

# Klimaschutzszenarien 2050: Modellierung, Analyse und Vergleich von Zielszenarien - Sektor Landwirtschaft

Sektor Landwirtschaft

Freiburg, 01.08.2024

## Autorinnen und Autoren

**Öko-Institut e.V.**  
Kirsten Wiegmann  
Margarethe Scheffler

**Geschäftsstelle Freiburg**  
Postfach 17 71  
79017 Freiburg

**Hausadresse**  
Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

**Büro Berlin**  
Borkumstraße 2  
13189 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

**Fraunhofer ISI**  
Breslauer Str. 48  
76139 Karlsruhe  
Telefon +49 721 6809-272

**Kontakt**  
[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2 Vorgehen und Methode</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Kostenabschätzung und THG-Preis</b>	<b>8</b>
2.1.1 Wechselwirkung mit dem LULUCF Sektor	9
<b>3 Ausgestaltung Instrumente</b>	<b>10</b>
<b>4 Folgenabschätzung</b>	<b>13</b>
<b>4.1 THG-Emissionen</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Strukturelle Entwicklung</b>	<b>16</b>
<b>4.3 Sektorale ökonomische Folgen</b>	<b>19</b>
<b>5 Kernbotschaften</b>	<b>23</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>25</b>
<b>Anhang</b>	<b>27</b>
<b>Anhang I. Modellbeschreibung LiSE (Betriebstypen)</b>	<b>27</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft in KS1-KS4	14
Abbildung 2: Entwicklung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft nach Quellgruppen	15
Abbildung 3: Entwicklung der Tierbestände in den Szenarien in Großvieheinheiten (GVE)	16
Abbildung 4: Entwicklung des Stickstoffeinsatzes in den Szenarien	19
Abbildung 5: Mehrinvestitionen und Investitionszuschüsse	21
Abbildung 6: Betriebskosten und Vergütungen	22

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Herleitung der Emissionsziele für den Landwirtschaftssektor	7
Tabelle 2: Berechnung Grenz-THG-Preis am Beispiel verschiedener Milchleistungen	10
Tabelle 3: Übersicht der Instrumente KS1 „Policy Mix“ und KS4 „Ordnungsrecht“	11
Tabelle 4: Übersicht der Instrumente KS2 „ETS/BEHG-Preis“ und KS3 „Einheitlicher THG-Preis“	12
Tabelle 5: Entwicklung des Angebots an tierischen Produkten im Vergleich zu 2020	17

## 1 Einleitung

Der Sektor Landwirtschaft berichtet die Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung und aus der Bodennutzung, für die Berichtspflichten im Rahmen des Klimaschutzgesetzes kommen außerdem noch Emissionen der mobilen und stationären Energieverwendung hinzu. Eine Besonderheit bildet die Abgrenzung zum Sektor LULUCF: Kohlenstoffveränderungen (Quellen wie Senken), die durch eine veränderte Bewirtschaftung in Böden und Biomasse entstehen, gehen zwar auf die Landwirtschaft zurück, werden aber im LULUCF Sektor berichtet. Das sind insgesamt noch einmal Emissionen in Höhe von etwa 60 % der Landwirtschaft, die v. a. aus der Bewirtschaftung entwässerter Moorböden stammen (UBA 2023).

Die derzeitige Entwicklung der THG-Emissionen und die Projektionen des MMS-Szenarios aus dem Projektionsbericht der Bundesregierung zeigen, dass die wichtigsten Minderungsbeiträge bis 2030 aus einem marktgetriebenen Rückgang der Tierhaltung und einem Methodeneffekt durch die Anpassung der Emissionsfaktoren stammen. Laut den jüngsten Projektionen übersteigt die Jahresemissionsmenge das Sektorziel für 2030 aus dem Klimaschutzgesetz von (Harthan et al. 2023)<sup>1</sup>. Zusätzlich lässt das Tempo der THG-Minderung in der Landwirtschaft insgesamt nach und weitere Impulse für den Klimaschutz sind notwendig. Diese sind vor allem im Bereich der Tierhaltung zu setzen, denn die erwähnte Methodenanpassung hat gleichzeitig auch eine Verschiebung der Lachgas- und Methanemissionen zur Folge. Wobei letztere, die überwiegend aus der Tierhaltung stammen, nun einen größeren Anteil einnehmen. Allein die Kategorie der verdauungsbedingten Emissionen hat einen Anteil von 42 % (UBA 2023). Dabei ist deren technisches Minderungspotenzial als ungewiss einzustufen, da Langzeitversuche mit Futterzusatzstoffen fehlen, und damit kein Beleg für eine dauerhafte Wirkung und Unbedenklichkeit für Mensch und Umwelt vorhanden ist (IPCC 2022).

Eine weitere zentrale Herausforderung besteht in der Verringerung der LULUCF-Emissionen landwirtschaftlich genutzter Moorböden (siehe Sektorbericht LULUCF) wo heute 15 bis 20% der Milcherzeugung stattfinden.

Die THG-Emissionen der Landwirtschaft entstehen in natürlichen Prozesse, deren vollständige technische Reduktion ist nicht möglich. Aus diesem Grund müssen die verbleibenden Emissionen der Landwirtschaft in der treibhausgasneutralen Welt durch Negativemissionen ausgeglichen werden. Jedoch gibt es bisher kein Zielbild in welcher Höhe die Emissionen für diesen Sektor in Zukunft liegen sollten, ein Anknüpfungspunkt könnte hierfür die Verfügbarkeit von Senken und die Nachfrage der übrigen Sektoren nach negativen Emissionen sein. Aus diesem Grund sind Szenarioanalysen für die Suche nach der Rolle der Landwirtschaft in einem klimaneutralen Deutschland bis 2045 von besonderem Interesse.

<sup>1</sup> Die Landwirtschaft kann zwar ihr Klimaziel bis 2030 schaffen, doch kommen dabei Übererfüllungen aus den Vorjahren zur Anrechnung (Biewald et al. 2022).

## 2 Vorgehen und Methode

Im Rahmen dieses Projektes werden vier Klimaschutzszenarien (KS1–KS4) berechnet, denen gemeinsam ist, dass Deutschland bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral wird. Der Unterschied zwischen den Szenarien besteht im jeweiligem Instrumentenmix. Damit können die wirtschaftlichen, sozialen und fiskalischen Auswirkungen der unterschiedlichen Handlungsoptionen verglichen und bewertet werden.

Das KS1 betrachtet eine Stärkung des etablierten Instrumentenmixes aus Förder- und Ordnungsrecht.

KS2 und KS3 verzichten nach 2030 auf eine Fortführung dieses Instrumentenmixes und führen stattdessen auch für die Landwirtschaft im Jahr 2031 Emissionshandelssysteme ein.

Das KS4 setzt auf ordnungsrechtliche Instrumente. Im Landwirtschaftssektor werden im KS4 die gleichen THG-Minderungen wie im KS1 erreicht. Im Gegensatz zu KS1 wird ein Teil davon über Ordnungsrecht umgesetzt, allerdings bleiben auch Teile in der Förderung, so dass die Landwirtschaft auch in diesem Szenario Empfängerin öffentlicher Transfers bleibt.

In allen Szenarien werden die Emissionsreduktionen ggü. dem Referenzszenario berechnet. Dies ist das MMS-Szenario der Projektionen 2023 (Harthan et al. 2023).

Für die Landwirtschaft wird darüber hinaus zusätzlich die Frage behandelt, welchen Beitrag sie zur Klimaneutralität leisten kann, denn der entsprechende Zielpfad zwischen 2030 und 2045 ist bisher noch ungeklärt (vergl. Einleitung). In den Szenarien werden unterschiedliche Vorgehen entwickelt, um den Beitrag des Landwirtschaftssektor für die Klimaneutralität abzuschätzen.

**Tabelle 1: Herleitung der Emissionsziele für den Landwirtschaftssektor**

Szenarien	Beschreibung
KS1 und KS4	Die Höhe der Restemissionen aller Sektoren orientiert sich im Jahr 2045 am Ziel des LULUCF Sektors von -40 Mio. t CO <sub>2</sub> . Das Emissionsziel des Landwirtschaftssektors im Jahr 2045 wird aus der verfügbaren Senke und den Restemissionen der anderen Sektoren abgeleitet. Die anderen Sektoren sind bis 2045 komplett dekarbonisiert. Es verbleiben aber auch hier Restemissionen. Die höchsten Restemissionen fallen in der Industrie mit den prozessbedingten Emissionen und im Abfallsektor an. Außerdem gibt es weiterhin CH <sub>4</sub> und N <sub>2</sub> O Emissionen aus Verbrennungsprozessen. Die Restemissionen der anderen Sektoren liegen bei ca. 8 Mio. t CO <sub>2</sub> e. im Jahr 2045. Bei einer LULUCF Senke von -40 Mio. t CO <sub>2</sub> verbleiben damit ca. <b>32 Mio. t CO<sub>2</sub></b> für den Landwirtschaftssektor.
KS2	Im KS2 besteht ein AFOLU Handelssystem, für die Quellen und Senken der Sektoren Landwirtschaft und LULUCF. Dabei gibt es ein Unterziel für den LULUCF Sektor, nämlich die Netto-Senke in Höhe von 40 Mio.t CO <sub>2</sub> e. aus dem Klimaschutzgesetz. Diese steht dann der Landwirtschaft in voller Höhe zur Verfügung steht. Das zweite Unterziel sind also die maximalen Emissionen des Landwirtschaftssektors in Höhe <b>40 Mio.t CO<sub>2</sub>e</b> . Insgesamt sind LULUCF und Landwirtschaft (AFOLU) in diesem Szenario klimaneutral.
KS3	Im KS3 ist der Landwirtschaftssektor in einen sektorübergreifenden Emissionshandel eingebunden. Die Emissionsreduktion ergibt sich aus der Höhe des THG-Preises im jeweiligen Jahr. Der THG-Preis liegt im Jahr 2040 bei 325 €/t CO <sub>2</sub> e und im Jahr 2045 bei 350 €/t CO <sub>2</sub> e. Die hohen THG-Preise würden in der Theorie dazu führen, dass die Betriebe die Tierhaltung komplett aufgeben würden. Daher wurde in diesen Szenarien angenommen, dass tierhaltende Betriebe freie Zuteilung in Höhe von 40% ihrer

	Emissionen aus der Tierhaltung im Jahr 2020 erhalten. Der Wert wurde aus den erforderlichen Minderungen zur Erreichung des 2040 Ziels hergeleitet.
KS4	Kein zusätzliches Szenario, KS4 = KS1

\*AFOLU = Agriculture Forestry and Land Use  
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Neben dem Vorgehen zur Herleitung der Sektoremissionen im Zieljahr sind noch weitere Annahmen für die Berechnung der Emissionen des Landwirtschaftssektors relevant.

1. Bis 2030 orientieren sich die Szenarien am MMS des Projektionsberichts, da hier die Sektorziele bereits erreicht werden. Anpassungen werden in Bezug auf die Kopplung mit den 2030 LULUCF Zielen vorgenommen, da für die Moorvernässung in allen Szenarien andere Annahmen als im MMS getroffen wurden. Damit sinken die N<sub>2</sub>O Emissionen aus organischen Böden und die Emissionen aus der Tierhaltung durch eine Reduktion der Tierbestände in den Moorregionen.
2. Analog verhält es sich mit dem Ökolandbau. Die Ausweitung des Ökolandbaus hat Tierbestandsreduktionen für einzelne Betriebstypen zur Folge. Die Förderung des Ökolandbaus findet in allen Szenarien statt, auch in KS2 und KS3, da diese verschiedenen Ziele verfolgt, nicht nur den Klimaschutz.
3. Die Geflügelbestände bleiben in allen Szenarien auf der Höhe des MMS-Szenarios.

Die Reaktionen der Konsumenten wurden in den Szenarien nicht berücksichtigt.

Die Berechnung erfolgt auf Basis des LISE Betriebstypenmodells des Öko-Instituts (siehe Anhang I). Das Modell berechnet die THG-Emissionen für verschiedene Betriebstypen, auch im Ökolandbau auf Ebene der Bundesländer. Dabei wird zwischen Betrieben auf Moorstandorten und mineralischen Böden differenziert.

## 2.1 Kostenabschätzung und THG-Preis

Die Kostenabschätzung und die Ermittlung eines THG-Preises erfolgt auf Basis des Modells LiSE für die einzelnen Betriebstypen Ackerland, Milchvieh, Futterbau, Gemischt und Veredelung auf der Bundeslandebene.

Für die technischen Vermeidungsmaßnahmen (Wirtschaftsdüngervergärung, Zusatzstoffe etc.) werden für alle Betriebe die gleichen Kosten und Vermeidungskosten verwendet. Die Kosten für die Steigerung der Wirtschaftsdüngervergärung wurden auf Basis der FNR Faustzahlen<sup>2</sup> über die spezifischen Investitionskosten pro installierter elektrischer Leistung (kW-el.) berechnet. Darüber hinaus wurden eigene Annahmen zum Einsatz der zusätzlichen Wirtschaftsdüngermengen in bestehende Anlagen getroffen (differenziert nach Anlagengröße). Die THG-Vermeidungskosten für die Futterzusatzstoffe wurden auf Basis von Vermeidungskosten aus dem EU Impact Assessment

<sup>2</sup> <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen>



für 2040 übernommen (EU-Dokument zum Impact Assessment plus online Material<sup>3</sup>) nachdem ein Vergleich mit weiteren Literaturangaben zu Futterzusatzstoffen erstellt wurde.<sup>4</sup>

Die Kosten von Extensivierungsmaßnahmen basieren in allen Szenarien auf Förderungskosten. Dies lässt sich damit erklären, dass Maßnahmen, die nicht nur aus Klimaschutzgründen erwünscht sind, auch in den Szenarien mit Emissionshandelssystemen weiterhin gefördert werden. Dies betrifft insbesondere den Ökolandbau und die Förderung von Biodiversitätsmaßnahmen, v.a. durch die Ausdehnung nicht-produktiver Flächen.

### 2.1.1 Wechselwirkung mit dem LULUCF Sektor

Für die Zielerfüllung im LULUCF Sektor haben die Maßnahmen der Moorwiedervernässung und die Anlage von Agroforstsystemen einen relevanten Einfluss. Beide finden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen statt und haben Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Betriebe. Daher wird im Szenario KS2 der THG-Preis für das LULUCF Ziel iterativ zwischen beiden Sektoren bestimmt (siehe auch LULUCF Sektorpapier).

Dabei werden für alle Betriebe die gleichen Investitionskosten zu Grunde gelegt, also die Kosten für die Anlage von Agroforstsystemen bzw. für bauliche Maßnahmen zur Wiedervernässung von Moorstandorten. Trotzdem variieren die jeweiligen Gesamtkosten für beide Maßnahmen je nach betrachteten Betriebstyp. Dies hängt von den erzielten THG-Einsparungen und den Opportunitätskosten (entgangene Gewinne, ggf. neue Einkommen) ab. Die betriebspezifischen Unterschiede bestehen außerdem für weitere Kosten, beispielsweise:

- Für Ackerstandorte wird gleichzeitig der Werteverlust der Ackerfläche über Differenzkosten der Kaufpreise für Ackerland und Grünland berücksichtigt.
- In den Betriebstypen Milchvieh und Futterbau wird auf Grund der hohen Anteile der Futterflächen auch die Reduktion der Tierbestände in die Kosten eingepreist, wenn Betriebsflächen für die Moorwiedervernässung herangezogen werden.
- Weiterhin unterscheiden sich auch die Opportunitätskosten als auch die Höhe der Emissionen zwischen den Betriebstypen und Bundesländern in Abhängigkeit von Leistungen, Preisen, Emissionsfaktoren, Flächenausstattung und Tierbeständen.

Für **Agroforst** werden THG-Einsparungen im LULUCF Bereich von 9 t CO<sub>2</sub>/ha/a angenommen (UBA 2021). Die Vermeidungskosten für Agroforstmaßnahmen liegen nach den Szenarien Berechnungen zwischen 65 Euro (Futterbaubetriebe) und 200 Euro (Ackerbau im Ökolandbau).

Im Fall der **Moorwiedervernässung** wird für eine Vollvernässung eine THG-Minderung von 27 t CO<sub>2</sub>e. pro Hektar und Jahr für Ackerland und von 22 t CO<sub>2</sub>e. für Grünland ausgegangen (Tiemeyer et al. 2020). Die hohen Kosten einer Abstockung von Tierbeständen auf Moorstandorten in der Landwirtschaft stehen damit hohen THG-Einsparungen pro Hektar im LULUCF Sektor gegenüber. Entsprechend liegen die THG-Preise im LULUCF Sektor für die Wiedervernässung von Ackerland auf Moorstandorten aus den Szenario Berechnungen zwischen 20 Euro in extensiven

<sup>3</sup> [https://climate.ec.europa.eu/document/download/e1ae0c6c-aa6a-4757-9c27-6f8bdc83bcb8\\_en?filename=policy\\_strategy\\_targets\\_2040ct\\_technology\\_assumptions.zip](https://climate.ec.europa.eu/document/download/e1ae0c6c-aa6a-4757-9c27-6f8bdc83bcb8_en?filename=policy_strategy_targets_2040ct_technology_assumptions.zip)

<sup>4</sup> Z.B. (Pérez Domínguez et al. 2020).

Futterbaubetrieben und über 150 Euro in einigen Milchviehbetrieben mit hohen Milchleistungen und Viehbesatz.

Für die Reduktion der Tierbestände zeigt Tabelle 2 die Berechnung des THG-Preises am Beispiel einer Milchkuh für zwei verschiedene Milchleistungsniveaus. Die Berechnung der THG-Preise über die Standarddeckungsbeiträge birgt allerdings hohe Unsicherheiten. Über die Einnahmen aus den Deckungsbeiträgen müssen noch die Einkommen der Betriebsinhaber und dessen Familie als auch die Fixkosten (Abschreibungen, Unterhaltung, Versicherung etc.) und Kapitalkosten bezahlt werden, die für Stallbauten, Maschinen etc. bestehen. Diese unterscheiden sich auf Betriebsebene mitunter stark, beispielsweise in Abhängigkeit davon, ob und wann in der Vergangenheit Investitionen getätigt wurden. Zudem haben Milchleistungen und Milchpreise einen großen Einfluss auf Deckungsbeiträge und THG-Emissionen und damit auf den THG-Preis.

**Tabelle 2: Berechnung Grenz-THG-Preis am Beispiel verschiedener Milchleistungen**

	Standarddeckungsbeitrag	THG-Emissionen pro Kuh*	THG-Preis
Milchkuh A Leistung: 7500 Liter/a Milchpreis: 0,35 €	1.538 €/Kuh/a	4,5 t CO <sub>2</sub> e/Kuh/a	342 €/ t CO <sub>2</sub> e
Milchkuh B Leistung: 8.960 Liter /a Milchpreis: 0,34 €	1.773 €/Kuh/a	4,99 t CO <sub>2</sub> e/Kuh/a	355 €/ t CO <sub>2</sub> e

\*Hinweis: nur direkte Emissionen aus der Verdauung und dem Wirtschaftsdüngermanagement

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis KTBL Standarddeckungsbeiträge<sup>5</sup> und (Vos et al. 2022)

Dies ist jedoch nur ein stellvertretendes Beispiel für die direkten Emissionen aus Verdauung und Wirtschaftsdünger einer einzelnen Kuh. Für die Rentabilität eines Milchviehbetriebs spielt auch die Nachzucht von Kälbern, Färsen und männlichen Nachkommen eine Rolle. Diese haben geringere Deckungsbeiträge als die Milchkühe. Auf der Seite der Emissionen fallen auch für diese Tiere Emissionen an, ebenso für die Bewirtschaftung der Flächen. Da das Modell LiSE auf der Basis von Betriebstypen rechnet, umfassen die Modellergebnisse diese genannten Größen.

### 3 Ausgestaltung Instrumente

Für die Landwirtschaft gibt es bisher keine Erfahrung für eine Integration in den Emissionshandel bzw. die Einführung eines eigenen Emissionshandels (Bognar et al. 2023; Scheffler und Wiegmann 2024). Im Rahmen der Klimaschutzszenarien war die Ausgestaltung eines solchen Systems nicht der Kern der Arbeiten, trotzdem wurden einige notwendige Festlegungen für das Szenario KS2 getroffen.

Grundsätzlich sind für einen ETS mit Landwirtschaft und LULUCF zwei Varianten möglich:

1. **Getrennte Betrachtung der zwei Sektoren mit jeweils einem eigenen Unterziel:** Dabei gilt für den LULUCF Sektor mit seinen Quellen und Senken das Netto-Ziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes in Höhe von -40 Mio. t CO<sub>2</sub>e. Diese könnten beispielsweise vom Staat in einem eigenen System erfasst und aufgekauft werden. Zusätzlich gibt es einen Agri-ETS mit

<sup>5</sup> <https://daten.ktbl.de/sdb/welcome.do;jsessionid=F98B94025BE0A11525D8D1B4C99ABD7A>

einem Gesamtvolumen an Emissionszertifikaten, das dem Umfang der generierten LULUCF Nettosenke entspricht. Die Einnahmen würden zur Gegenfinanzierung der Ausgaben für die natürlichen Senken verwendet. In Summe sind beide Sektoren treibhausgasneutral.

2. **Integration von LULUCF und Landwirtschaft zu einem AFOLU-Sektor** mit gemeinsamen Handelssystem. Das Ziel wäre die Treibhausgasneutralität dieses AFOLU-Sektors, also keine verbleibenden Netto-Emissionen der Quellen und Senken. Dabei würde das gesetzliche Ziel einer Nettosenke in Höhe von -40 Mio. t CO<sub>2</sub>e. nicht zwangsläufig erfüllt werden.

Im Szenario KS2 ist die getrennte Betrachtung zugrunde gelegt worden. Die Integration der beiden Sektoren wurde nicht betrachtet, da bereits das Szenario KS3 – eine Vollintegration in einem ETS über alle Sektoren – sich bereits vom LULUCF-Zielpfad vom Bundes-Klimaschutzgesetzes entfernt.

Die einzelnen Maßnahmen im Landwirtschaftssektor lassen sich in 5 verschiedene Cluster unterteilen, die sich nicht vollständig voneinander trennen lassen. Das sind:

1. Biodiversitätsförderung und extensive Bewirtschaftung (Ökolandbau),
2. Maßnahmen zur Steigerung der Stickstoffeffizienz
3. Futterzusatzstoffe und Zusatzstoffe zur Reduktion von N<sub>2</sub>O Emissionen aus der Düngung
4. Investive Maßnahme z.B. Bau von Biogasanlagen zur Wirtschaftsdüngervergärung, Energieeffizienz, Erneuerbare Energien
5. Reduktion der Tierbestände

In allen Szenarien wird die Förderung des Ökolandbaus beibehalten und fortgeführt. Bis zum Jahr 2045 werden 25% der LF nach den Vorgaben des ökologischen Landbaus bewirtschaftet (Ziel Farm to Farm To Fork Strategy (KOM 2020)). Die Biodiversitätsflächen (Ackerbrachen) werden aus dem MMS des Projektionsberichts übernommen und in allen Szenarien konstant beibehalten.

Der Umfang der technischen Maßnahmen und der Reduktion der Tierbestände unterscheidet sich zwischen den Szenarien und ist abhängig von dem vorgegebenen Minderungspfad (KS1, KS4) oder dem THG-Preis (KS2, KS3).

Dazu kommen Instrumente auf der Konsumentenseite wie z.B. die Erhöhung der Mehrwertsteuer oder ein THG-Preis auf Lebensmittel im KS1 und KS4. In den Szenarien KS2 und KS3 entstehen Kosten für den Erwerb der Emissionszertifikate, die an die Konsumentinnen weitergegeben werden. In allen vier Szenarien sind auf diese Weise Konsumreaktionen zu erwarten (Stepanyan et al. 2023). Diese Reaktion von Konsum und Preis ist allerdings nicht mehr in der Modellierung rückgekoppelt worden.

Die folgenden Tabelle 3, Tabelle 4 stellen Annahmen zu den Instrumenten zur Umsetzung der Maßnahmen in den einzelnen Szenarien dar.

**Tabelle 3: Übersicht der Instrumente KS1 „Policy Mix“ und KS4 „Ordnungsrecht“**

Instrumente	KS1 „Policy Mix“	KS4 „Ordnungsrecht“
Förderung Ökolandbau	Förderung des Ökolandbaus über Flächenprämien (Umstellungs- und Beibehaltungsprämien)	

Instrumente	KS1 „Policy Mix“	KS4 „Ordnungsrecht“
<b>Förderung Biodiversitätsflächen</b>	Förderung über Flächenprämien über die GAP	Basisanteile über Ordnungsrecht, zusätzliche Anteile über Förderung
<b>Förderung Agroforstsysteme</b>	Förderung über Flächenprämien über die GAP	Basisanteile über Ordnungsrecht, zusätzliche Anteile über Förderung
<b>Wirtschaftsdüngervergärung</b>	Investitionsförderung	Ordnungsrechtliche Vorgaben zum Umgang mit Wirtschaftsdünger
<b>Stickstoffeffizienz</b>	Verschärfung Düngerecht	
<b>Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zur Reduktion N<sub>2</sub>O Emissionen aus Düngung</b>	Ordnungsrechtlich über Düngerecht	
<b>Einsatz von Futterzusatzstoffen zur Reduktion von Methanemissionen</b>	Marktgetrieben - Über Vorgaben zu Klimabilanzierung von Verarbeitern (Molkereien, Schlachtereien)	
<b>Reduktion Wiederkäuer in Moorgebieten</b>	Abstockungsprämien zur Reduktion Wiederkäuern	Ordnungsrechtliche Verbote zur trockenen Moornutzung, Reduktion der Tierbestände, Nutzung in Form von Paludikulturen
<b>Grünlandbindung Wiederkäuer</b>	Abstockungsprämien bis 2045, danach Sicherung des Status-quo über Ordnungsrecht	Ordnungsrecht ab 2040
<b>Energieeffizienz/Erneuerbare</b>	Förderung Instrumente in GHD und Verkehr	THG-Minderungsquote, CO <sub>2</sub> -Grenzwerte, Mindeststandards für Gebäude etc.*,

\* Instrumente analog zu Gebäude und Verkehr  
Quelle: Eigene Annahmen Öko-Institut

In den Emissionshandelsszenarien werden Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität und extensiver Bewirtschaftungsverfahren wie dem Ökolandbau beibehalten, während technische Maßnahmen zur Reduktion der THG-Emissionen und die Reduktion der Tierbestände über die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen in Abhängigkeit von der Höhe des THG-Preises in den Szenarien umgesetzt werden. Das Niveau der Stickstoffverwendung wird weiterhin über Ordnungsrecht wie die Düngeverordnung und die Stoffstrombilanzverordnung gesteuert.

**Tabelle 4: Übersicht der Instrumente KS2 „ETS/BEHG-Preis“ und KS3 „Einheitlicher THG-Preis“**

Instrumente	KS2 „ETS/BEHG-Preis“	KS3 „Einheitlicher THG-Preis“
<b>Förderung Ökolandbau</b>	Förderung des Ökolandbaus über Flächenprämien für Neuumstellungs- und Beibehaltungsprämien	
<b>Förderung Biodiversitätsflächen</b>	Förderung über Flächenprämien über die GAP	
<b>Förderung Agroforstsysteme</b>	Förderung über Flächenprämien über die GAP für Beibehaltung der Umstellungsflächen bis 2030, danach über THG-Preis	

Instrumente	KS2	KS3
	„ETS/BEHG-Preis“	„Einheitlicher THG-Preis“
<b>Stickstoffeffizienz</b>	Verschärfung Düngerecht	
<b>Wirtschaftsdüngervergärung</b>		THG-Preis
<b>Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zur Reduktion N<sub>2</sub>O Emissionen aus Düngung</b>		THG-Preis
<b>Einsatz von Futterzusatzstoffen zur Reduktion von Methanemissionen</b>		THG-Preis
<b>Reduktion Wiederkäuer in Moorgebieten</b>		THG-Preis
<b>Grünlandbindung Wiederkäuer</b>		THG-Preis
<b>Energieeffizienz/Erneuerbare</b>		THG-Preis

Quelle: Eigene Annahmen Öko-Institut

## 4 Folgenabschätzung

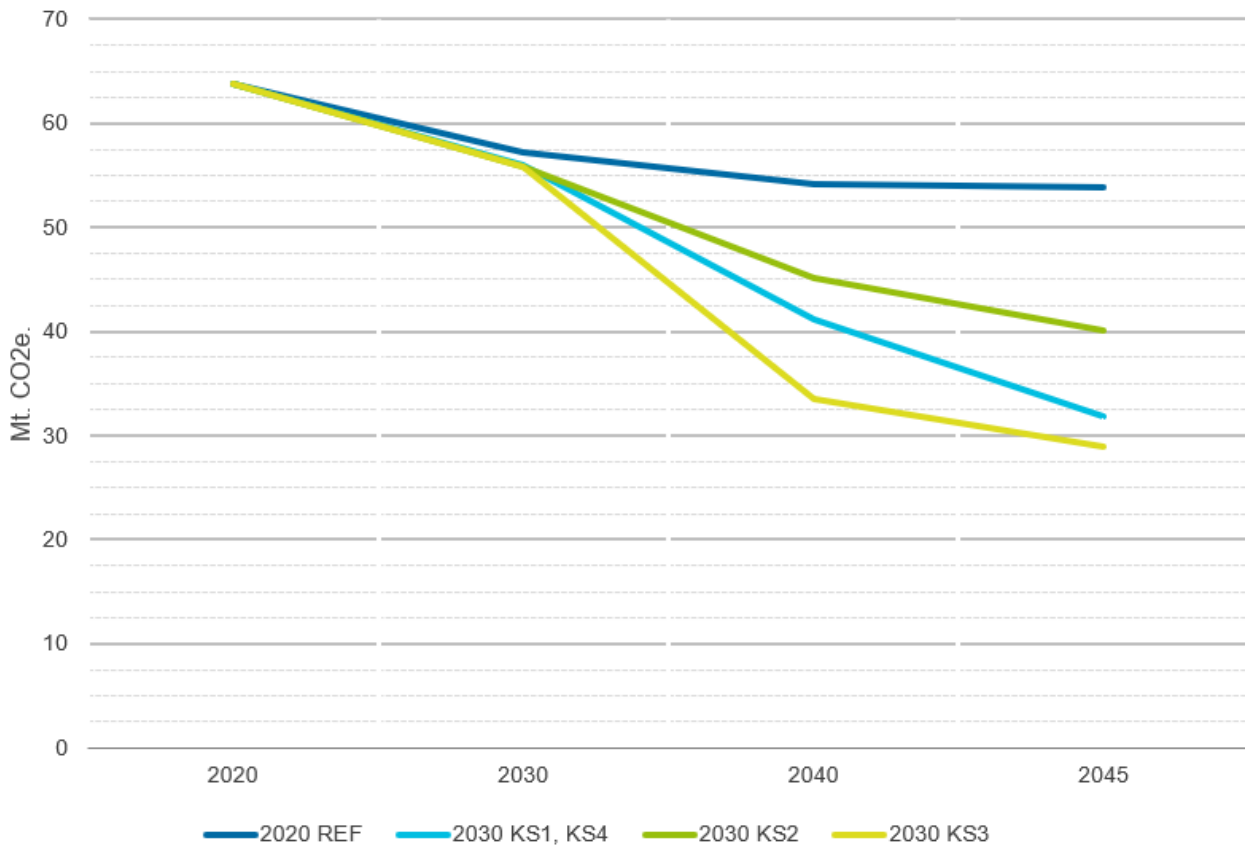
### 4.1 THG-Emissionen

Alle Klimaschutzszenarien erfüllen die Vorgaben des Klimaschutzgesetzes. Daher sind auch für den Sektor Landwirtschaft die Emissionen in den Szenarien rückläufig: Gegenüber dem Jahr 2020 erreichen die Szenarien KS1 bis KS4 THG-Minderungen zwischen -37% bis -55%.

Heutige Projektionen der Emissionen sind als Referenzszenario gewählt worden (Harthan et al. 2023). Die Emissionen der Szenarien KS1 bis KS4 liegen auch deutlich unterhalb denen der Referenz, im Jahr 2045 -25% bis -46% niedriger. Die Unterschiede sind so deutlich, da in der Referenz ab 2030 nur noch sehr geringe Reduktionen mit dem heutigen Klimaschutzinstrumentarium in der Landwirtschaft erzielt werden.

Allerdings unterscheiden sich die Emissionen auch zwischen den verschiedenen Szenarien für die einzelnen Stützjahre: Im Jahr 2030 liegen noch alle Szenarien in einer ähnlichen Größenordnung. Bis ins Jahr 2040 mindert KS3 die Emissionen stärker als die übrigen drei Szenarien. Bis ins Jahr 2045 erreichen die Szenarien KS1/KS4 dann fast das ambitionierte Niveau von KS3, während in KS2 die Emissionen etwa ein Viertel höher sind.

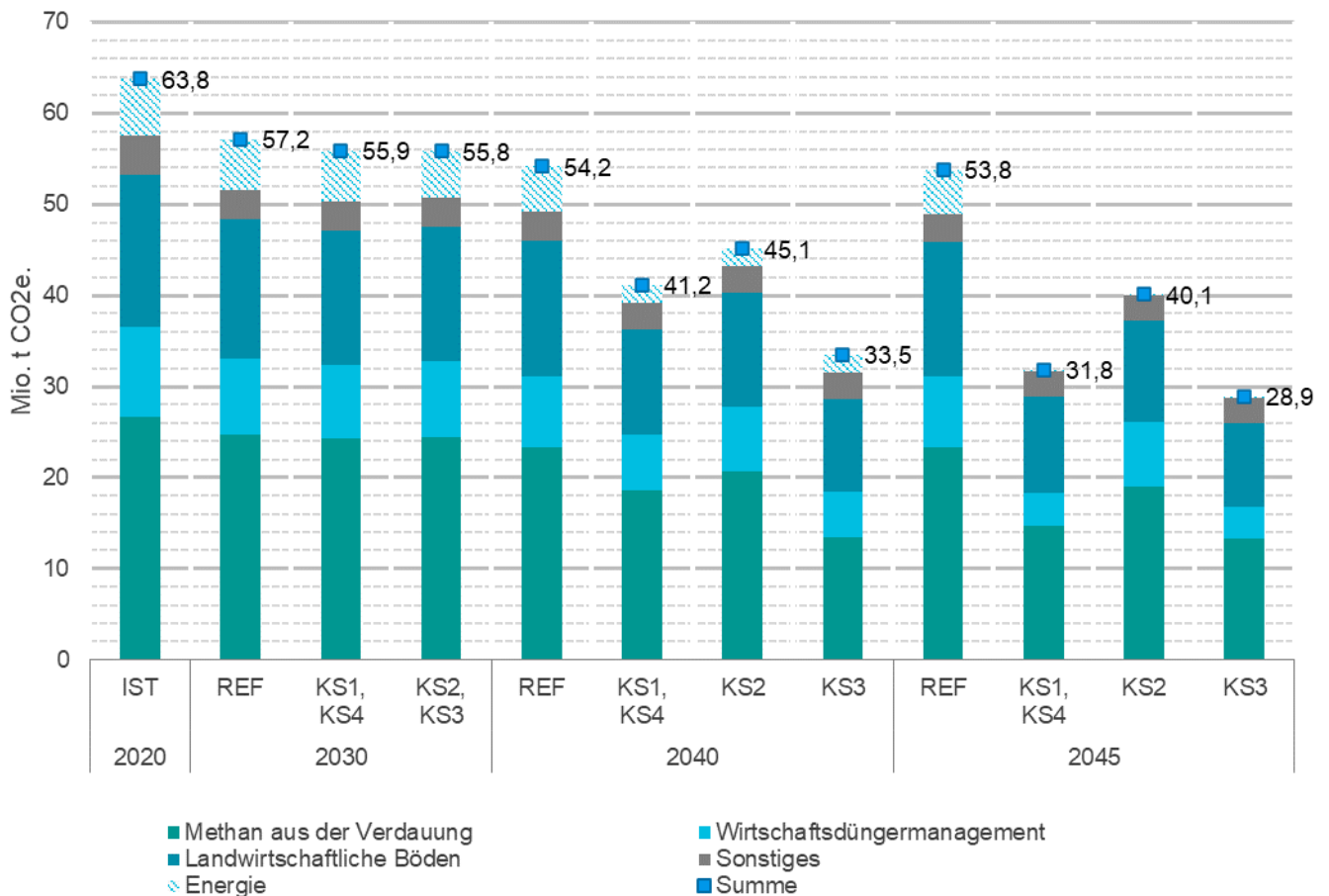
**Abbildung 1: Entwicklung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft in KS1-KS4**



Quelle: Eigene Öko-Institut

Im Referenz-Szenario werden bis zum Jahr 2030 Minderungswirkungen von -10% ggü. 2020 erzielt, bis 2045 sind es -16% (siehe Abbildung 1). Stärkster Treiber sind die rückläufigen Tierbestände und eine Verbesserung der Stickstoffeffizienz, während technische Maßnahmen wie die Wirtschaftsdüngervergärung oder Futterzusatzstoffe im Referenzszenario keine Rolle spielen.

In den Zielszenarien wird die höchste Minderungswirkung im KS3 durch den hohen THG-Preis erzielt, während die geringste Minderungswirkung im KS2 mit einem geringen THG-Preis und der Klimaneutralität im AFOLU Sektor zu verzeichnen ist. Dieser geringere Preis geht zulasten der übrigen Sektoren, die in diesem Szenario vermehrt auf weitere Minderungstechnologien oder Senken zugreifen müssen (siehe auch Gesamtbericht).

**Abbildung 2: Entwicklung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft nach Quellgruppen**

Quelle: Eigene Berechnungen Öko-Institut

In den Zielszenarien wirkt vor allem die ambitionierte Wiedervernässung der Moorstandorte zur Erreichung der LULUCF Ziele im Jahr 2030. Regional ist damit bereits ein zusätzlicher Tierbestandsrückgang gegenüber der Referenz verbunden.

Es fällt auf, dass in den Jahren 2040 und 2045 die Emissionen der zwei Emissionshandelsszenarien KS2 und KS3 am weitesten auseinander liegen. Das KS3 liegt im Jahr 2040 bereits 12 Mio. t unter dem KS2. Dies liegt daran, dass dem KS2 die höchste Senke zugesprochen wird und damit die notwendige Minderung geringer ist. Dies zeigt sich auch deutlich am THG-Preis, der im KS2 mit unter 100 Euro deutlich geringer ausfällt als in KS3 mit 325 €/t CO<sub>2</sub>e.

Im Jahr 2045 liegen die THG-Minderungen zwischen -37% bis -55% ggü. 2020, bzw. zwischen -25% bis -46% ggü. dem Referenzszenario im Jahr 2045. Die geringste Minderung wird im KS2 erzielt. Hier wirken v.a. der geförderte Ausbau des Ökolandbaus, sowie die Moorwiedervernässung zur Erreichung des LULUCF-Ziels (siehe Kapitel 2.1.1) mit der aus ihr resultierenden Reduktion des Tierbestandes. Die technischen Maßnahmen werden auf Grund des geringen THG-Preises (< 100 €/t CO<sub>2</sub>e.) nicht in voller Höhe gezogen. Die größten Minderungen werden im KS3 erzielt. Hier wirkt der hohe THG-Preis (350 €/t CO<sub>2</sub>e.) auch auf den Landwirtschaftssektor: Es werden alle hier berücksichtigten technischen Vermeidungsoptionen eingesetzt und zusätzlich kommt es zu einem



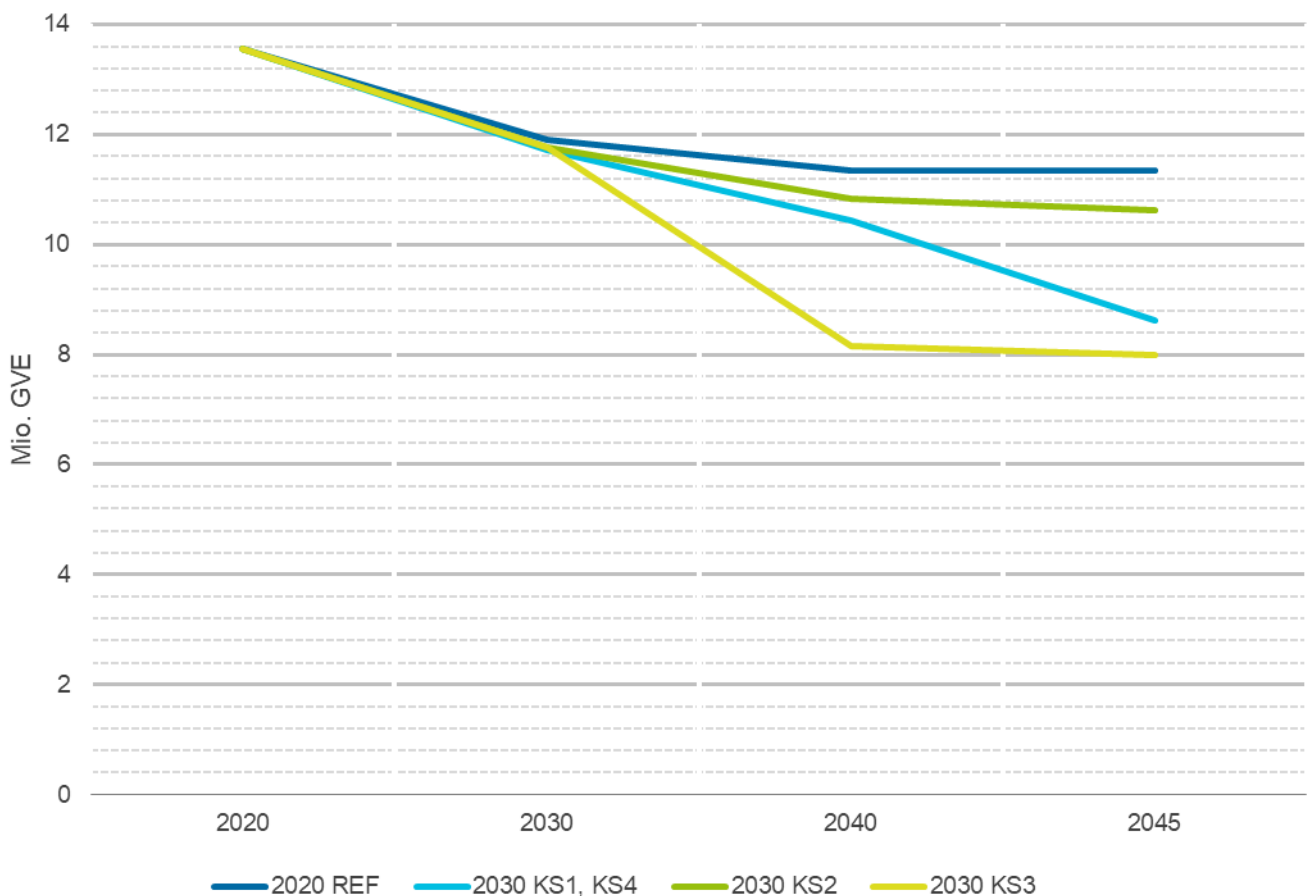
starken Rückgang der Tierbestände (siehe Kapitel 4.2). Für tierhaltende Betriebe werden freie Zertifikate ausgegeben. Ohne die Ausgabe der freien Zertifikate würden in dieser theoretischen Betrachtung alle tierhaltenden Betriebe in der entsprechenden Region aufgeben.

## 4.2 Strukturelle Entwicklung

### Entwicklung der Tierbestände

Die unterschiedlichen Pfade der THG-Emissionen werden vor allem durch die Entwicklung der Tierbestände beeinflusst. Bis 2030 sinken die Tierbestände in allen Szenarien um ca. -13% ggü. 2020. Im Referenzszenario sinken die Tierbestände bis 2040 um -16% ggü. 2020 und bleiben danach konstant (siehe Abbildung 3). In den übrigen Szenarien sinken sie dagegen weiter.

**Abbildung 3: Entwicklung der Tierbestände in den Szenarien in Großvieheinheiten (GVE)**



Note: Die Berechnung der Großvieheinheiten erfolgt auf Basis von Lebendgewicht, daher können Abweichungen zur Statistik im Jahr 2020 möglich. Eine Großvieheinheit entspricht 500 kg Lebendgewicht.

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis LISE-Modell

Im KS3 sinken die Tierbestände auf Grund der hohen THG-Preise bis zum Jahr 2040 um -40% ggü. 2020. Durch die Steigerung des THG-Preises um 25 € (von 325€ auf 350 €/t CO<sub>2e</sub>) findet nur eine geringe weitere Reduktion der Tierbestände zwischen 2040 und 2045 statt. Die hohen THG-Preise im Jahr 2040 sind notwendig, um die Ziele des Klimaschutzgesetzes von -88% ggü. 1990 zu erreichen.



Im KS2 sinken die Tierbestände bis zum Jahr 2045 um lediglich -22% und liegen damit lediglich 6% niedriger als im Referenzszenario. Durch den niedrigen THG-Preis und die vollen Zugriffsrechte des Landwirtschaftssektors auf die natürlichen Senken, erfolgt die Tierbestandsreduktion nur in den wiedervernässten Moorengebieten. Darüber hinaus erfolgen keine Tierbestandsreduktionen.

Im KS1/KS4 folgt die Tierbestandsentwicklung einem nahezu linearen Abbaupfad bis 2045. Bis zum Jahr 2040 erfolgt eine Minderung von -23%, während bis zum Jahr 2045 die Tierbestände um -37% ggü. dem Jahr 2030 sinken.

Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung des Angebots an tierischen Produkten in den verschiedenen Szenarien. Bis zum Jahr 2030 sinkt die Milchproduktion um -5% ggü. 2020. Auf Grund der Milchleistungssteigerung sinkt die Milchproduktion nicht analog zum Rückgang der Tierbestände. Durch den starken Rückgang der Schweinebestände im Referenzszenario und in den anderen Szenarien sinkt die Fleischproduktion bis zum Jahr 2030 bereits um -19% ggü. 2020. Nach 2030 bleiben die Milch- und die Fleischerzeugung im Referenzszenario auf einem nahezu konstanten Niveau (siehe Tabelle 5). Die weiter sinkenden Milchkuhbestände werden durch eine Steigerung der Milchleistung im Referenzszenario kompensiert.

**Tabelle 5: Entwicklung des Angebots an tierischen Produkten im Vergleich zu 2020**

	Milch	Rindfleisch	Schweinefleisch	Geflügelfleisch	Summe Fleisch*
<b>2020 Produktion in Mio. t</b>	<b>32</b>	<b>1,1</b>	<b>4,7</b>	<b>1,9</b>	<b>7,7</b>
<b>Referenz 2030</b>	<b>-5%</b>	<b>-9%</b>	<b>-27%</b>	<b>-1%</b>	<b>-19%</b>
KS1 - KS4 2030	-6%	-10%	-28%	-1%	-19%
<b>Referenz 2040</b>	<b>-5%</b>	<b>-15%</b>	<b>-28%</b>	<b>-1%</b>	<b>-20%</b>
KS1,KS4 2040	-17%	-23%	-34%	-6%	-25%
KS2 2040	-12%	-20%	-34%	-6%	-25%
KS3 2040	-43%	-48%	-34%	-6%	-29%
<b>Referenz 2045</b>	<b>-5%</b>	<b>-14%</b>	<b>-28%</b>	<b>-3%</b>	<b>-20%</b>
KS1,KS4	-39%	-43%	-36%	-8%	-30%
KS2	-16%	-22%	-36%	-8%	-27%
KS3	-44%	-49%	-36%	-8%	-31%

\*sonstiges Fleisch ist nicht berücksichtigt

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen LISE-Modell

In den Zielszenarien sinkt die Fleischproduktion im Jahr 2040 gegenüber 2020 um ein Viertel in den Szenarien KS1, KS2 und KS4 und um 29% im KS3. Im Jahr 2045 liegt der Rückgang bei -27% im KS2 und -30% bzw. -31% in den anderen drei Szenarien. Der Rückgang in der Fleischproduktion fällt im Vergleich mit dem Referenzszenario moderat aus, während sich bei der Milchproduktion deutlichere Unterschiede zeigen.

Durch den Rückgang der Tierbestände und die Ausweitung des Ökolandbaus mit geringeren Milchleistungen, sinkt die Milchproduktion ggü. dem Referenzszenario in den Jahren 2040 und 2045

deutlich. Die geringsten Rückgänge gegenüber 2020 sind mit -16% im Jahr 2045 im KS2 zu finden. In den übrigen drei Szenarien geht die Milchproduktion bis zum Jahr 2045 dagegen deutlich zurück, um knapp -40% in KS1 und KS4 und um 44% im KS3.

## Entwicklung der technischen Minderungsoptionen

Zu den technischen Minderungsoptionen mit großen Minderungswirkungen zählen der Ausbau der Wirtschaftsdüngervergärung und die Applikation von Zusatzstoffen zu Düngern<sup>6</sup> und zu Futtermitteln. Weitere Minderungsoptionen wie z.B. die stickstoffreduzierte Fütterung oder die Erhöhung der Stickstoffeffizienz leisten ebenso einen Beitrag zur THG-Reduktion, werden hier aber nicht detailliert dargestellt.

Die Gabe von Zusatzstoffen zur Emissionsreduktion ist aus Sicht der landwirtschaftlichen Betriebe attraktiv, da hier keine Investitionen getätigt werden müssen und zusätzlich keine gravierenden Änderungen im Betriebsablauf notwendig sind. Aus Sicht des Umwelt- und Verbraucherschutzes bleiben dagegen noch Fragen offen, die die langfristige Unbedenklichkeit und den Abbau der Stoffe in der Umwelt betreffen (IPCC 2022). Aber auch mit Blick auf genaue Minderungsraten und die Langfristigkeit der Wirkungen gibt es noch viele Unsicherheiten, insbesondere bei den Futterzusatzstoffen<sup>7</sup>. Diesen wurde in den Szenarien durch konservative Abschätzungen im Wirkungspotenzial Rechnung getragen.

Die Szenarien berücksichtigen den Zusatz von **Nitrifikationsinhibitoren** in Mineraldünger und den ausgebrachten Wirtschaftsdünger.<sup>8</sup> Je nach Szenario unterscheiden sich die Ausbringungsmengen an Mineral- und Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit vom Tierbestand und damit die Einsatzmengen in Abhängigkeit vom THG-Preis (KS2, KS3) bzw. den Reduktionszielen (KS1, KS4). Bis zum Jahr 2045 werden in allen Szenarien 100% des Mineraldüngers und 50% des Wirtschaftsdüngers mit Nitrifikationsinhibitoren behandelt.

Zur Reduktion der Methanemissionen aus der Verdauung werden **Zusatzstoffe in der Fütterung** in allen Szenarien bis 2045 eingesetzt. Die Anwendung wird allerdings auf die konventionelle Tierhaltung beschränkt. Bei den konventionell gehaltenen Milchkühen wird davon ausgegangen, dass allen Tieren entsprechende Zusatzstoffe mit dem Futter gegeben werden, bei den übrigen Rindern wird von einer Durchdringungsrate von 50% ausgegangen. Analog zu den Nitrifikationsinhibitoren ergeben sich damit auch hier unterschiedliche Einsatzmengen in den einzelnen Szenarien<sup>9</sup>.

<sup>6</sup> Der Beitrag der Gülleansäuerung in Stall und Lager wird in diesem Szenario nicht berücksichtigt, da ein hoher Anteil der Gülle anaerob vergoren wird. Eine Ansäuerung in Stall und Lager würde die Aktivität der Mikroorganismen in der Vergärung hemmen und somit der Vergärung zuwiderlaufen.

<sup>7</sup> Hier fehlen bisher noch Langzeitstudien mit hohen Fallzahlen, um die Langzeiteffekte für verschiedene Rassen und Fütterungsweisen zuverlässig zu belegen.

<sup>8</sup> Für Wirtschafts- und Mineraldünger wird dabei davon ausgegangen, dass durch den Einsatz eine Emissionsreduktion um 24% stattfindet. Zusätzlich wird beim Mineraldünger angenommen, dass angesichts geringerer Emissionen durch die Inhibitoren eine größere Menge des eingesetzten Stickstoffs pflanzenverfügbar wird und daher eine Reduktion der Mineraldüngung in Höhe von 10% erfolgen kann. Da die Stoffe den Mineraldüngern zugesetzt werden können, ist eine Durchdringung von 100% realistisch zu erreichen.

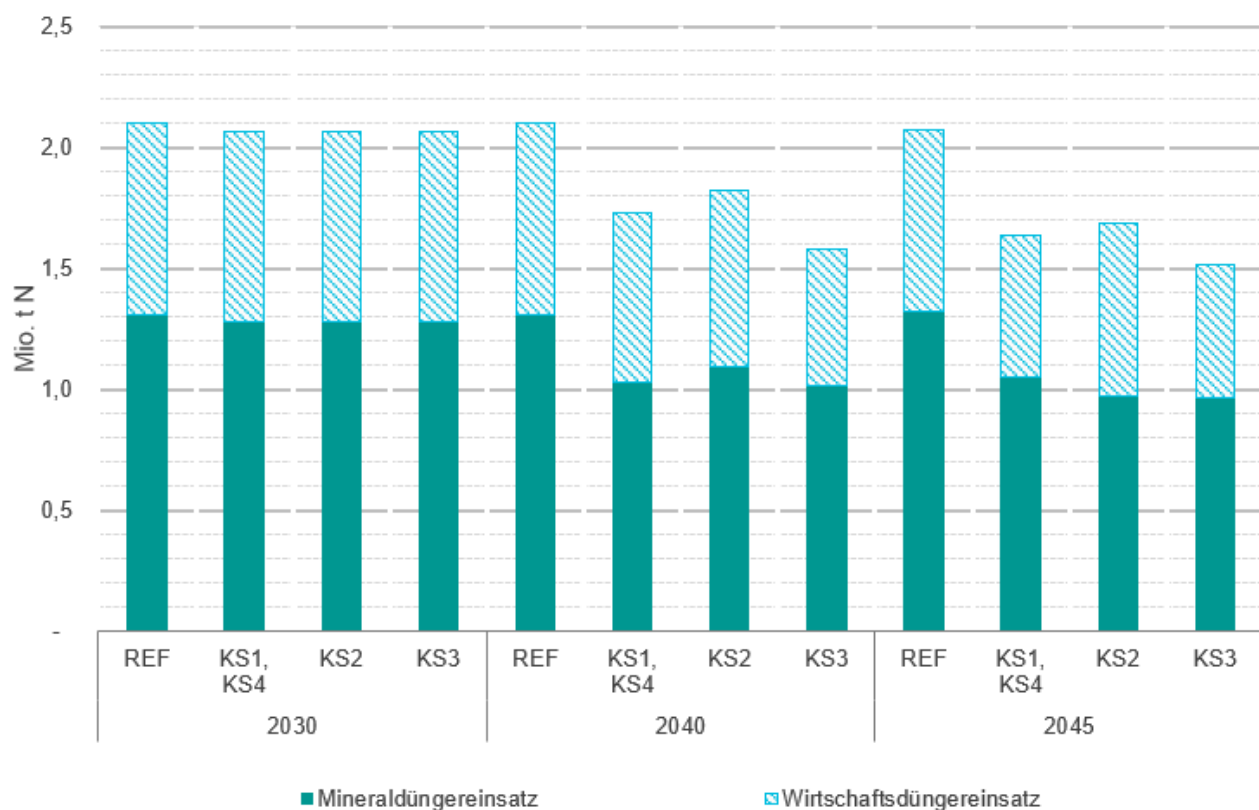
<sup>9</sup> Es existieren Futterzusatzstoffe auf der Basis von Leinsaat oder Nitrat, die einzeln oder in Kombination verabreicht werden können. Die ECAMPA-Studie (Pérez Domínguez et al. 2020) ermittelt Minderungsraten für die Anwendung in der CAPRI Modellierung. Hier werden je nach Zusatzstoffe Werte von maximal 15 bis 25% angegeben werden. Eine Angabe für den Minderungseffekt im Falle einer Kombination fehlt. In den Klimaschutzszenarien werden 20% angenommen. Das Impact Assessment 2040 (EC 2024) ist dagegen etwas optimistischer und rechnet mit einer Minderung von 27%.

Hohe **Wirtschaftsdüngervergärungsraten** sind in allen Szenarien bis auf KS2 notwendig, um hohe THG-Minderungsbeiträge der Landwirtschaft zu realisieren. Bis zum Jahr 2045 liegen die Vergärungsraten für Milchkühe bei 70%, für sonstige Rinder bei 60% und für Schweine bei 80%. Im Szenario KS2 bleiben die Vergärungsraten für Milchkühe und sonstige Rinder auf dem heutigen Niveau, während die Vergärungsraten der Schweinegülle auf 30% ansteigen. Höhere Vergärungsraten sind auf Grund der Zielsetzung bzw. der hohen bereitgestellten LULUCF Senke nicht notwendig.

### Entwicklung Stickstoffeinsatz

Die vier Klimaschutzszenarien weisen alle gegenüber der Referenz eine verringerte Stickstoffnutzung auf. Dies korreliert vor allem mit dem Tierbestand, der mit einer geringeren Stickstoffnutzungseffizienz verbunden ist als der Pflanzenbau. Weitere Gründe für einen geringeren Stickstoffeinsatz liegen im Ausbau der ökologischen Wirtschaftsweise und in der Zunahme von ungedüngten Flächen wie Biodiversitätsflächen, Agroforstsystemen und Paludikulturen.

**Abbildung 4: Entwicklung des Stickstoffeinsatzes in den Szenarien**



Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen LISE Modell

### 4.3 Sektorale ökonomische Folgen

Die in den Klimaschutzszenarien berücksichtigten Investitionen im Landwirtschaftssektor betreffen die Energieeffizienz und erneuerbare Energien, Biogasanlagen zur Vergärung von

Wirtschaftsdüngern und die Etablierung von Paludikulturen<sup>10</sup> sowie die Anschaffung entsprechender Erntemaschinen.<sup>11</sup>

Investitionskosten für die Etablierung von Paludikulturen werden im Landwirtschaftssektor berichtet, da diese Investitionen auf der Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe anfällt. Die Investitionen in Paludikulturen werden in allen Szenarien im Jahr 2030 in voller Höhe gefördert, während bis 2045 der Förderanteil auf 66% sinkt. Es wird angenommen, dass über die Zeit ein Markt für den Absatz von Paludikulturen etabliert ist und Teile der Investitionskosten über Markterlöse kompensiert werden.

Den Investitionskosten in Biogasanlagen zur Wirtschaftsdüngervergärung stehen keine Zuschüsse gegenüber, da sie in den Szenarien über die Zahlungen des EEGs oder durch einen THG-Preis gedeckt werden.

Investitionen in Energieeffizienz z.B. Gewächshäuser, Stallheizungen und Trocknungsanlagen oder den Ausbau von Erneuerbaren wie der Einbau einer Wärmepumpe oder der Umstieg auf Biokraftstoffe werden bis 2030 in allen Szenarien mit einem Zuschuss von 40% gefördert. Nach 2030 findet diese Förderung nur noch im KS1 statt. Die Investitionen in Energieeffizienz und Erneuerbare sind in allen Szenarien gleich, da dieser Teil der Emissionen in allen Szenarien dekarbonisiert wird.

Abbildung 5 zeigt die Mehrinvestitionen und Investitionszuschüsse in den verschiedenen Szenarien. Die höchsten Investitionen fallen in allen Szenarien im Jahr 2040 an.

Die Investitionen in Energieeffizienz und Erneuerbare sind in allen Szenarien gleich, da dieser Teil der Emissionen in allen Szenarien dekarbonisiert wird.

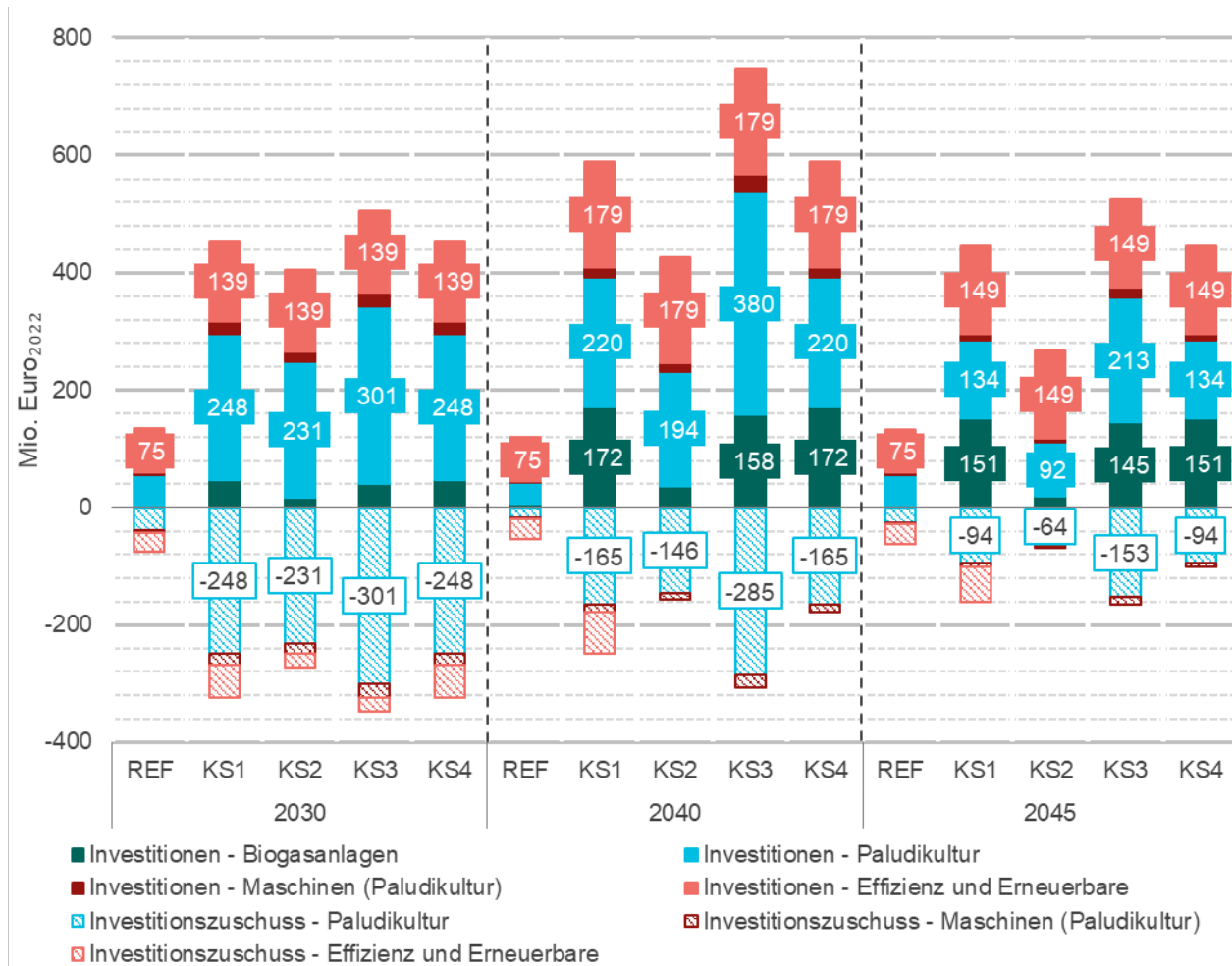
In Bezug auf die Wirtschaftsdüngervergärung und den Anbau von Paludikulturen unterscheiden sich die Szenarien im Ambitionsniveau. Da die Moorvernässungsrate im Szenario KS3 am höchsten ist, sind hier auch die höchsten Investitionen in die nasse Nutzung mittels Paludikulturen zu sehen. Die Szenarien KS1 und KS4 haben dagegen höhere Investitionen in die Güllevergärung, da hier der Tierbestand etwas höher ist.

Auf Grund der hohen ambitionierten Minderung im KS3 sowohl im Landwirtschafts- als auch im LULUCF Sektor fallen die Investitionen in diesem Szenario am höchsten aus. Die geringsten Investitionen fallen im KS2 mit dem niedrigen Ambitionsniveau an.

<sup>10</sup> Die Kosten für die Anlage von Agroforstsystemen und die reinen Kosten der Wiedervernässung von Flächen werden bei den Kosten im LULUCF Sektor erfasst, da diese Maßnahmen für dessen Zielerreichung relevant sind.

Die Investitionen in die Anlage und den Betrieb von Paludikulturen sind dagegen unabhängig vom LULUCF Ziel und dienen dem Erhalt der Wertschöpfung in der Landwirtschaft. Daher werden deren Kosten in die Kosten für den Sektor Landwirtschaft einbezogen.

<sup>11</sup> Die Investitionskosten für die Anlage und Ernte von Paludikulturen werden auf Basis von (Wichmann et al. 2022) ermittelt.

**Abbildung 5: Mehrinvestitionen und Investitionszuschüsse**

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen LISE Modell

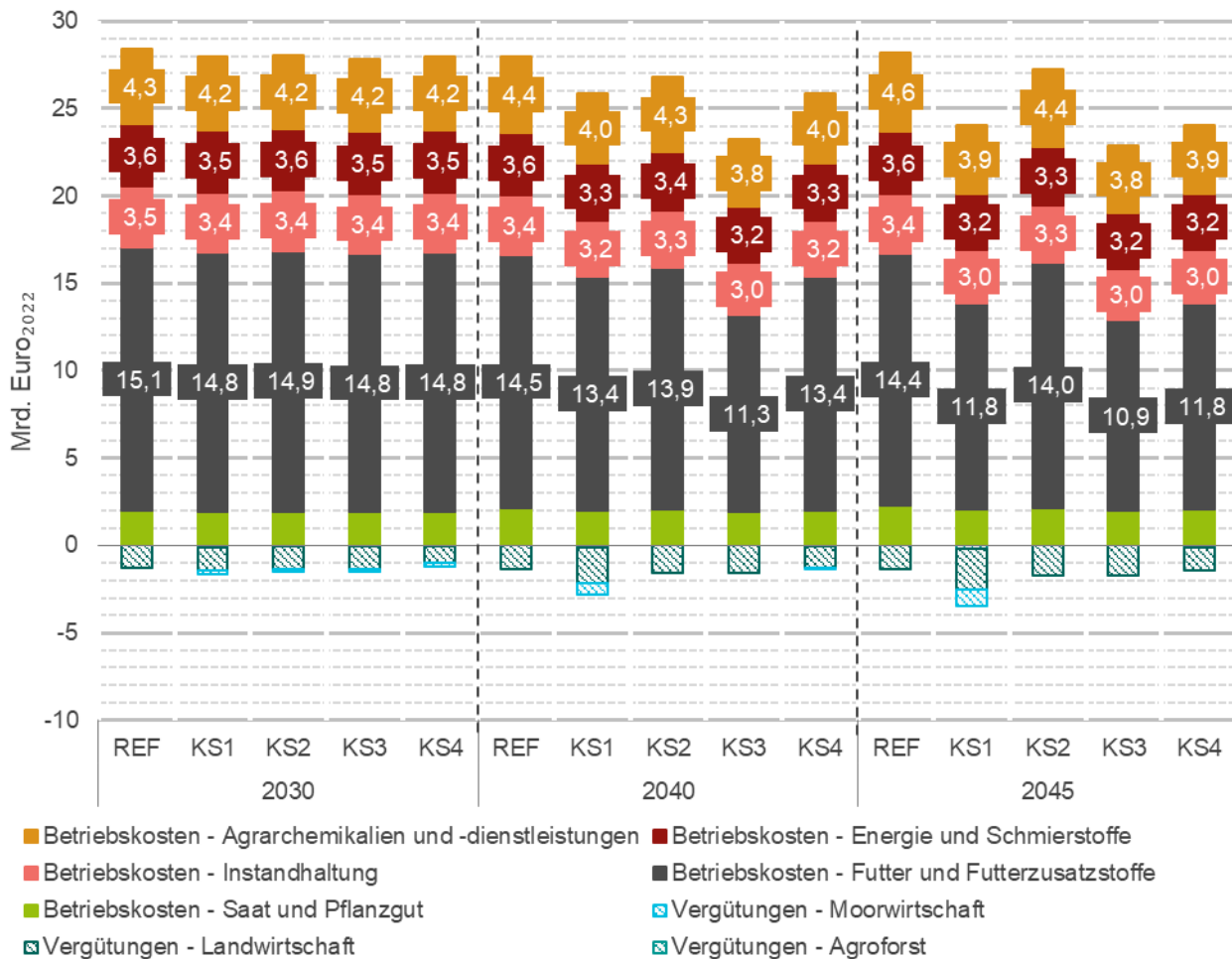
Anmerkungen: Werte sind über 5 Jahre gemittelt (z. B. enthält 2030 den Durchschnittswert 2028-2032); Mehrinvestitionen ohne MwSt.

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Betriebskosten und die Vergütungen in den verschiedenen Szenarien. Den höchsten Anteil an den Betriebskosten nehmen in allen Szenarien und zu allen Zeitpunkten die Futtermittel ein. Entsprechend sinken diese aufgrund rückläufiger Tierbestände in allen Szenarien. Weiterhin sinken aber auch die anderen Kostenblöcke wie die Instandhaltungskosten oder die Ausgaben für Energie- und Schmierstoffe. Dies lässt sich mit den Investitionen in die Energieeffizienz sowie mit einer etwas geringeren bewirtschafteten Flächen und der rückläufigen Tierproduktion begründen. Durch letztere entfällt ein Teil der Energie z.B. für Stallheizungen und Milchkühlung. Trotzdem bedeuten diese geringeren Betriebskosten keinen ökonomischen Vorteil für die Betriebe, denn dem steht auch ein Rückgang der Erlöse vor allem aus der tierischen Produktion gegenüber (siehe Tabelle 5).

Über alle Szenarien hinweg wird die Förderung von Umweltleistungen wie die Anlage von Brachflächen oder Altgrasstreifen und extensiven Bewirtschaftungsformen wie dem Ökolandbau aufrechterhalten. Je nach Szenarioausgestaltung (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4) wird ein Teil der Umweltleistungen als obligatorisch vorgeschrieben (z.B. verpflichtender Anteil an Brachland in der Ackerfläche). Neben der Förderung von Umweltleistungen und extensiven Bewirtschaftungsformen (z.B. Prämien zur Grünlandextensivierung) werden auch Kompensationszahlungen zum Ausgleich von Einkommens- und Wertverlusten gezahlt (bei Anlage von Agroforstsystemen oder der

Wiedervernässung von Mooren, bei der Reduktion von Tierbeständen). Die höchsten Zahlungen erfolgen im KS1, da hier der Anreiz von Klimaschutz-Maßnahmen v.a. über Fördermaßnahmen erfolgt, während in den anderen Szenarien diese Maßnahmen über einen THG-Preis oder über Ordnungsrecht umgesetzt werden. Resultierende Einkommensverluste müssen dabei über die Erhöhung von Verbraucherpreisen kompensiert werden, sofern keine anderen flankierenden Maßnahmen ergriffen werden.

**Abbildung 6: Betriebskosten und Vergütungen**



Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen LISE Modell

Anmerkungen: Werte sind über 5 Jahre gemittelt (z. B. enthält 2025 den Durchschnittswert 2023-2027); Betriebskosten inkl. Energiesteuern und CO<sub>2</sub>-Kosten, aber ohne MwSt.; Vergütungen beinhalten Förderungen für den Erhalt der Biodiversität in Brachen und Altgras, für die Beibehaltung von Agroforst und für den Ökolandbau, die Grünlandprämien für Wiederkäuer und die Klimaschutzprämien für Moore

Im Vergleich zu den übrigen Sektoren stehen für die Landwirtschaft in den Szenarien sinkende Betriebskosten relativ geringen Investitionen gegenüber. Allerdings besteht bis auf die Investitionen in Energieeffizienz und Erneuerbare keine Kopplung zwischen den sinkenden Betriebskosten und den Investitionen. Die Senkung der Betriebskosten ist vor allem auf die rückläufige Produktion von tierischen Produkten zurückzuführen und nicht an Investitionen gekoppelt. Investitionen können zusätzlich auf anderen Ebenen der Wertschöpfungskette stattfinden, wenn z.B. der Rückgang der tierischen Produkte auf der Verarbeitungsebene (Molkerei, Fleischverarbeitung) durch den Aufbau einer pflanzenbasierten Produktion erfolgt. Generell könnte sich durch den Rückgang der tierischen Produktion ein Teil der Wertschöpfung in die Verarbeitungskette verschieben. Für den Ausgleich



tierischer Produkte in der Ernährung liefert die Landwirtschaft in stärkerem Umfang pflanzliche Rohprodukte, während bei der Tierhaltung die Veredelung der pflanzlichen Biomasse in tierische Produkte direkt auf dem Betrieb erfolgt und Wertschöpfung generiert.

In gewissem Umfang könnte ein Ausgleich durch den zukünftig zu etablierenden Gemüseanbau erfolgen. Hier liegen deutlich höhere Wertschöpfung pro Hektar als im klassischen Ackerbau. Dafür wären weitere Investitionen notwendig (z.B. Glashäuser, Bewässerung) und es erfordert zusätzliche Arbeitskräfte. Andere Alternativen bieten auch der Anbau von Hülsenfrüchten und der Nussanbau, der allerdings bisher in Deutschland kaum etabliert ist. Beim Gemüseanbau sind angesichts der Wasser- und Stickstoffumsätze regional auch Umweltauswirkungen möglich. Dies ist im Rahmen der Analyse allerdings nicht betrachtet wurden. Auch die Frage inwieweit eine Verknappung des Angebots zu höheren Verbraucherpreisen und damit höheren Betriebseinnahmen führt, wurde nicht analysiert.

## 5 Kernbotschaften

- Der Beitrag des Landwirtschaftssektors zu den 2040 Zielen und zur Klimaneutralität in 2045 ist noch nicht politisch festgelegt. Szenarien liefern Anhaltspunkte für mögliche langfristige Ziele.
- Die Höhe der Restemissionen ist abhängig von der Entwicklung der Tierbestände, durch technische Maßnahmen lassen sich die Emissionen zwischen -25% und -30% reduzieren. Auf Grund der Unsicherheiten von technischen Maßnahmen wie Zusatzstoffen und des Flächenbedarfs für extensive Bewirtschaftungsformen wie Ökolandbau, Biodiversität, Moorwiedervernässung oder Agroforstsysteme zum Aufbau einer Senke, ist eine Emissionsreduktion durch die Reduktion von Tierbeständen aber dringend erforderlich.
  - Zusatzstoffe zur Reduktion der CH<sub>4</sub> aus der Fütterung und der Wirtschaftsdüngerlagerung und zur Reduktion N<sub>2</sub>O bei der Ausbringung von Stickstoffhaltigen Düngemitteln sind relativ günstig und einfach in den Betriebsablauf zu integrieren (keine Investitionskosten etc.), bergen aber Unsicherheiten.<sup>12</sup>
  - Von der Reduktion der Tierbestände sind in den hier erstellten Szenarien insbesondere Milchkühe betroffen. Angesichts des in der Vergangenheit steigenden Konsums an Milchprodukten, insbesondere Käse (BLE 2024), liegt hierin eine besondere Herausforderung für die Nachfragesteuerung, um Leakage Effekte zu vermeiden.
  - Insgesamt spiegelt der bisherige Tierbestandsrückgang auch die sinkende Nachfrage (im In- und Ausland) bis zum Jahr 2023 wider. Inwieweit dieser Trend anhält ist ungewiss. Daher sollte die Politik zusätzliche Instrumente entwickeln, um die Trends zu unterstützen und zu verstärken. Aus Perspektive des Klimaschutzes trifft dies in besonderer Weise auf Milchprodukte bzw. die Milchkuhhaltung zu.
- Über das LULUCF Ziel und damit den Zugriff auf landwirtschaftliche Nutzfläche für Moorwiedervernässung und Agroforstsysteme wird ein Teil der THG-Minderung im Landwirtschaftssektor erreicht. Damit entfallen Futterflächen für die Tierhaltung. Ohne gleichzeitigen Rückgang in der tierischen Produktion und folglich auch der Nachfrage nach

<sup>12</sup> Beispielsweise kann der Nachweise, inwieweit zugekaufte Futterzusatzstoffe tatsächlich beigemischt werden und die erforderliche Minderung im Kuhmagen erzeugen könnte nur durch direkte Messungen erfolgen und ist damit auf Betriebsebene nicht möglich.

tierischen Produkten, entsteht ein Leakage-Effekt und Importströme für Futtermittel oder tierische Produkte nehmen zu. Oder die Produktion wird intensiviert. Aus diesem Grund ist in den Szenarien KS1 und KS4 einerseits eine Verbrauchssteuerung notwendig, in KS2 und KS3 werden die THG-Preise an den Endverbraucher weitergereicht.

- Um den Import preiswerter Produkte aus Regionen ohne vergleichbare Klimaschutzmaßnahmen zu unterbinden, ist zusätzlich ein Außenschutz für einzelne Agrargüter notwendig – beispielsweise in Form eines CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichs (CBAM).
- Die Reduktion der letzten gut 10 Mio. t CO<sub>2</sub>e (Vergleiche KS2 und KS3 Abbildung 2 und Tabelle 5) kann nur über den Rückgang der Produktion tierischer Produkte erfolgen und hat damit ganz erhebliche Auswirkungen auf die Betriebe und die VerbraucherInnen.
- In einem AFOLU Sektor (KS2) definiert der prioritäre Zugriff des Lawi Sektors auf die LULUCF Senke maßgeblich die Höhe der Restemissionen in der Landwirtschaft. Wenn die preiswerte Senke (THG-Preis < 100 €/t CO<sub>2</sub>e) bereitgestellt wird, bleiben die Emissionen im Landwirtschaftssektor auch hoch.
- Im Falle der Schaffung eines AFOLU-Sektors (Szenario KS2) spricht einiges für das hier gewählte Vorgehen mit der Einführung zweier separater Unterziele für die Landwirtschaft und LULUCF und deren Verrechnung über den Staat:
  - Risikominimierung: Ohne den Staat als Mittler werden die Unsicherheiten im LULUCF Sektor (Entwicklung der Waldsenke, Bilanzierungsmethoden - z.B. weitere Emissionsquellen im LULUCF Sektor, siehe Diskussion im LULUCF Papier) auf den Landwirtschaftssektor übertragen und das Ziel bleibt weiterhin vage.
  - Haftung: Wer haftet, wenn der LULUCF Sektor hinter seinem Ziel zurückbleibt und damit die THG-Neutralität für den AFOLU Sektor in Gefahr gerät? Sichert der Staat dann die Ernährungspreise (-weise) und kauft technische Senke z.B. in Form von DACCS zu oder muss die Landwirtschaft kurzfristig mit einer Tierbestandsabstockung reagieren?
- Bei der Integration des Landwirtschaftssektors in einen sektorübergreifenden Emissionshandel (ohne LULUCF) sind die THG-Preise mit 325 €/ t CO<sub>2</sub>e. wesentlich höher und der Landwirtschaftssektor leistet mehr als in den anderen Szenarien. Die hohen THG-Preise wirken auf die Reduktion der Tierbestände. Allerdings ist die Vergabe von freien Zertifikaten entscheidend, da sich sonst die Tierhaltung in den Gebieten mit hohen Leistungen und hohen Preisen konzentrieren würde und viele Betriebe komplett aufgeben.



## Literaturverzeichnis

- Biewald, A.; Gniffke, P.; Fuß, R. (2022): Prozentuale Sektorziele ermöglichen mehr Klimaschutz – das aktuelle Fallbeispiel Landwirtschaft (Fact Sheet). Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter [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), zuletzt geprüft am 13.06.2023.
- BLE (2024): Versorgungsbilanzen Milch. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/Versorgungsbilanzen.html>, zuletzt geprüft am 02.09.2024.
- Bognar, J.; Springer, K.; Nesbit, M.; Nadeu, E.; Hiller, N.; van Dijk, R.; Lam, L.; Forestier, O.; Finesso, A.; Bolshcher, H.; Jakob, M.; Tarpey, J.; McDonald, H. et al. (2023): Pricing agricultural emissions and rewarding climate action in the agri-food value chain. Trinomics (Hg.). Rotterdam. Online verfügbar unter <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2023/50109-Pricing-agricultural-emissions-and-rewarding-climate-action-in-the-agri-food-value-chain.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2023.
- EC - European Commission (Hg.) (2024): Impact Assessment Report, Accompanying the document "Communication from the Commission to the EU. Securing our future Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society" (SWD(2024) 63 final). Strasbourg. Online verfügbar unter [https://climate.ec.europa.eu/document/download/768bc81f-5f48-48e3-b4d4-e02ba09faca1\\_en?filename=2040%20Climate%20Target%20Impact%20Assessment\\_en\\_0.pdf](https://climate.ec.europa.eu/document/download/768bc81f-5f48-48e3-b4d4-e02ba09faca1_en?filename=2040%20Climate%20Target%20Impact%20Assessment_en_0.pdf), zuletzt geprüft am 20.02.2024.
- 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. et al. (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland (2. Auflage) (Climate Change, 39/2023). Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/projektionsbericht-2023-fuer-deutschland>, zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- IPCC (Hg.) (2022): Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Shukla, P.; Skeea, J.; Slade, R.; Al Khouradajie, A.; van Diemen, R. et al., IPCC. Cambridge, New York: Cambridge University Press. Online verfügbar unter [https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FinalDraft\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf), zuletzt geprüft am 05.01.2023.
- KOM - Europäische Kommission (2020): A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Brussels. Online verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF).
- KTBL (2022): Betriebsplanung Landwirtschaft 2022/23. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hg.). Darmstadt.
- Pérez Domínguez, I.; Fellmann, T.; Witzke, P.; Weiss, F.; Hristov, J.; Himics, M.; Barreiro-Hurlé, J.; Gómez-Barbero, M.; Leip, A. (2020): Economic assessment of GHG mitigation policy options for EU agriculture, A closer look at mitigation options and regional mitigation costs - EcAMPA 3

- (JRC Technical Report). Joint Research Centre (Hg.). Luxembourg. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cce2a349-8052-11ea-b94a-01aa75ed71a1/language-en>, zuletzt geprüft am 14.06.2024.
- Scheffler, M.; Wiegmann, K. (2024): EU 2040 Climate Target, Contribution of the agriculture sector. Ecologic Institute (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/publikation/eu-2040-climate-target-contributions-of-the-agriculture-sector/>, zuletzt geprüft am 02.09.2024.
- Stepanyan, D.; Heidecke, C.; Osterburg, B.; Gocht, A. (2023): Impacts of national vs European carbon pricing on agriculture. In: *Environ. Res. Lett.* (18). Online verfügbar unter <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acdcac>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.
- Tiemeyer, B.; Freibauer, A.; Borraz, E. A.; Augustin, J.; Bechtold, M.; Beetz, S.; Beyer, C.; Ebli, M.; Eickenscheidt, T.; Fiedler, S.; Förster, Christoph, Gensior, Andreas; Giebels, M.; Glatzel, S. et al. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. In: *Ecological Indicators* 109. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>.
- UBA - Umweltbundesamt (2021): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2019 (Climate Change, 43/2021). Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-6>, zuletzt geprüft am 26.04.2022.
- UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2023): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021, Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2023. Online verfügbar unter [https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07\\_inventory/ghg\\_inventory/envy8fz9q/DE\\_EU-NIR\\_2023\\_DE.pdf](https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envy8fz9q/DE_EU-NIR_2023_DE.pdf), zuletzt geprüft am 23.03.2023.
- Vos, C.; Rösemann, C.; Haenel, H.-D.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2022): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2020: Report on methods and data (RMD) Submission 2022. (Thünen Report 91). Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig. Online verfügbar unter [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn064675.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn064675.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2023.
- Wichmann, S.; Nordt, A.; Schäfer, A. (2022): Lösungsansätze zum Erreichen der Klimaschutzziele und Kosten für die Umstellung auf Paludikultur, Hintergrundpapier zur Studie „Anreize für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050“. Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt (Hg.). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/projektmechanismen/Hintergrundpapier-loesungsansaetze-paludikultur.html?nn=8596366>, zuletzt geprüft am 06.04.2023.

## Anhang

### Anhang I. Modellbeschreibung LiSE (Betriebstypen)

Das Landwirtschaftsmodell **LiSE** (LiSE steht für Lifestock, Soil and Energy Emissions) ist ein Excel-basiertes Modell des Öko-Instituts, das die Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung und der Nutzung landwirtschaftlicher Böden in Deutschland sowie die energiebedingten Emissionen<sup>13</sup> aus Land- und Gartenbau kalkuliert. Das Modell besteht in zwei Ausführungen – dem **Grundmodell**, das aus den drei Hauptmodulen Nutztierhaltung, landwirtschaftliche Böden und Energienutzung besteht und dem **Betriebstypenmodell**. Die energiebezogenen Emissionen (mobile und die stationäre Energienutzung) werden allerdings bisher nicht im Betriebstypenmodell berechnet.

In den Klimaschutzszenarien ist das Betriebstypenmodell eingesetzt worden. Es bildet die Gesamtheit der landwirtschaftlichen Betriebe auf der Grundlage einzelner Betriebstypen ab. Hierfür werden Modellbetriebe für fünf unterschiedliche betriebswirtschaftliche Ausrichtungen (Ackerbau, Milchvieh, Futterbau, Gemischt, Veredelung) aus statistischen Daten gebildet. Weitere Differenzierungen erfolgen für mineralische und organische Böden sowie für konventionelle und ökologische Wirtschaftsweisen. Neben den Treibhausgasemissionen werden im Modell weitere umweltrelevante Größen wie z.B. die Entwicklung der Flächenbelegung und Stickstoffsalden berechnet. Es werden Produktionsmengen für die einzelnen Betriebstypen ausgewiesen. Zusätzlich gibt es ein ökonomisches Modul, das die betrieblichen Aufwendungen (Investitionen, Betriebsmittel, Arbeitskräfte, Abgaben wie z.B. ein THG-Preis) und Erlöse (Produktion, Fördergelder) darstellt. Auf diese Weise können die Kosten von Umweltmaßnahmen auch ökonomisch bewertet werden, insbesondere THG-Vermeidungskosten.

Das Modell LiSE beinhaltet alle relevanten Quellkategorien, Unterquellgruppen und Gase, die nach den IPCC Guidelines zur Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen erforderlich sind. Die Emissionsberechnungen in Bezug auf sämtliche Eingangsparameter (Emissionsfaktoren) und Ausgabegrößen (Quellgruppen und Unterquellgruppen) erfolgen auf Basis der aktuellen nationalen THG-Berichterstattungs Methodik. Es werden jeweils Inventardaten für das Basisjahr der Modellierung eingepflegt.

Das Modell setzt auf den Bestands- und Strukturdaten der Nationalen Treibhausgasinventare auf (Vos et al. 2022) und produziert bottom-up Emissionen für sämtliche Quellgruppen. Diese werden auf der Basis folgender Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren ermittelt:

- Für die direkten und indirekten Lachgas-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung werden die Düngieranwendung (mineralische, sowie tierische und pflanzliche Wirtschaftsdünger), Erntereste, die Bewirtschaftung organischer Böden, Klärschlammausbringung und Exkrememente aus der Weidehaltung berücksichtigt.
- Im Bereich der Tierhaltung sind es die Bestandsgrößen der Nutztiere, Milchleistung, N- und VS-Extraktionsrate, Methanbildungsraten für Wirtschaftsdünger, sowie die Güllevergärung.
- Die Emissionen aus der Lagerung und Vergärung der Energiepflanzen basieren auf den eingesetzten Energiepflanzenmengen und dem Anwendungsgrad in Bezug auf Abdeckung und Vergärung.
- Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Harnstoffanwendung und dem Einsatz von Kalkdüngern erfolgt über die eingesetzten Düngemengen.

---

<sup>13</sup> Diese wurden im Rahmen des Klimaschutzplans in das Sektorziel für die Landwirtschaft einbezogen.

Als Eingangsdaten greift das Modell auf weitere Datenquellen zurück. Die Beschreibung der einzelnen Betriebe (Flächenausstattung, Anbaumix, Biodiversitätsflächen, Tierbestand, -leistungen und ökonomische Kenndaten für das jeweilige Basisjahr) basieren auf den statistischen Daten der landwirtschaftlichen Buchführungsergebnisse<sup>14</sup>. Weitere detaillierte ökonomische Kennzahlen zu diversen Betriebsprozessen basieren auf den KTBL-Betriebsdaten (KTBL 2022).

Die Fortschreibung dieser Größen für Szenarien bzw. Projektionen erfolgt im Abgleich mit der Fachliteratur und politischen Vorgaben oder fließt als Ergebnis aus den Modellen des Öko-Instituts zur Landnutzung (FABio-Land) in die Analysen ein – wie die Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (z. B. Ausbau Siedlungen und Infrastruktur oder die Wiedervernässung von Moorböden, Anteil Acker-Grünland, Gehölzflächen). Für die Fortschreibung der einzelnen Betriebstypen werden alle Betriebstypen jeweils noch einmal als Betrieb des ökologischen Landbaus und als Betrieb auf Moorstandorten dargestellt. Auf diese Weise können Umstellungen auf Ökolandbau ebenso abgebildet werden wie die Wiedervernässung und daraus resultierende Änderungen der Bewirtschaftung.

Technische Maßnahmen wie der Einsatz von Zusatzstoffen (Düngung oder Fütterung), die Vergärung von Wirtschaftsdüngern oder eine verbesserte Wirtschaftsdüngerausbringung werden mit Hilfe veränderter Emissionsfaktoren im Modell abgebildet. Maßnahmen des Herdenmanagements bei Kühen bzw. Rindern könnten über die Verhältnisse adulter zu juvenilen Tieren abgebildet werden. Maßnahmen einer Extensivierung – wie der Ausbau des Ökolandbaus oder eine Zunahme an Biodiversitätsflächen – können über geänderte Stickstoffinputs und eine Verringerung des Tierbestands dargestellt

Inputgrößen fließen über Fünf- bis Zehn-Jahres-Schritte in das Modell ein und die sich ergebenden Aktivitätsgrößen und Emissionsfaktoren werden für die Zwischenjahre interpoliert. Insgesamt rechnet das Modell die Ergebnisse jedoch jahresweise. Das Modell hat eine räumliche Auflösung auf der Ebene von Bundesländern.

<sup>14</sup> <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/testbetriebsnetz/testbetriebsnetz-landwirtschaft-buchfuehrungsergebnisse/archiv-buchfuehrungsergebnisse-landwirtschaft/buchfuehrungsergebnisse-landwirtschaft-2020/21>