung inkl. gasdichter Gärrestlagerung	-48 – 61 ( <b>30</b> )	1,112 – 4,993 <b>(3,1)</b>	100
Methanogenese-hemmende Futterzusatzstoffe	<b>72</b>	<b>1,316</b>	100
Einsatz von Nitrifikationshemmern	<b>84</b> – 89	<b>1,049</b>	100
Gülleabkühlung	<b>114</b>	<b>0,11</b>	33
Optimiertes Wirtschaftsdünger-Management / Emissionsoptimierter Stall	<b>235</b>	<b>0,394</b>	33
Verzicht auf Qualitätsdüngung beim Backweizen	<b>190</b> – 1.033	0,049 – <b>0,266</b>	25
Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus	<b>779</b>	<b>0,134</b>	25
Gülleansäuerung bei Ausbringung	1.110	0,055	33



Maßnahme <sup>1</sup>	Minderungs- kosten Spanne <sup>2</sup> [€ t <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> -Äq.]	Minderungs- potenzial Spanne <sup>2</sup> [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.]	Allokation THG- Minderung <sup>3</sup> [%]
Vergärung von Nebenernteprodukten	22 – 3.000	0,079	100

<sup>1</sup> Zu den Annahmen und Details der Ausgestaltung der Maßnahmen wird auf den E-MoLL-Projektbericht (Dreisbach et al., 2025) verwiesen

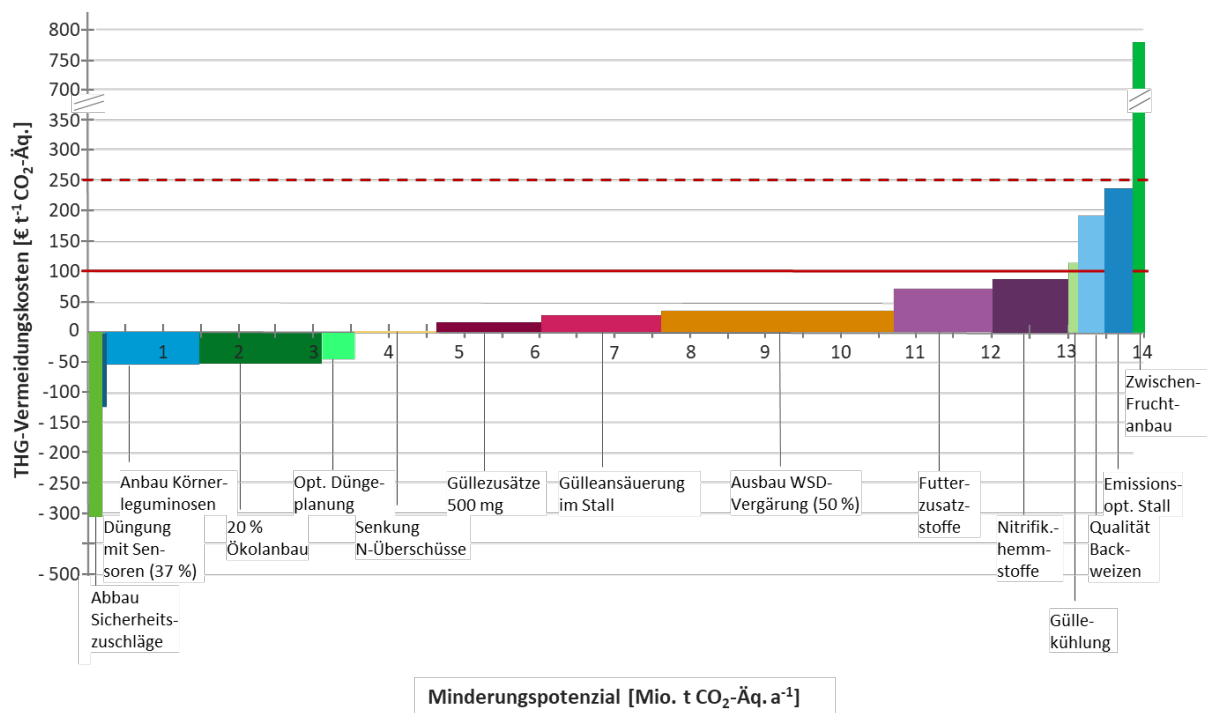
<sup>2</sup> Fett gedruckte Werte werden für die Grenzkostenkurve verwendet.

<sup>3</sup> Anteil der Maßnahmenkosten, der der THG-Minderung zugerechnet wird.

Für einige der zusätzlichen Maßnahmen sind ebenfalls THG-Vermeidungskosten ermittelt worden. Kostenmindernd wirken sich bei den zusätzlichen Maßnahmen die Düngung mittels Sensoren, der Abbau von Sicherheitszuschlägen bei der N-Düngung sowie die Ausweitung des Anbaus von Körnerleguminosen. Mit jeder vermiedenen Tonne THG-Emissionen können also auch negative THG-Vermeidungskosten entstehen. Besonders hohe THG-Vermeidungskosten entstehen durch eine Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus. Diese liegen oberhalb von 700 Euro t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-Äq. zudem weist die Maßnahme geringe THG-Minderungspotenziale auf. Grund dafür sind die höheren Bewirtschaftungskosten beim Zwischenfruchtanbau. Auch der Verzicht auf die Qualitätsdüngung beim Weizen ist mit 190 bis 1.033 € und pro vermiedener Tonne CO<sub>2</sub>-Äq. vergleichsweise teuer, was auf die angenommenen geminderten Erlöse beim Weizenverkauf zurückzuführen ist. Beides kann durch die Mineraldüngereinsparungen und die damit reduzierten Ausgaben nicht abgedeckt werden. Aus den gestiegenen Kosten und den geringen THG-Minderungspotenzialen resultieren hohe THG-Vermeidungskosten. Mit dem Anbau von Zwischenfrüchten und dem Verzicht auf die Qualitätsdüngung beim Weizen sind aber positive Effekte verbunden, wie die Reduzierung der N-Auswaschung und im Falle des Zwischenfruchtanbaus auch Erosionsschutz und Humusaufbau. Daher wurden nach der verwendeten Allokationsregel für die THG-Minderung nur 25 % der Kosten angerechnet. Vermeidungskosten von über 100 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äq. haben die Güllekühlung, der emissionsoptimierte Offenstall sowie das optimierte Wirtschaftsdüngermanagement. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese Maßnahmen insbesondere für die Minderung von Ammoniakemissionen entwickelt wurden und die THG-Minderung sich auf vermiedene indirekte Lachgasemissionen beschränkt. Daher wurde für diese Maßnahmen eine Allokation von 1/3 der Kosten für Klimaschutz angewendet. Für die weiteren Maßnahmen liegen die Vermeidungskosten zwischen 0 und 100 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äq., weshalb diese Maßnahmen sich aus Kostensicht gut für die Umsetzung eignen.

Die THG-Vermeidungskosten und Minderungspotenziale der einzelnen Maßnahmen sind in Abbildung 2 zur nationalen Grenzkostenkurve aggregiert, in der die Minderungspotenziale gereiht nach den zunehmenden spezifischen Vermeidungskosten der Maßnahmen (fett gedruckte Werte in Tabelle 3) dargestellt werden. Die Bewertung der Kosten orientiert sich an der aktuellen CO<sub>2</sub>-Bepreisung nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG, i.d. Fassung vom 13.02.2022), Minderungskosten über 100 € t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-Äq. werden als hoch eingestuft. Auf die Bewertung der THG-Folgekosten wurde im Projekt verzichtet, weil diese Berechnungen je nach Methode und Betroffenheit sehr unterschiedliche Folgekosten ergeben, die um eine Größenordnung auseinanderliegen. Das UBA (2024) verwendet für im Jahr 2023 emittierte Treibhausgase einen Kosten-satz von 250 € t<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>-Äq. (1 % Zeitpräferenzrate).

**Abbildung 2: Nationale Grenzkostenkurve der THG-Vermeidung**



Quelle: eigene Darstellung (DöhlerAgrar mit Potenzial-Daten der Uni Gießen)

Gestrichelte Linie = Schadenskosten der THG-Emissionen infolge des Klimawandel gem. UBA (2024)

Durchgezogene Linie = Im Projekt definierte Kostengrenze, ab der THG-Minderungskosten als „hoch“ eingeschätzt werden.

Minderungskosten im ÖL ohne Berücksichtigung der Auswirkung von geringeren Naturalerträgen (Best Case-Annahme)

Diese Kostenberechnungsmethodik wurde im Rahmen des Vorhabens neu entwickelt. Weitergehende Fachdiskussionen und Forschungsarbeiten zur Absicherung dieser Methodik und der Ergebnisse sind daher erforderlich.

## 5 Fazit

Die Landwirtschaft liefert Beiträge zur Reduzierung der THG-Emissionen in anderen Sektoren (z.B. über die Erzeugung erneuerbarer Energie). Darüber hinaus werden die THG-Emissionen nach aktuellem KSG im Sektor Landwirtschaft selber auf mindestens 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gemindert werden müssen, damit das Ziel der Treibhausgasneutralität in 2045 in erreichbare Nähe rückt. Mit den Maßnahmen, die das KSP 2030 für die Landwirtschaft derzeit vorsieht, kann dieses ambitionierte Ziel voraussichtlich nicht erreicht werden. Das Potenzial für eine Verminderung der THG-Emissionen aus der mobilen und stationären Verbrennung in der Landwirtschaft wird zudem als vergleichsweise gering eingeschätzt. Den Projektergebnissen zufolge verbleibt insgesamt eine Minderungslücke in der Größenordnung von jährlich rund 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., wenn lediglich die drei Maßnahmen des KSP im maximalen Umfang umgesetzt werden. Mit den hier quantifizierten zusätzlichen Maßnahmen können die Emissionen stärker gesenkt und die Lücke auf 3,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. reduziert werden. Die zügige Umsetzung der bereits beschlossenen und zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft ist daher angezeigt. Dies hatte die ZKL bereits 2021 festgestellt und dies wird mit den vorliegenden Ergebnissen bekräftigt. Dabei sind auch tiefgreifende strukturelle Maßnahmen, wie die flächenbezogene Begrenzung der Tierhaltung, in Betracht zu ziehen. Außerdem wird es ohne Suffizienz-Maßnahmen, die den Konsum tierischer Produkte senken und zu einem Rückgang des Tierbestands führen, schwierig werden, die Netto-Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen (UBA, 2021, 2025a).

Darüber hinaus bieten auch die Wiedervernässung von Mooren, z.B. in Verbindung mit einer nassen Bewirtschaftung (Paludikultur), der Schutz von Dauergrünland und Maßnahmen zum Humusaufbau (z.B. Agroforstsysteme, Fruchtfolgegestaltung, Bestellungsverfahren) erhebliche Potenziale für THG-Minderungen und für den Schutz von Kohlenstoffvorräten. Diese Bereiche sind zum Teil eng mit der Landwirtschaft gekoppelt. Maßnahmen in diesen Bereichen werden jedoch im Emissionsinventar dem Sektor LULUCF zugerechnet und wurden daher nicht in "E-MoLL" einbezogen.

Für die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen sind, neben der THG-Minderungswirkung, die Minderungskosten ein maßgeblicher Faktor. Für die drei Maßnahmen des KSP 2030 werden relativ niedrige Kosten pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äq. ermittelt, einzelne Maßnahmen führen teilweise sogar zu einer Kostenentlastung für die Betriebe. Maßnahmen mit hohem Minderungspotenzial bei geringen Kosten sollten prioritär in ein neues Klimaschutzprogramm aufgenommen werden. Die Konzeption von Klimaschutzmaßnahmen sollte daneben auch die Auswirkungen auf andere Umweltbereiche berücksichtigen, wie beispielsweise die Nitratbelastung des Grundwassers und die Freisetzung von Luftschadstoffen wie Ammoniak, Feinstaub und Stickoxiden. Dementsprechend sollten solche Maßnahmen priorisiert werden, die positive Synergieeffekte mit anderen Schutzgütern haben oder auch THG-Emissionen in anderen Sektoren mindern. Weiterhin muss verhindert werden, dass durch Minderungsmaßnahmen in der Landwirtschaft in Deutschland THG-Emissionen in andere Sektoren oder ins Ausland verlagert werden.

Treibhausgasneutralität kann nur erreicht werden, wenn alle Sektoren enorme Anstrengungen beim Klimaschutz leisten. Auch wenn die Landwirtschaft niemals emissionsfrei wirtschaften kann, ist sie ebenso mit der Umsetzung von Minderungsstrategien gefordert. Gleichzeitig ist sie einer der Sektoren, der am stärksten von den Folgen des Klimawandels betroffen ist. Es liegt daher auch im eigenen Interesse der landwirtschaftlichen Betriebe, den Klimawandel und seine Auswirkungen so gering wie möglich zu halten. Die Anpassungsprozesse hin zu einer klimafreundlicheren Landwirtschaft erfordern einen langen Zeitraum. Die meisten Maßnahmen benötigen viele Jahre, um ihre volle Wirkung zu entfalten. Es ist daher wichtig, dass die derzeit praktizierten Klimaschutzmaßnahmen im Agrarbereich weitergeführt und intensiviert sowie weitere Maßnahmen implementiert werden. Hierfür braucht es eine sektor-übergreifende, langfristig angelegte Strategie, beginnend mit einer Effizienzanalyse unter Einbeziehung weiterer Umweltwirkungen, nach der die kosteneffizientesten Maßnahmen priorisiert werden. Zu einer ähnlichen Einschätzung kam auch der Expertenrat für Klimafrage in seinem Mitte Februar 2025 veröffentlichten Zweijahresgutachten (Expertenrat für Klimafragen, 2025). Dieser Umbau der Landwirtschaft wird nur gelingen, wenn er auf einem breiten gesellschaftlichen Konsens basiert und geeignete agrarpolitische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es den landwirtschaftlichen Betrieben erlaubt eine sichere Zukunftsperspektive zu entwickeln.

## 6 Literaturverzeichnis

Biewald, A.; Gniffke, P.; Fuß, R. (2022): Prozentuale Sektorziele ermöglichen mehr Klimaschutz – das aktuelle Fallbeispiel Landwirtschaft. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/factsheet\\_prozentuale\\_sektorziele\\_ermoeneglichen\\_mehr\\_klimaschutz.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/factsheet_prozentuale_sektorziele_ermoeneglichen_mehr_klimaschutz.pdf) (Zugriff am: 10.07.2024).

Biewald, A.; Pacholski, A.; Dippon-Deißler, U.; Klitzke, S.; Noll, L., 2025: Urease- und Nitrifikationsinhibitoren für Klima- und Umweltschutz: Chance oder Risiko? Umweltbundesamt, UBA-Texte XXX, Dessau-Roßlau. DOI: 10.60810/openumwelt-7771.

Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist, KSG, 2019, Geändert durch Art. 1 G v. 18.8.2021 I 3905.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) [Hrsg.] (2023): Bio-Strategie 2030. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bio-strategie-2030.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bio-strategie-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=10) (Zugriff am: 08.05.2024).

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) [Hrsg.] (2024a): Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur, Bonn, 60 S. [https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/Projekte/2024/bundeswaldinventur/Downloads/BWI-2022\\_Broschuere\\_bf-neu\\_01.pdf](https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/Projekte/2024/bundeswaldinventur/Downloads/BWI-2022_Broschuere_bf-neu_01.pdf) (Zugriff am: 05.01.2025).

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) [Hrsg.] (2024b): Versorgungsbilanz Fleisch, Bonn. <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung/versorgungsbilanzen/fleisch> (Zugriff am: 10.07.2024).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) [Hrsg.] (2023): - Entwurf- Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland, nach Artikel 6 und Artikel 10 der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe sowie nach §§ 4 und 16 der Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV). [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Glaeserne\\_Gesetze/20\\_Lp/nlrp/nationales\\_luftreinhalteprogramm\\_entwurf\\_2023\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/20_Lp/nlrp/nationales_luftreinhalteprogramm_entwurf_2023_bf.pdf) (Zugriff am: 10.07.2023).

Bundesregierung [Hrsg.] (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplanes 2050. [www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Klimaschutz/Klimaschutzprogramm2030.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/Klimaschutz/Klimaschutzprogramm2030.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (Zugriff am: 03.11.2022).

Bundesregierung [Hrsg.] (2023): Klimaschutzprogramm 2023 der Bundesregierung, Berlin, 27 S. [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=10) (Zugriff am: 23.06.2024).

Don, A. (2022): Nur die "große Lösung" funktioniert. In: *DLG-Mitteilungen*, 5/2022, S. 18 – 21.

Dreisbach, N.; Häußermann, U.; Bach, M.; Döhler, H.; Müller, H.; Lohrberg, T.; Döhler, S.; Breuer, L., 2025: Entwicklung eines Modells zur Bewertung von THG-Minderungsmaßnahmen im Sektor Landwirtschaft (E-MoLL). Umweltbundesamt, UBA-Texte XXX, Dessau-Roßlau. DOI: 10.60810/openumwelt-7675.

Düngeverordnung - Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen, DüV, 2017, zuletzt geändert durch Art. 97 G v. 10. August 2021.

Expertenrat für Klimafragen (2022): Zweijahresgutachten 2022, Berlin. [https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/11/ERK2022\\_Zweijahresgutachten.pdf](https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2022/11/ERK2022_Zweijahresgutachten.pdf) (Zugriff am: 25.03.2025).

Expertenrat für Klimafragen (2024a): Expertenrat prüft Projektionsdaten: Einhaltung des Klimaziels für 2021 bis 2030 nicht bestätigt. [https://expertenrat-klima.de/news/pressemitteilung\\_erk2024\\_sondergutachten-pruefung-projektionsdaten-2024-2/](https://expertenrat-klima.de/news/pressemitteilung_erk2024_sondergutachten-pruefung-projektionsdaten-2024-2/) (Zugriff am: 25.03.2025).

Expertenrat für Klimafragen (2024b): Prüfbericht zur Berechnung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2023. Prüfung und Bewertung der Emissionsdaten gemäß § 12 Abs. 1 Bundes-Klimaschutzgesetz, Berlin, 144 S. [https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2024/05/ERK2024\\_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2023.pdf](https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2024/05/ERK2024_Pruefbericht-Emissionsdaten-des-Jahres-2023.pdf) (Zugriff am: 16.07.2024).

Expertenrat für Klimafragen [Hrsg.] (2025): Zweijahresgutachten 2024. Gutachten zu bisherigen Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, Trends der Jahresemissionsgesamtmengen und Jahresemissionsmengen sowie Wirksamkeit von Maßnahmen (gemäß § 12 Abs. 4 Bundes-Klimaschutzgesetz), Berlin. <https://expertenrat-klima.de/publikationen/> (Zugriff am: 05.03.2025).

Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG), BEHG, 2022, i.d. Fassung vom 13.02.2022.

Harthan, R.; Förster, h.; Borkowski, K.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Ludig, S.; Mathhes, F. C.; Mendelewitsch, R.; Moosmann, L.; Nissen, C.; Repenning, J.; Scheffler, M.; Steinbach, I.; Bei der Wieden, M. et al. (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Umweltbundesamt, Climate Change 39/2023, Dessau-Roßlau, 274 S. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/39\\_2023\\_cc\\_projektionsbericht\\_12\\_23.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/39_2023_cc_projektionsbericht_12_23.pdf) (Zugriff am: 13.05.2024).

Harthan, R.; Förster, h.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Görz, W. K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Ludig, S.; Scheffler, M.; Bei der Wieden, M.; Brugger, H.; Fleiter, T.; Mandel, T.; Rehfeldt, M.; Deurer, J.; Steinbach, j.; Osterburg, B.; Rock, J. (2024): Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 303 S. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionen\\_technischer\\_anhang\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionen_technischer_anhang_0.pdf) (Zugriff am: 25.03.2025).

Haß, M.; Deblitz, C.; Freund, F.; Kreins, P.; Laquai, V.; Offermann, F.; Pelikan, J.; Sturm, V.; Wegmann, J.; Witte, T. de; Wüstemann, F.; Zinnbauer, M. (2022): Thünen-Baseline 2022 - 2032: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland, Thünen Report 100, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, 126 S. DOI: 10.3220/REP1667811151000.

Häußermann, U.; Dreisbach, N.; Bach, M.; Breuer, L. (im Druck): Evaluierung der novellierten Düngegesetzgebung auf deren Umwelt- und Klimawirkung. Umweltbundesamt, UBA-Texte.

Kompetenznetzwerk Nutztierhaltung (2020): Empfehlungen des Kompetenznetzwerks Nutztierhaltung. [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Tiere/Nutztiere/200211-empfehlung-kompetenznetzwerk-nutztierhaltung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Tiere/Nutztiere/200211-empfehlung-kompetenznetzwerk-nutztierhaltung.pdf?__blob=publicationFile&v=3) (Zugriff am: 25.03.2025).

Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates - vom 14. Dezember 2016 - über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/ 35/ EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/ 81/ EG, Richtlinie (EU) 2016/2284, 2016, vom 14. Dezember 2016.

Rösemann, C.; Vos, C.; Haenel, H.-D.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Steuer, B.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2023): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2021, Report on methods and data (RMD) Submission 2023. <https://git-dmz.thuenen.de/vos/EmissionsAgriculture2023/-/wikis/home> (Zugriff am: 10.07.2023).

Schäfer, A. C.; Boing, H.; Conrad, J.; Watzl, B.; für die DGE Arbeitsgruppe Lebensmittelbezogene (2024): Wissenschaftliche Grundlagen der lebensmittelbezogenen Ernährungsempfehlungen für Deutschland. Methodik und Ableitungskonzepte. In: *Ernährungs Umschau*, 3, S. 158 – 166.

Umweltbundesamt (UBA) [Hrsg.] (2021): Treibhausgasminderung um 70 Prozent bis 2030: So kann es gehen!, Position, Dessau-Roßlau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/21\\_12\\_29\\_uba\\_pos\\_treibhausgas\\_minderung\\_um\\_70prozent\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/21_12_29_uba_pos_treibhausgas_minderung_um_70prozent_bf.pdf) (Zugriff am: 25.03.2025).

Umweltbundesamt (UBA) [Hrsg.] (2024): Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#klimakosten-von-treibhausgas-emissionen> (Zugriff am: 18.10.2024).

Umweltbundesamt (UBA) [Hrsg.] (2025a) (im Druck): Aktualisierung der UBA-Position im nationalen Klimaschutz, Climate Change XX, Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (UBA) [Hrsg.] (2025b): Datentabelle für die Treibhausgas-Projektionen 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/dokumente/projektionen-2025-datentabelle.xlsx> (Zugriff am: 25.03.2025).

Umweltbundesamt (UBA) [Hrsg.] (2025c): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2023. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/2025\\_01\\_14\\_em\\_entwicklung\\_in\\_d\\_trendtabelle\\_thg\\_v1.0.xlsx](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/2025_01_14_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v1.0.xlsx) (Zugriff am: 05.03.2025).

Umweltbundesamt (UBA) [Hrsg.] (2025d): Treibhausgas-Projektionen 2025 – Ergebnisse kompakt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/ergebnisse\\_kompakt\\_2025\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/ergebnisse_kompakt_2025_bf.pdf) (Zugriff am: 25.03.2025).

Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBilV), StoffBilV, 2018, 1. Fassung.

Vos, C.; Rösemann, C.; Fuß, R.; Osterburg, B. (2022): Quantifizierung von Maßnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen für das Nationale Luftreinhalteprogramm 2 (NLRP 2). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Umweltbundesamt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft und Thünen-Institut, Braunschweig.

Willett, W.; Rockström, J.; Loken, B.; Springmann, M.; Lang, T.; Vermeulen, S.; Garnett, T.; Tilman, D.; DeClerck, F.; Wood, A.; Jonell, M.; Clark, M.; Gordon, L. J.; Fanzo, J.; Hawkes, C.; Zurayk, R.; Rivera, J. A.; Vries, W. de; Majele Sibanda, L.; Afshin, A.; Chaudhary, A.; Herrero, M. et al. (2019): Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. In: *Lancet (London, England)*, 393, 10170, S. 447 – 492. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31788-4.

Zukunftskommission Landwirtschaft (ZKL) [Hrsg.] (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft, Rangsdorf, 190 S. [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Bodenschutz/zkl\\_abschlussbericht\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/zkl_abschlussbericht_bf.pdf) (Zugriff am: 03.01.2025).

---

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-0

[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)

Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

### DOI

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7854>

Stand: 03/2025

### Autorenschaft, Institution

Nele Dreisbach, Martin Bach, Uwe Häußermann und Lutz Breuer

Justus-Liebig-Universität Gießen

Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement

Heinrich-Buff-Ring 26

35392 Gießen

Helmut Döhler, Helena Müller, Theresia Lohrberg und Susanne Döhler

DöhlerAgrar, Untermerzbach

Frederike Balzer, Knut Ehlers

FG II 2.2 Landwirtschaft Umweltbundesamt