

# **Treibhausgasminderungspotential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft in Deutschland**

Bachelorarbeit

Vorgelegt von:

Melina Braches

Matrikel-Nr.: 3430485

Betreut durch:

Dr. Thomas Roggenkamp

Bonn, 26.01.2024

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1. Einleitung.....	1
2. Treibhausgase und Landwirtschaft in Deutschland .....	3
2.1 Sektor Landwirtschaft .....	4
2.2 Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) .....	10
2.3 Biozyklisch-vegane Landwirtschaft .....	14
3. Methode und Material .....	19
4. Ergebnisse .....	21
5. Diskussion.....	25
5.1 Methode und Material .....	25
5.2 Tierhaltung und Futteranbau .....	26
5.3 Düngung .....	28
5.4 Landnutzungsänderungen.....	30
5.5 Weiterführend.....	32
6. Fazit .....	36
Literaturverzeichnis.....	V
Anhang .....	XIV

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flächenbelegung der landwirtschaftlichen Fläche in Mio. ha (Eigene Darstellung nach DESTATIS 2021, S. 6).....	4
Abbildung 2: Quellen der Emissionen in der Landwirtschaft 2021 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq./J (Eigene Darstellung nach UBA 2023c).....	5
Abbildung 3: CO <sub>2</sub> -Fußabdruck ausgewählter Lebensmittel (Eigene Darstellung nach REINHARDT et al. 2020, S. 8 ff.).....	8
Abbildung 4: Emissionen in der Landwirtschaft 2021 in Relation zu den Klimazielen 2030 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq./J (Eigene Darstellung nach UBA 2023e) .....	10
Abbildung 5: Senken und Quellen im Sektor LULUCF 2021 in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq./J (Eigene Darstellung nach UBA 2023b) .....	11
Abbildung 6: Nutzung von Moorböden in Deutschland in % (BMUV 2022, S. 7) .....	12
Abbildung 7: Treibhausgasemissionen aus Moorböden in Deutschland nach Nutzung in t CO <sub>2</sub> -Äq./ha/J (BMUV 2022, S. 11).....	13
Abbildung 8: Gütesiegel „Biozyklisch-Veganer Anbau“ (Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau 2023, S. 10).....	15
Abbildung 9: Fruit yield of processing tomato (t/ha) as affected by fertilization (EISENBACH et al. 2019, S. 50).....	17
Abbildung 10: Anteil des Treibhausgasminderungspotentials der biozyklisch-veganen Landwirtschaft an den Emissionen im Sektor Landwirtschaft in Relation zu den Klimazielen 2030 (Eigene Darstellung) .....	24

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Treibhausgasminderungspotential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq./J. (Eigene Darstellung).....	23
---	----

# Abkürzungsverzeichnis

A = Anhang

Bioz.-v. = Biozyklisch-vegan

CO<sub>2</sub>-Äq. = Kohlendioxid-Äquivalente

ha = Hektar

J = Jahr

KSG = Bundes-Klimaschutzgesetz

LULUCF = Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

LW = Landwirtschaft

landw. = landwirtschaftlich

Mio. = Millionen

pflanzl. = pflanzlich

t = Tonne

THGMP = Treibhausgasminderungspotential

# 1. Einleitung

„Der menschengemachte Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen dieser Zeit.“ (BUNDESREGIERUNG 2023, S. 1). Die Welt, in der wir leben, wird durch den Klimawandel verändert. Das hat eine Vielzahl von Auswirkungen auf Natur, Gesellschaft, Wirtschaft und unser tägliches Leben zur Folge (UBA o.J.). Auswirkungen des Klimawandels wie häufigere Extremwetterereignisse sind bereits deutlich spürbar (BUNDESREGIERUNG 2023, S. 1). Mit dem Sonderbericht des Weltklimarats über 1,5 °C und dem internationalen Ziel, die globale Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen, ist die Notwendigkeit, die Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre zu senken, in den Fokus von Politik und Forschung geraten (WBGU 2020, S. 13). Dieser Bericht zeigt deutlich, dass die Folgen und Risiken des Klimawandels zwischen 1,5 °C und 2 °C Erderwärmung merklich zunehmen und bei einer anhaltenden Temperaturerhöhung weiter steigen (WBGU 2020, S. 24). Die Erderwärmung seit Beginn der Industrialisierung liegt derzeit im globalen Mittel bei 1,1 °C und in Deutschland bei 1,6 °C (BMWK 2022, S. 12, WBGU 2020, S. 13). Entscheidende Reduktionen der Treibhausgasemissionen sind nötig, um zu verhindern, dass die Erderwärmung stärker ansteigt (WBAE u. WBW 2016, S. I).

Der Landwirtschaft kommt beim Klimawandel eine wichtige Rolle zu. Auf der einen Seite ist sie, wie kaum ein anderer Sektor, von den klimatischen Bedingungen abhängig und somit direkt von den Folgen des Klimawandels betroffen. Auf der anderen Seite verursacht sie selbst klimaschädliche Emissionen, die sowohl im Sektor Landwirtschaft als auch in anderen Sektoren bilanziert werden (UBA 2023e). Dabei macht die Nutztierhaltung den Großteil der Emissionen in der Landwirtschaft aus (UBA 2023a). Änderungen in der Produktion und beim Konsum können Klima sowie Umwelt entlasten (UBA 2023d). In Europa ist bereits ein entsprechender Wertewandel zu einem geringeren Fleischkonsum zu beobachten (WBGU 2020, S. 6). Zum Erreichen der Klimaziele müssen auch die Emissionen der Landwirtschaft gemindert werden (UBA 2023e). Dafür ist eine nachhaltige Transformation der Landwirtschaft und der Ernährung notwendig (BMWK 2022, S. 42). Die biozyklisch-vegane Landwirtschaft ist eine Form der Landwirtschaft, die sowohl einen Beitrag zum Klimaschutz als auch zum Umweltschutz, zur Biodiversität und zu sozialen Themen leisten kann (UBA 2020a, S. 37). Sie hat in Verbindung mit den wissenschaftlichen Debatten über die Klimabelastung durch die Tierhaltung, der notwendigen Reduzierung des Konsums tierischer Lebensmittel und den ethischen Fragen zur heutigen Tierhaltung ein großes Transformations- und Nachhaltigkeitspotential (UBA 2023f).

Ziel dieser Arbeit ist es, das Treibhausgasreduzierungspotential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft auf Grundlage der Emissionen des bestehenden Agrarsystems zu berechnen und diese in Relation zu den Klimazielen zu setzen. Dies wird mit folgender Forschungsfrage untersucht: *„Inwiefern ergibt sich ein Treibhausgasreduzierungspotential bei unterschiedlichen Anteilen der biozyklisch-veganen Landwirtschaft an der Landwirtschaft Deutschlands?“*. Dabei wird die Hypothese unterstellt, dass das Treibhausgasreduzierungspotential umso größer ist, je höher der Anteil der biozyklisch-veganen Landwirtschaft an der Landwirtschaft Deutschlands ist. Außerdem wird erwartet, dass die biozyklisch-vegane Landwirtschaft einen effektiven Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.

Zu Beginn werden in Kapitel 2 die grundlegenden Erkenntnisse und Daten zu Treibhausgasen und den Sektoren Landwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) dargestellt und anschließend die biozyklisch-vegane Landwirtschaft vorgestellt. Darauf folgt die Beschreibung der Methode und des Materials in Kapitel 3. Die Ergebnisse werden in Kapitel 4 ausgewertet und in Kapitel 5 diskutiert. Abschließend folgt das Fazit in Kapitel 6. Folgende Grenzen werden aufgrund des Umfangs dieser Arbeit und der Komplexität des Vorhabens gesetzt. Die Berechnung wird auf das Untersuchungsgebiet Deutschland sowie auf die Hauptreduzierungspotentiale der biozyklisch-veganen Landwirtschaft beschränkt. Dabei müssen für die Berechnung Vereinfachungen und Annahmen getroffen werden.

## 2. Treibhausgase und Landwirtschaft in Deutschland

Seit der Industrialisierung werden zunehmend Treibhausgase durch menschliche Aktivitäten freigesetzt. Diese reichern sich in der Atmosphäre an und verstärken den Treibhausgaseffekt (BMWK 2022, S. 8). Im Jahr 2021 betrug die Emissionen für Deutschland 764,4 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (UBA 2023c). Die Emissionen werden gemäß Anlage 1 des Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) den festgelegten Sektoren zugeordnet (UBA 2023e). Ebenso sind die deutschen Treibhausgasreduzierungsziele im KSG festgelegt. Bis 2030 sollen die Emissionen gegenüber 1990 um mindestens 65 % sinken und bis 2045 Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden. Nach 2050 sollen negative Treibhausgasemissionen erzielt werden. Aktuell verfehlt Deutschland diese Vorgaben mit den beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen (UBA 2023j).

In Deutschland entfällt die Freisetzung von Treibhausgasen größtenteils auf Kohlendioxid (89,4 %), Methan (6 %) und Distickstoffoxid (3,2 %) (UBA 2023i). Je nach Fähigkeit, Wärmestrahlung zu absorbieren bzw. zu reflektieren, und der Verweildauer in der Atmosphäre hat jedes Gas sein eigenes Treibhausgaspotential. Die Klimawirkung wird innerhalb eines Zeitraums auf Kohlendioxid bezogen, sodass die Emissionen in Kohlendioxid-Äquivalenten angegeben werden (UBA 2022a).

Kohlendioxid entsteht bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Materialien, wie fossile Energieträger und Holz. Anthropogene Hauptquelle ist die Energiewirtschaft, gefolgt von der Industrie, dem Verkehr und Gebäuden. Kohlendioxid macht den Großteil des vom Menschen verursachten Treibhausgaseffektes aus. Es wird durch natürliche physikalische und biogeochemische Prozesse im Erdsystem sehr langsam abgebaut. Nach tausend Jahren sind noch 15-40 % in der Atmosphäre zu finden. Der gesamte Abbau dauert mehrere hunderttausend Jahre (CHEMIE. DE o.J., UBA 2022a, UBA 2023c).

Methan wird von methanbildenden Mikroorganismen, den methanogenen Archaeen, gebildet und entsteht dort, wo organisches Material unter Luftausschluss abgebaut wird (UBA 2022c, S. 9). Die Hauptquelle von Methan ist die Landwirtschaft mit über 76 % Anteil an den Methan-Emissionen (UBA 2023i). Es wird vorwiegend bei Verdauungsvorgängen von Wiederkäuern wie Rindern und Milchkühen, aber auch bei der Lagerung sowie Ausbringung von tierischem Wirtschaftsdünger wie Gülle oder Festmist freigesetzt (BMWK 2022, S. 42). Methan hat ein Treibhausgaspotential von 30 und leistet einen Gesamtbeitrag von knapp 30 % zur globalen Erwärmung. Das entspricht einer Brutto-Temperaturerhöhung von ca. 0,5° C bis heute (UBA

2022c, S. 9). Die durchschnittliche Lebenszeit in der Atmosphäre beträgt 12,4 Jahre (UBA 2022a).

Distickstoffoxid oder Lachgas entsteht, wenn Mikroorganismen stickstoffhaltige Verbindungen im Boden abbauen (UBA 2022a). Hauptquelle ist auch hier die Landwirtschaft mit 77 % Anteil an den Distickstoffoxid-Emissionen (UBA 2023i). Es gelangt vor allem durch stickstoffhaltigen Dünger und die Massentierhaltung in die Atmosphäre. In der Industrie entsteht es bei chemischen Prozessen wie der Düngemittelproduktion. Distickstoffoxid kommt in der Atmosphäre nur in Spuren vor, hat aber ein Treibhausgaspotential von 298. Die durchschnittliche Lebenszeit in der Atmosphäre beträgt 121 Jahre (UBA 2022a).

## 2.1 Sektor Landwirtschaft

Im Jahr 2021 gab es 257.000 landwirtschaftliche Betriebe, die 16,6 Mio. Hektar landwirtschaftliche Fläche bewirtschafteten. Das entspricht der Hälfte der Fläche Deutschlands. Davon waren 11,7 Mio. Hektar Ackerland, 4,7 Mio. Hektar Grünland und 0,2 Mio. Hektar Dauerkulturen (Abbildung 1) (DESTATIS 2021, S. 6, DESTATIS 2022).

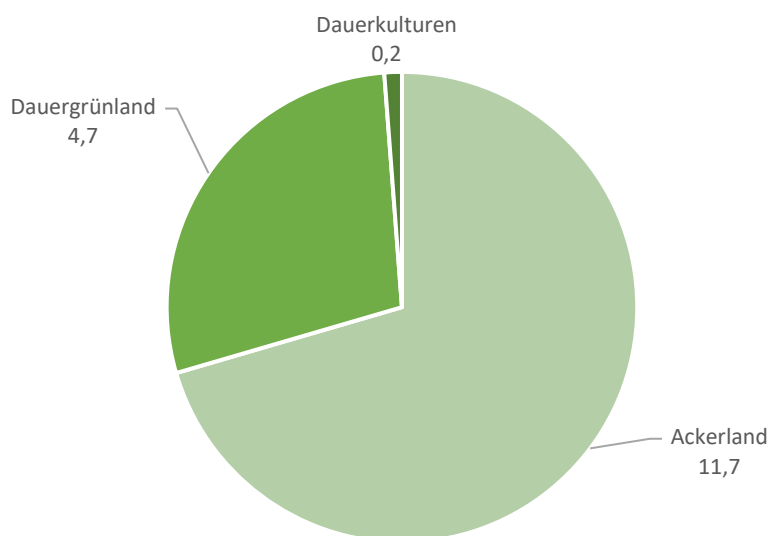


Abbildung 1: Flächenbelegung der landwirtschaftlichen Fläche in Mio. ha (Eigene Darstellung nach DESTATIS 2021, S. 6)

Ökologisch bewirtschafteten 37.000 Betriebe 1,9 Mio. Hektar, also 11,3 % der landwirtschaftlichen Fläche (BÖLW 2023, S. 9 ff.). Die ökologische Landwirtschaft wird in Deutschland wegen ihrer positiven Umwelteffekte staatlich gefördert (WBAE u. WBW 2016, S. 193). Der Anteil des Ökolandbaus an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche soll bis 2030 auf 30 %



gesteigert werden (BMWK 2022, S. 42). Die umweltschonende Bewirtschaftung bedeutet einen höheren Arbeitsaufwand, wodurch Bio-Produkte teurer als konventionelle sind. Außerdem entstehen Kosten durch Kontrollen und bei der Trennung von konventionellen Produkten (ÖKOLOANDBAU.DE 2023). Im ökologischen Landbau werden 0,2 bis 0,3 Arbeitskräfte je 100 Hektar mehr beschäftigt als im konventionellen (BUNDESREGIERUNG 2019, S. 114).

2021 war der deutsche Landwirtschaftssektor mit 62,7 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten für 8,2 % der Gesamtemissionen Deutschlands verantwortlich (UBA 2023c). Zwar ist derzeit der Anteil der Landwirtschaft an den deutschen Gesamtemissionen gering, aber perspektivisch wird der Anteil steigen, weil die Möglichkeiten zur Minderung der Emissionen, vor allem durch technische Maßnahmen, in den anderen Sektoren höher sind (UBA 2021c, S. 33). Die meisten Emissionen in der Landwirtschaft waren 2021 auf die Verdauung bei Wiederkäuern mit 26,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gefolgt von landwirtschaftlichen Böden mit 16,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., der Düngewirtschaft mit 9,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. sowie den stationären und mobilen Feuerungen mit 6,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zurückzuführen. Die restlichen Emissionen werden in Kalkungen (2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.), Harnstoffanwendungen (0,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.), anderen kohlenstoffhaltigen Düngemitteln (0,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) sowie andere (1,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) unterteilt (Abbildung 2) (UBA 2023c).

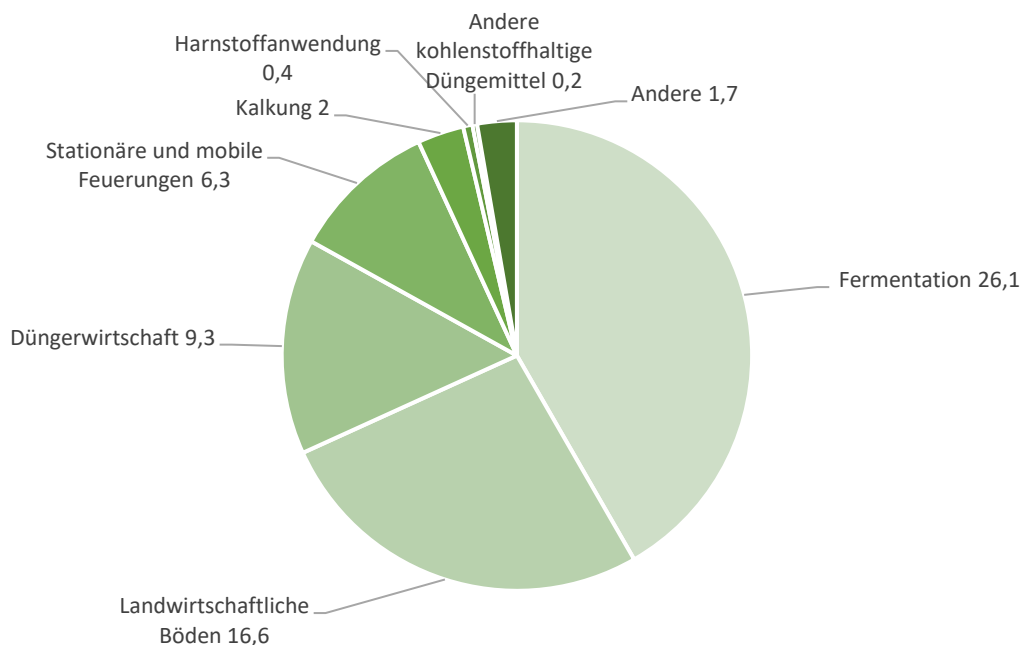


Abbildung 2: Quellen der Emissionen in der Landwirtschaft 2021 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq./J (Eigene Darstellung nach UBA 2023c)

Die Emissionen der Landwirtschaft treten größtenteils in Form von Methan (34,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) und Lachgas (19,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) auf. Kohlendioxid hat nur einen relativ geringen Anteil an den Emissionen der Landwirtschaft (8,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.) (UBA 2023c). Nutztiere stoßen mit ihrer Verdauung 75 % des Methans in der Landwirtschaft aus. Das Wirtschaftsdüngermanagement trägt mit 20 % zu den landwirtschaftlichen Methanemissionen bei (UBA 2022c, S. 11).

Der ökologische Landbau ist auf die Fläche bezogen emissionsärmer als der konventionelle, weil unter anderem keine Mineraldünger verwendet werden, deren Erzeugung Treibhausgase freisetzt. Zudem sind die nährstoffreichen Humusgehalte in ökologisch bewirtschafteten Böden oft höher (BMWK 2022, S. 42). Die flächenbezogenen Emissionen sind zwar geringer als im konventionellen Anbau, aber die produktbezogenen Emissionen sind höher. Grund ist der höhere Flächenbedarf in Folge der niedrigeren Erträge (WBAE u. WBW 2016, S. 193).

Zwei Drittel der landwirtschaftlichen Betriebe hielten Nutztiere (BMEL 2022a, S. 9). Für die deutsche Landwirtschaft ist die Nutztierhaltung von großer Bedeutung. Ein bedeutender Teil der landwirtschaftlichen Verkaufserlöse kommt aus der Nutztierhaltung. Die Umsatzerlöse tierischer Produktionsbetriebe waren 2012/13 bezogen auf einen Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche höher als bei Ackerbaubetrieben. Auf die betrieblichen Einkommen je Arbeitskraft bezogen stehen die Ackerbaubetriebe aber seit vielen Jahren an erster Stelle und verzeichnen auch die größten Einkommenszuwächse. Auch die mit der Tierhaltung verknüpfte Wertschöpfung in den vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereichen ist von hoher wirtschaftlicher Bedeutung. Zudem beschäftigt die Tierhaltung mehr Arbeitskräfte, als der Ackerbau, und hat mit den vor- sowie nachgelagerten Unternehmen eine bedeutende sozioökonomische Funktion (WBA 2015, S. 15 ff.).

Im Jahr 2021 lebten in Deutschland 210 Mio. Nutztiere (DBV 2023). Für die Produktion tierischer Produkte wie Fleisch, Milch und Eier benötigen die Tiere große Mengen an Futtermitteln (UBA 2023d). Das Futteraufkommen betrug im Wirtschaftsjahr 2020/21 194,8 Mio. Tonnen (BLE u. BZL 2023). In Deutschland wird auf 10 Mio. Hektar und damit auf 60 % der landwirtschaftlichen Fläche Futter für Nutztiere angebaut (BZL 2023a). Beim Futterbau ist zwischen Ackerfutterbau und Grünlandnutzung zu unterscheiden, die jeweils ca. die Hälfte des Futterbaus ausmachen. Beim Ackerfutterbau werden Futterpflanzen auf einer Ackerfläche nahezu über die gesamte Vegetationsperiode meist als Hauptfrucht angebaut. Zur Grünlandnutzung

gehören Weiden, auf denen Tiere grasen, und Wiesen, die zur Futtergewinnung gemäht werden (BMEL 2020, S. 32).

Getreide und Mais decken einen Großteil des Kohlenhydratbedarfs der Tiere. Da nicht genug eiweißhaltige Pflanzen in der EU produziert werden, wird Soja importiert (BMEL 2020, S. 32). Weltweit importiert die EU nach China das meiste Soja. Innerhalb der EU ist Deutschland einer der größten Sojaimporteure (FAO 2023, OROVERDE – DIE TROPENWALDSTIFTUNG 2022, S. 4). Im Jahr 2021 importierte Deutschland ca. 3,6 Mio. Tonnen Sojabohnen (DESTATIS 2023a). Wichtigstes Importland war Brasilien mit 1,59 Mio. Tonnen gefolgt von den USA mit 1,56 Mio. Tonnen Sojabohnen (DESTATIS 2023b). Durch den Sojaimport für Tierfutter entsteht eine Mitverantwortung für den Verlust der Wälder in Südamerika (OROVERDE – DIE TROPENWALDSTIFTUNG 2022, S. 7).

Deutschland weist bei der Flächenbelegung einen virtuellen Importüberschuss und damit ein Flächendefizit auf. 2017 belegte Deutschland für den inländischen Lebensmittelkonsum eine Fläche von 19,1 Mio. Hektar. Davon lagen 7,2 Mio. Hektar im Inland und 11,9 Mio. Hektar im Ausland. Hinzu kommen 6,9 Mio. Hektar im Inland für Exporte von Nahrungsmitteln (UBA 2021b, S. 18). Über die Hälfte der Treibhausgasemissionen unseres Nahrungsmittelkonsums entstehen außerhalb Deutschlands (UBA 2020b, S. 26). Bei der inländischen Futtererzeugung belegt Grünfutter über die Hälfte der Fläche, die importierte Fläche für Futtermittel wird zu fast 90 % von Kraftfutter belegt. Die Produktion von Futtermitteln ist auf die Nutzung von Flächen im Ausland angewiesen (UBA 2021b, S. 18). Im internationalen Kontext trägt der hohe Bedarf an landwirtschaftlicher Fläche für Futter dazu bei, dass Moore und Wälder in landwirtschaftliche Fläche umgewandelt werden (UBA 2023d).

Drei Viertel der an die Tiere verfütterten Nährstoffe werden von ihnen selber verbraucht und wieder ausgeschieden (UBA 2023d). Die in den Futtermitteln enthaltenen Nährstoffe bleiben als tierische Exkremete in der Region und verursachen dort Nährstoffüberschüsse. Der überschüssige Stickstoff entweicht als Nitrat in Oberflächen- und Grundwasser und als Ammoniak, Stickoxide und Lachgas in die Atmosphäre (UBA 2021b, S. 16). Ein Großteil der verfütterten Energie und Eiweiße geht für die menschliche Ernährung verloren. Nur ein Viertel der Nährstoffe werden in Nahrungsmittel umgewandelt. Der Flächenbedarf für tierischer Nahrungsmittel ist höher als für pflanzliche (UBA 2023d). Nach einer Studie des NABU (2023, S. 3) ersetzen die Erträge von 1 Hektar pflanzlicher Nahrung 2 Hektar Futter, das als Fleisch, Milch oder Eier verzehrt wird. Durch die erhöhte Flächennutzung steigt der Ressourcenbedarf und die Treibhausgasemissionen (UBA 2023d). In Abbildung 3 ist der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

ausgewählter Lebensmittel dargestellt. Dabei haben tierische Produkte einen höheren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als pflanzliche Lebensmittel. Besonders klimaschädlich sind Rindfleisch und verarbeitete Milchprodukte, gefolgt von Hähnchen- und Schweinefleisch (REINHARDT et al. 2020, S. 8 ff.).

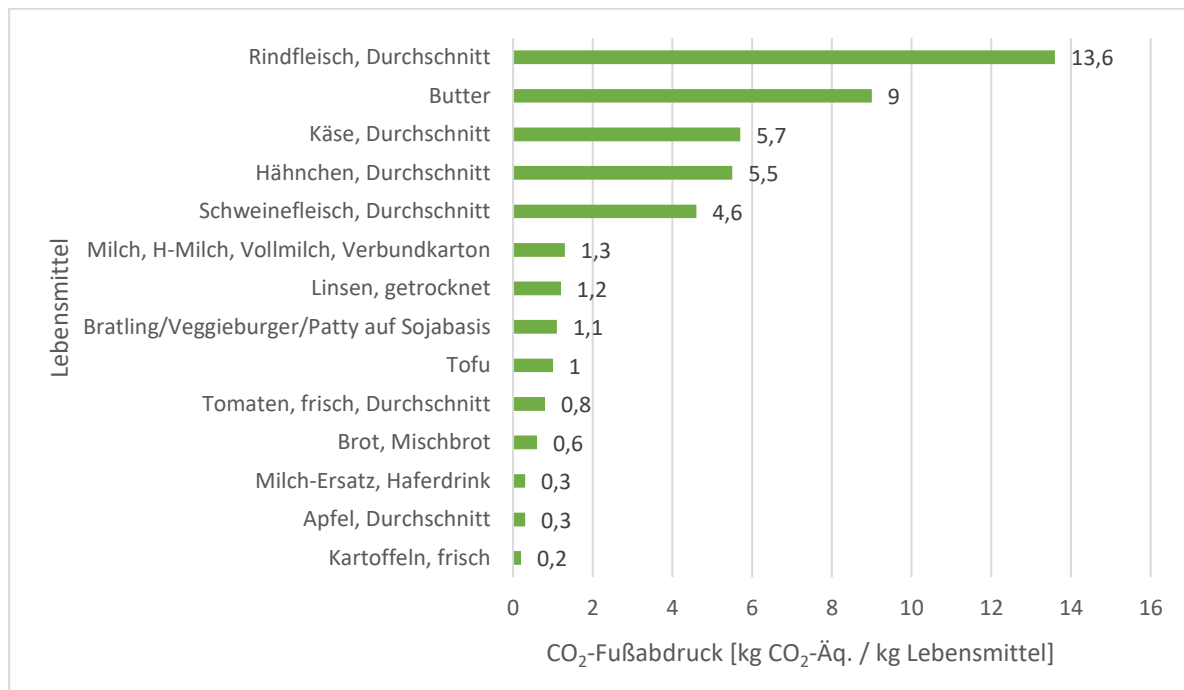


Abbildung 3: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausgewählter Lebensmittel (Eigene Darstellung nach REINHARDT et al. 2020, S. 8 ff.)

Pflanzen benötigen Wasser, Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphat und Kalium sowie Spurenelemente wie Kupfer und Zink zum Wachsen. Diese Stoffe nehmen sie über die Wurzeln aus dem Boden auf. Wichtig ist dabei der Humusgehalt des Bodens. Humus hat eine hohe Wasserspeicherkapazität und ist reich an Nährstoffen. Wenn die Fruchtbarkeit und das landwirtschaftliche Ertragspotential langfristig gesichert sein sollen, muss der Boden die Nährstoffe, die ihm mit der Ernte entzogen werden, zurückerhalten. Mit Düngemitteln kann eine ausreichende Versorgung des Bodens und der auf ihm wachsenden Pflanzen sichergestellt werden (UBA 2022b).

Düngemittel lassen sich in organische und mineralische Düngemittel unterscheiden. Organische Düngemittel sind tierische Ausscheidungen wie Gülle, Stallmist und Jauche sowie Gründüngung, Mulch, organische Reststoffdünger und Kultursubstrate wie kompostierter Bioabfall, Klärschlamm und Gärreste. Synthetische Düngemittel werden durch technische Aufbereitung natürlicher Rohstoffe hergestellt. Ihre Herstellung ist sehr energieaufwendig, was mit einem hohen Ressourcenverbrauch und Treibhausgasemissionen verbunden ist (UBA 2022b).

Im Jahr 2015 düngten über die Hälfte der Betriebe mit flüssigem Wirtschaftsdünger. Am häufigsten wurde mit tierischer Gülle gedüngt (DESTATIS o.J.).

Wenn Pflanzen nicht alle Nährstoffe aus dem Dünger aufnehmen können, gelangt der überschüssige Stickstoff als Nitrat mit dem Sickerwasser ins Grundwasser und in Oberflächengewässer und als Ammoniak und Lachgas in die Luft. Ein übermäßiger Stickstoffeintrag in die Umwelt führt zu Belastungen der Ökosysteme wie Versauerung von Böden und Gewässern sowie Eutrophierung von Wäldern, Mooren und Gewässern. Im Jahr 2021 stammte knapp die Hälfte der Stickstoffzufuhr der Landwirtschaft aus Mineraldüngern, gefolgt vom inländischen Tierfutter und Futterimporten. Das Ziel der Bundesregierung zum Stickstoffüberschuss soll durch die Reduzierung von Mineraldüngern, importierten Futtermitteln und Tierbeständen erreicht werden (UBA 2023d, UBA 2023g).

Einige durch die Landwirtschaft erzeugten Emissionen werden gemäß Anlage 1 des Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) in anderen Sektoren verbucht. Die Emissionen durch Landnutzungen wie der landwirtschaftlichen Nutzung von entwässerten Mooren werden im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) berücksichtigt (Kapitel 2.2 Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)). Weitere durch die Landwirtschaft indirekt verursachte Emissionen entstehen bei der Herstellung von Mineraldüngern und Pestiziden. Diese werden in der Kategorie chemische Industrie berücksichtigt, liegen aber nicht branchen- und produktspezifisch vor, sodass eine Zuordnung zur Dünge- oder Pflanzenschutzmittelproduktion nicht einfach möglich ist. Ebenso werden der Anbau, die Ernte und der Transport von importiertem Kraftfutter für die Fütterung von Nutztieren sowie die durch ihren Anbau entstehenden Emissionen aus direkten und indirekten Landnutzungen in den Erzeugerländern nicht berücksichtigt. Diese Berechnung ist aufwendig und nur mit den Angaben des nationalen deutschen Inventars nicht möglich. Auch die Emissionen im nachgelagerten Bereich (Verarbeitung, Transport und Entsorgung) werden nicht der Landwirtschaft angerechnet (UBA 2023e). Inklusive der Emissionen aus Landnutzung, Herstellung, Vermarktung und Zubereitung ist das Agrar- und Ernährungssystem für etwa ein Viertel der Treibhausgasemissionen Deutschlands verantwortlich (WBAE u. WBW 2016, S. 1).

Mit dem Klimaschutzgesetz wurden 2019 jährliche Emissionszielwerte festgelegt. In der Landwirtschaft müssen die Emissionen inklusive der mobilen und stationären Verbrennungen bis 2030 auf 57,3 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente reduziert werden. Das entspricht einer Reduzierung der 62,7 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente im Jahr 2021 bis 2030 um 5,4 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (Abbildung 4). Dieses Sektorziel soll mithilfe fünf

konkreter Maßnahmen erreicht werden: Erstens mit der Senkung der Stickstoffüberschüsse und Verbesserung der Stickstoffeffizienz. Zweitens mit der Stärkung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und landwirtschaftlicher Reststoffe. Drittens durch den Ausbau des Ökolandbaus. Viertens mit der Verringerung der Emissionen aus der Tierhaltung. Fünftens durch Energieeffizienz in der Landwirtschaft (BUNDESREGIERUNG 2019, S. 102 ff., UBA 2023e). Zentral für das Erreichen der Sektorziele sind gemäß UBA (2023c) die Emissionen aus der Tierhaltung. Berechnungen zeigen, dass das landwirtschaftliche Sektorziel nur erreicht werden kann, wenn die Tierbestände in Deutschland verringert werden (UBA 2023e).

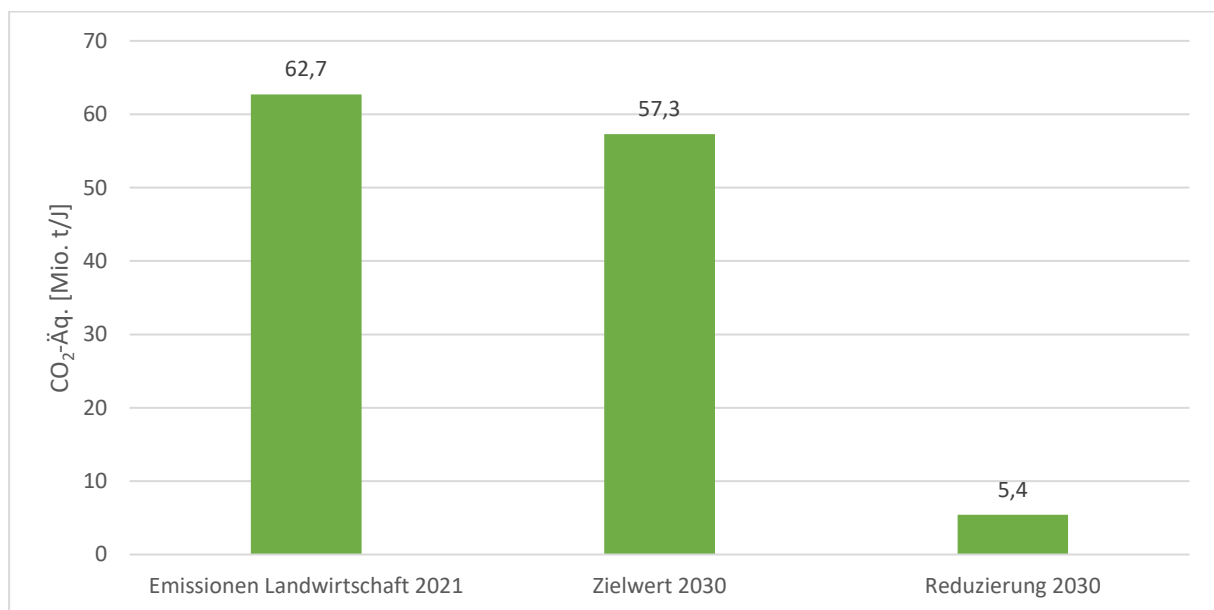


Abbildung 4: Emissionen in der Landwirtschaft 2021 in Relation zu den Klimazielen 2030 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq./J (Eigene Darstellung nach UBA 2023e)

## 2.2 Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

Zum LULUCF-Sektor gehören anthropogen verursachte Treibhausgasemissionen, die durch Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land-Use Change and Forestry) verursacht werden (THÜNEN 2023). Land ist eine Lebensgrundlage für alle Lebewesen. Die Art und Weise, wie die Menschen mit Land umgehen, hat weitreichende, oft negative ökologische Auswirkungen. Der Klimawandel ist unmittelbar mit unserem Umgang mit Land verknüpft. Deshalb hat die Landnutzung in den letzten Jahren in der internationalen Umwelt-, Entwicklungs- und Nachhaltigkeitspolitik an Bedeutung gewonnen (WBGU 2020, S.13).

Die Emissionen werden den Landnutzungskategorien Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen und sonstiges Land zugeordnet. Die Nettobilanzierung ergibt sich aus der Summe der CO<sub>2</sub>-Quellen und der CO<sub>2</sub>-Senken. 2021 betragen die Nettoemissionen des LULUCF-Sektors 4 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente. Die Landnutzungskategorie Wald war die wichtigste Kohlenstoffsenke mit -41,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq pro Jahr. Dem gegenüber stehen die Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen der Landnutzungskategorien Ackerland mit 16 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und Grünland mit 26 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr. Feuchtgebiete emittierten 10,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. pro Jahr (Abbildung 5). Zur Landnutzungskategorie Feuchtgebiete gehören kaum genutzte Mooregebiete, Emissionen aus Torfabbau und aus natürlichen sowie künstlichen Gewässer. Entwässerte Moore kommen in den meisten Landnutzungskategorien vor (THÜNEN 2023, UBA 2023b). Werden die Netto-Emissionen aus der Nutzung und Änderung der Landnutzung auf Acker- und Grünland mit 42 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten aus dem Sektor LULUCF der Landwirtschaft zugerechnet, betragen die Emissionen im Jahr 2021 104,7 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (UBA 2023e).

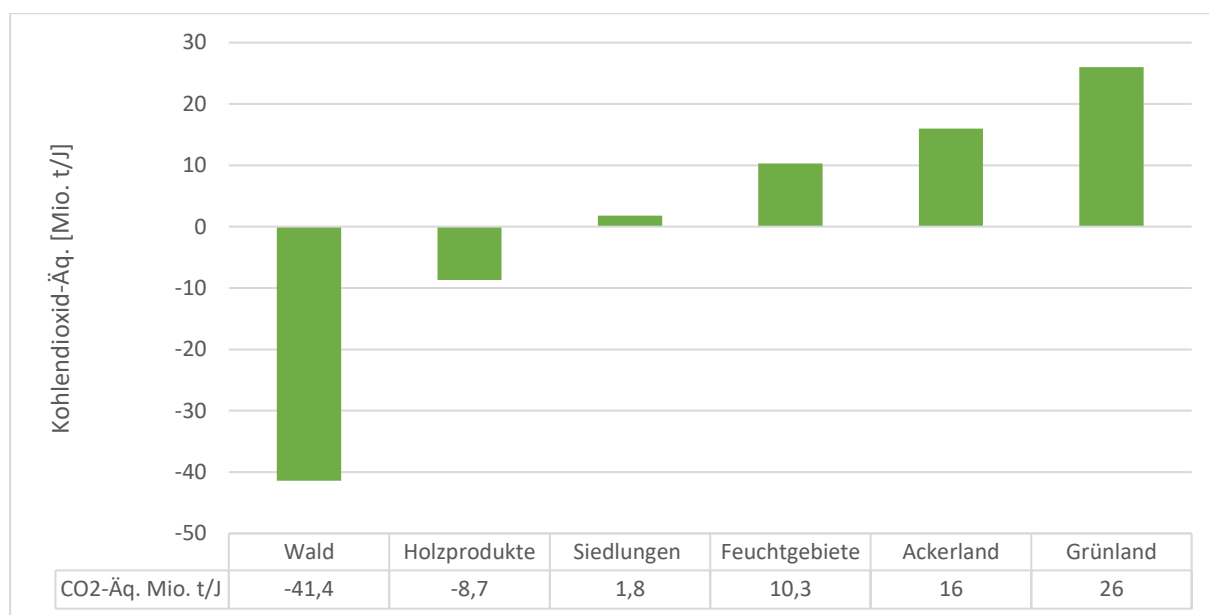


Abbildung 5: Senken und Quellen im Sektor LULUCF 2021 in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq./J (Eigene Darstellung nach UBA 2023b)

Moore spielen eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf und für den Klimaschutz. Sie bestehen aus Torf, der sich aus abgestorbenen Pflanzenteilen bildet und Wasser speichert. In Deutschland gibt es 1,8 Mio. Hektar Moorböden, die insbesondere im Norddeutschen Tiefland und im Alpenvorland liegen. Das entspricht 5 % der deutschen Landfläche. In ihnen ist genauso viel Kohlenstoff gespeichert wie in allen deutschen Wäldern mit einem Flächenanteil von ca.

30 %. Während in anderen Landökosystemen Kohlenstoff nur für eine begrenzte Zeit gespeichert und nach Absterben der Pflanzen wieder freigesetzt wird, können Moore den Kohlenstoff als Torf langfristig speichern. Moorpflanzen nehmen große Mengen an Kohlenstoff auf und speichern ihn im Torf. Intakte Moore sind eine wichtige Kohlenstoffsенke. Werden Moore entwässert, sinkt der Wasserstand und der Torf kommt mit Luft in Berührung. Die organischen Bestandteile zersetzen sich und es gelangen große Mengen des gebundenen Kohlenstoffs als Kohlendioxid in die Atmosphäre. Dabei entstehen je nach Wasserstand und Sauerstoffzufuhr unterschiedliche Treibhausgase. Bei Luftzutritt wird überwiegend Kohlendioxid freigesetzt, und unter Luftabschluss kann auch Methan entstehen. Die EU ist global der zweitgrößte Emittent von Kohlendioxid aus degradierten Mooren. Innerhalb der EU ist Deutschland der größte Emittent. 92 % der Moorböden in Deutschland sind entwässert und verursachen jährlich mit 53 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten einen Anteil von 7,5 % an den deutschen Treibhausgasemissionen. Der Großteil (83 %) dieser Emissionen aus Moorböden resultieren aus landwirtschaftlicher Fläche. Durch die Entwässerung erhöht sich die Tragfähigkeit der Böden, sodass die Flächen beweidet und befahren werden können. 52 % der Moorböden werden als Grünland und 19 % als Ackerland genutzt (Abbildung 6). Als Grünland genutzte Moorböden emittieren jährlich 31,7 Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente je Hektar und Ackerland 40 Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente je Hektar. Durch Wiedervernässung sinken die Emissionen auf 5,5 Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente je Hektar und Jahr (Abbildung 7) (BMUV 2022, S. 5 ff., DESTATIS 2022).

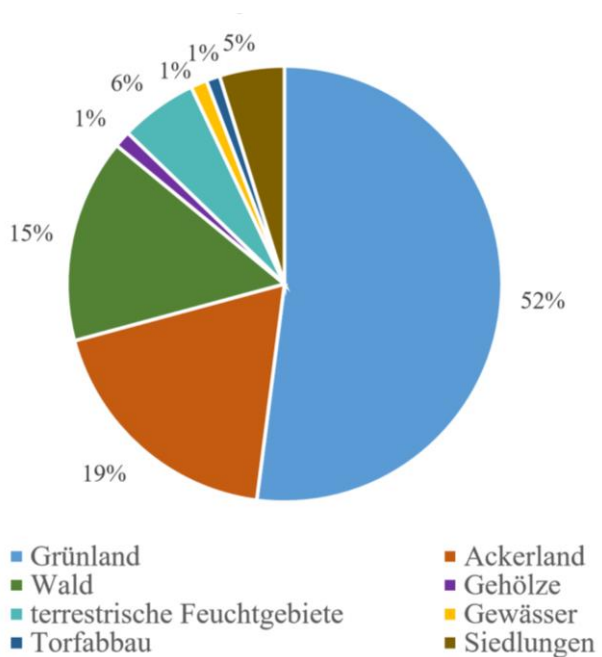


Abbildung 6: Nutzung von Moorböden in Deutschland in % (BMUV 2022, S. 7)



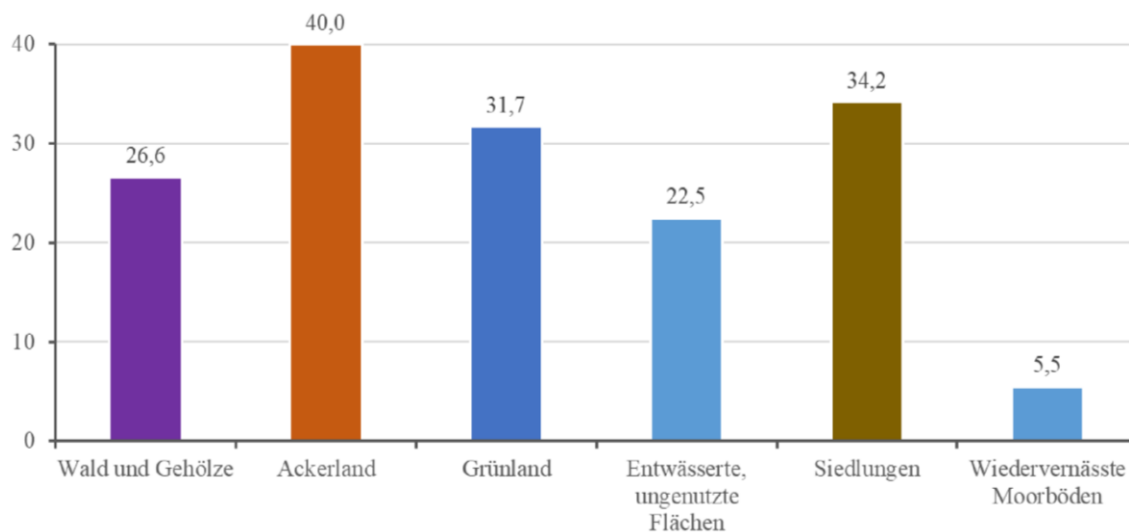


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen aus Moorböden in Deutschland nach Nutzung in t CO<sub>2</sub>-Äq./ha/J (BMUV 2022, S. 11)

Neben Mooren gehören Wälder wegen ihrer großflächigen Ausdehnung und der hohen Kohlenstoffdichte zu den wirksamsten terrestrischen Kohlenstoffsinken (WBAE u. WBW 2016, S. II). In Deutschland gibt es 11,4 Mio. Hektar Wald. Das entspricht einem Drittel der Landfläche (BMEL 2018a, S. 3). Bäume binden beim Wachstum Kohlendioxid aus der Atmosphäre und setzen Sauerstoff frei. Als Beispiel bindet der bayerische Staatswald 11 Tonnen Kohlendioxid pro Hektar und Jahr. Wie viel Wälder genau speichern hängt unter anderem von der Baumart und den Standortbedingungen ab (BAYERISCHE STAATSFORSTEN o.J.). Gegenwärtig sind 1.169 Mio. Tonnen Kohlenstoff in lebenden Bäumen und Totholz gespeichert. In der Streuauflage und dem Mineralboden befindet sich ein Vorrat von weiteren 850 Mio. Tonnen Kohlenstoff (BMEL 2018a, S. 40).

Das Bundes-Klimaschutzgesetz gibt für den LULUCF-Sektor als Beitrag zu den Klimaschutzziele Emissionen von -25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. für 2030, -35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. für 2040 und -40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. für 2045 vor (THÜNEN 2023). Der LULUCF-Sektor stellt als einziger eine Senke dar und kann nicht vermeidbare Emissionen etwa aus der Landwirtschaft und der Industrie kompensieren (UBA 2023j). Folgende Maßnahmen sollen bei der Erreichung der Klimaschutzziele für den Bereich Landnutzung und Landnutzungsänderungen helfen: Erstens der Humuserhalt und -aufbau im Ackerland. Zweitens der Erhalt von Dauergrünland. Drittens der Schutz von Moorböden. Der Humuserhalt und -aufbau im Ackerland führt zur Speicherung von Kohlenstoff, fördert die Bodenfruchtbarkeit, wodurch die Ertragsstabilität des Bodens gesichert wird, und erhöht das Wasserspeichervermögen und die Infiltrationsrate, sodass Pflanzen auch bei

Trockenheit besser mit Wasser versorgt werden. Der Schutz und die Wiedervernässung von Moorböden ist die wichtigste Maßnahme im Bereich Landnutzung (BUNDESREGIERUNG 2019, S. 124 ff., UBA 2023e).

## **2.3 Biozyklisch-vegane Landwirtschaft**

Die heutige Landwirtschaft ist durch eine nicht geschlossene Produktionsweise gekennzeichnet. Ressourcen der Natur werden genutzt, ohne einen Ausgleich zu schaffen. Das Ziel der biozyklischen Idee ist die Erhaltung bzw. Wiederherstellung gesunder Lebenskreisläufe bei der Produktion von Lebensmitteln (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2019, S. 4). Die biozyklisch-vegane Landwirtschaft ist eine Form des ökologischen Landbaus ohne Viehhaltung und ohne Einsatz von Dünge- und weiteren Betriebsmitteln tierischer Herkunft (UBA 2023f). Auch auf synthetische Pflanzenschutz- und Düngemittel wird verzichtet. Dabei handelt es sich nicht um eine spezifische Anbaumethode, sondern um ein Anbauprinzip. Die Umstellung auf die biozyklisch-vegane Bewirtschaftung erfolgt gesamtbetrieblich. Alle ackerbaulichen Maßnahmen müssen das Ziel haben, den Humusgehalt des Bodens zu steigern. Die Erzielung und Erhaltung eines hohen Humusgehalts basiert auf der regelmäßigen Zufuhr organischer Substanz in den Boden durch den Anbau von Leguminosen, das Mulchen und den Einsatz biozyklischer Humuserde. Eine weitere Grundlage des biozyklisch-vegane Anbaus ist die Erhöhung der Biodiversität von Flora und Fauna auf und um die kultivierten Flächen mit Hilfe von Mischkulturen, Untersaaten, weite Fruchtfolgen sowie Schaffung von naturnahen landwirtschaftlich und gartenbaulich nicht genutzten Habitaten z.B. durch das Anlegen von Blühstreifen und Hecken (ADOLF-HOOPS-GESELLSCHAFT MBH 2022, S. 8 ff., FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 5 ff.). Diese Form der Landwirtschaft ermöglicht vielfältige positive Effekte für den Klima-, Umwelt-, Natur- und Tierschutz (UBA 2023f). Außerdem enthalten die Richtlinien umfassende Sozialstandards, die im Umgang mit Mitarbeitenden eingehalten werden müssen (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 9).

Die biozyklisch-vegane Richtlinien wurden seit den 1950er Jahren durch Adolf Hoops in Deutschland im „Bio-Modell Walsrode“ entwickelt und später in Zusammenarbeit mit Dr. agr. Johannes Eisenbach in Griechenland und Zypern an die mediterrane Klimazone angepasst, wo sie heute von einer Vielzahl landwirtschaftlicher Betriebe erfolgreich angewendet werden. Im November 2017 wurden die Biozyklisch-Vegane Richtlinien als erster globaler vegane Öko-

Standard in die „IFOAM Family of Standards“ aufgenommen. Landwirtschaftliche Betriebe, die nach diesen Richtlinien arbeiten, können sich entsprechend zertifizieren lassen und ihre Produkte unter dem biozyklisch-veganen Label vermarkten (Abbildung 8) (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2019, S. 2 f.).

Derzeit gibt es fünf biozyklisch-vegan zertifizierte Betriebe in Deutschland. Weitere Betriebe gibt es in Österreich, Belgien, Schweiz, Niederlanden, England, Frankreich, Italien, Zypern und allen voran in Griechenland. Aber auch in Schweden, Island, Rumänien, Kanada und Kolumbien (BIOCYCLIC VEGAN INTERNATIONAL o.J.). Die mit der Zertifizierung verbundenen Kosten gliedern sich in fixe

Kosten, die sich aus dem Mitgliedsbeitrag, den Systembeitrag und die Erstellung des Zertifikats ergeben, und variable Kosten für die Kontrolle und das Marketing. Ein Ackerbaubetrieb mit 70 Hektar würde im ersten Jahr Gesamtkosten von 1.250 Euro haben (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 43 ff.).

Ein wesentliches Merkmal des biozyklisch-veganen Anbaus ist der Einsatz von reifem Kompost in Substratqualität, der die Voraussetzung für den Aufbau und Erhalt einer dauerhaften Bodenfruchtbarkeit bietet. Der Kompost wird einem Nachreifungsprozess unterzogen, der ihn über die Substratreife hinaus in einen erdigen Zustand überführt, wobei er zu Humuserde wird (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2019, S. 8). Das BMEL (2018b, S. 7) bezeichnet Humus als „[...] die gesamte abgestorbene organische Substanz des Bodens.“ Er besteht größtenteils aus Pflanzenresten sowie ihren Umsetzungsprodukten und aus den Resten, Ausscheidungen und Umwandlungsprodukten der Bodentiere und Mikroorganismen. Dabei macht Kohlenstoff 58 % des Humus aus (BMEL 2018b, S. 7). 1.000 kg Humus sowie 2.127 kg Kohlendioxid enthalten jeweils 580 kg gebunden Kohlenstoff (VHE 2020, S. 6). Humus kann durch die verstärkte Ausbringung auf Ackerflächen wesentliche Mengen an Kohlenstoff in der organischen Substanz des Bodens binden. Dieses Vorgehen birgt das Potential, Ackerland in Kohlendioxid-Senken zu transformieren. Der biozyklisch-vegane Anbau kann somit einen effektiven Beitrag zur Reduktion des Kohlendioxid-Gehalts der Atmosphäre leisten und ein Instrument für die Erreichung der Klimaziele darstellen (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2019, S. 10 f.).

Für den FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU (2020, S. 1) ist Humuserde „[...] eine neuartige, nährstoff- und kohlenstoffstabilisierte Form an organischer Substanz mit hoher Düngewirkung, die in allen Wachstumsstadien der Pflanze eingesetzt werden kann [...]“. Biozyklische



Abbildung 8: Gütesiegel „Biozyklisch-Veganer Anbau“ (Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau 2023, S. 10).

Humuserde kann als Dünger sowie als Substrat bzw. Bodenersatz verwendet werden. Sie ist gekennzeichnet durch eine hohe Nährstoffkonzentration und gleichzeitig ausbleibender Auswaschung der Nährstoffe durch Bewässerung oder Regen (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2020, S. 1). In Humuserde herrscht ein Gleichgewicht zwischen Abbau- und Aufbauorganismen. Dadurch befindet sie sich in einem stabilen Zustand und hat auf die Bodenumgebung einen stabilisierenden Einfluss. Ihre organische Substanz besteht fast ausschließlich aus reinem Humus. Daher ist Humuserde wurzelfreundlich, sodass in ihr auch Jungpflanzen und Sämlinge wachsen können. Halbreifer Kompost, also nicht vollständig verrotteter, kann wurzelschädlich oder auswaschungsgefährdet sein. Damit aus rein pflanzlichem Kompost Humuserde entsteht, bedarf es einer gezielten Rotteführung und einer längeren Nachreifungszeit (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2019, S. 8 f.).

Die Struktur der Kohlenstoffmoleküle scheint Grund für die unterschiedlichen Eigenschaften des reifen Komposts und der biozyklischen Humuserde zu sein. In reifem Kompost sind Ton-Humus-Komplexe für die Rückhaltung von Wasser, Luft und Nährstoffen verantwortlich und verbessern die Bodenfruchtbarkeit auf physikalischem Weg. In Humuserde hingegen bildet der Kohlenstoff anstelle des Tons stabile komplexe Formen amorpher Gitterstrukturen, die als Grund für die vollständige Rückhaltung der Nährstoffe erscheinen und bis zu 80 % der organischen Substanz in biozyklischer Humuserde ausmachen. Die Dichte der Gitter ist so hoch, dass Wassermoleküle nicht einfach in diese Strukturen eindringen können, während kleinere Moleküle wie Säuren von Wurzeln oder Mikroben dazu in der Lage sind. Bei der üblichen Verabreichung von Nährstoffen in Form von in Wasser gelösten Salzen nimmt die Pflanze passiv und damit unselektiert alle im Wasser gelösten Stoffe auf. Die Abwesenheit wasserlöslicher Nährstoffe zwingt Pflanzen ihre natürlichen aktiven Nährstoffabsorptionsmechanismen zu aktivieren. Pflanzen, die in Humuserde wachsen, können Nährstoffe aktiv und damit selektiv aufnehmen und damit genau die Nährstoffe, die den Bedürfnissen des jeweiligen Entwicklungsstadiums entsprechen, absorbieren. Die Pflanze versorgt sich dauerhaft am Optimum, was zu einem ausgeglichenen und kräftigen Wachstum führt. Pflanzen, die in biozyklischer Humuserde wachsen, sind nicht mehr auf wasserlösliche Düngemittel angewiesen (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2020, S. 4).

EISENBACH et al. (2019, S. 47 ff.) untersuchten in einem Feldversuch die Auswirkungen von biozyklischer Humuserde auf den Ertrag und die Qualität der Tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. Der höchste Fruchtertrag von 116,8 t/ha wurde bei der Verwendung von biozyklischer Humuserde erzielt. Die Behandlung mit anorganischem Dünger führte zu 80,6 t/ha und der

Kontrollbereich ohne Dünger erzielte 63 t/ha (Abbildung 9). Hinsichtlich der Qualitätsparameter gab es keine Unterschiede. Der Gesamtertrag der Tomatenpflanze, die auf biozyklischer Humuserde angebaut wurden, war um 45 % höher als die konventionellen Erträge. Die ausgebrachte Menge Humuserde kann für den folgenden Anbau wiederverwendet werden. Auch der Versuch mit Süßkartoffeln von EISENBACH et al. (2018, S. 210 ff.) zeigt einen höheren Ertrag bei der Nutzung biozyklischer Humuserde.

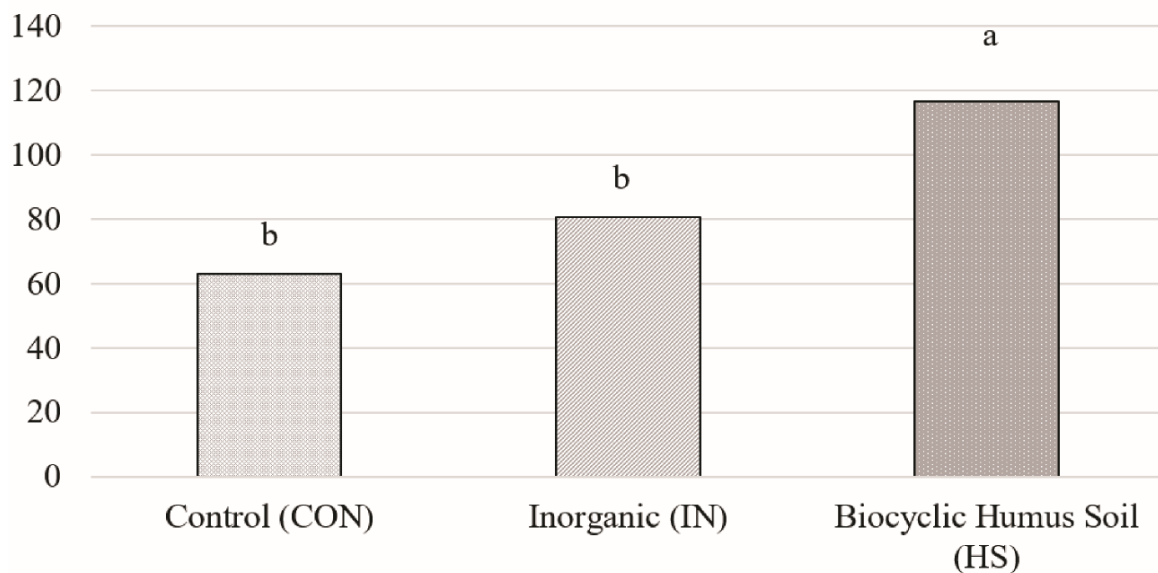


Abbildung 9: Fruit yield of processing tomato (t/ha) as affected by fertilization (EISENBACH et al. 2019, S. 50)

Die durch wegfallende Nutztierhaltung freigewordenen Flächen können idealerweise je nach Standortbedingungen aufgeforstet, wiedervernässt oder als Dauergrünland zur Biomasseproduktion für die Düngung verwendet werden (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU o.J.). Dauergrünland hat in der biozyklisch-veganen Landwirtschaft einen wichtigen Platz und sollte erhalten bleiben. Die Flächen sind wertvolle Ökotope für Tier- und Pflanzenarten und Kohlendioxid-Speicher (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 32). Ackerböden binden in den obersten 90 cm durchschnittlich etwa 95 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar, während Dauergrünland im Schnitt 181 Tonnen pro Hektar speichern (BZL 2023b). Dauergrünland kann nicht nur durch Beweidung bewirtschaftet werden, sondern auch gemäht und die Mahd als Mulch ausgebracht oder zur Gewinnung biozyklischer Humuserde verwendet werden. Mit Hilfe moderner Pelletierungsverfahren lässt sich ressourcenschonend ein interregionaler Ausgleich zwischen Gebieten mit absolutem Grünland, in denen Garten- und Ackerbau nicht möglich sind, und intensiven Anbauregionen mit erhöhtem Nährstoffbedarf realisieren (FÖRDERKREIS

BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU o.J.). Das Schließen von Kreisläufen muss nicht ausschließlich innerhalb des eigenen Betriebs erfolgen, sondern kann auch auf anderen Ebenen stattfinden (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 17).

Durch den Einsatz von biozyklischer Humuserde können außerdem anfallende Reststoffe oder andere Abfälle pflanzlicher Herkunft über eine Kompostierung in den landwirtschaftlichen Nährstoffkreislauf integriert werden (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2019, S. 15). Die massenhafte Produktion von Humuserde durch kommerzielle Kompostanlagen kann an betriebswirtschaftliche Grenzen stoßen, weil die Veredelungsphase von reifem Qualitätskompost zu Humuserde bis zu fünf Jahre dauern kann. Hier soll der Biozyklische Humuserde-Fond ansetzen und Finanzierungsmodelle ausgearbeitet werden. Die Erbringung einer Veredelungsdienstleistung kann neue, zusätzliche Einkommensquellen erschließen (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 19 f.).

### 3. Methode und Material

Das methodische Vorgehen, um die Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten, besteht aus einer Literaturrecherche mit anschließender quantitativer Berechnung des Treibhausgas-minderungspotentials der biozyklisch-veganen Landwirtschaft. Dieses Treibhausgasminde-rungspotential wird auf Grundlage vorhandener Daten zu den Treibhausgasemissionen und Flächennutzungen des Sektors Landwirtschaft sowie des Sektors Landnutzung, Landnutzungs-änderung und Forstwirtschaft berechnet.

Mit einer Literaturrecherche werden zu Beginn alle benötigten Daten zu Treibhausgasen, Landwirtschaft, Landnutzung sowie der biozyklisch-veganen Landwirtschaft zusammengetra-gen. Die Daten zu Treibhausgasemissionen und dem bestehenden Agrarsystem werden über-wiegend online vom Umweltbundesamt, dem Statistischen Bundesamt, verschiedenen Mini-sterien, Wissenschaftlichen Beiräten und anderen öffentlichen sowie wissenschaftlichen Insti-tutionen zur Verfügung gestellt. Für die Theorie der biozyklisch-veganen Landwirtschaft wird auf Veröffentlichungen des Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau e.V. als auch des Umwelt-bundesamts zurückgegriffen. Zurzeit gibt es erst wenige wissenschaftliche Studien zu dieser Form der Landwirtschaft.

Auf Grundlage der Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft und im Sektor Landnut-zung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft wird berechnet, wie viele Treibhausgas-äquivalente die biozyklisch-vegane Landwirtschaft einsparen kann, wenn sie 10 %, 30 % oder 100 % der landwirtschaftlichen Fläche Deutschlands bewirtschaftet. Die Anteile von 10 % und 30 % orientieren sich an den Zahlen der ökologischen Landwirtschaft, die derzeit rund 10 % der landwirtschaftlichen Fläche ausmacht und deren Anteil auf 30 % gesteigert werden soll. Der Anteil von 100 % zeigt das maximale Treibhausgasminderungspotential bei Sicherstellung der Versorgung der deutschen Bevölkerung auf. Dabei wird zuerst das Treibhausgasminde-rungspotential bei einem Anteil von 100 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft an der deut-schen Landwirtschaft untersucht und davon das Treibhausgasminderungspotential bei einem Anteil von 30 % und 10 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft abgeleitet.

Die Berechnung des Treibhausgasminderungspotentials erfolgt anhand von vier Kategorien, die die klimaschonenden Hauptmerkmale der biozyklisch-veganen Landwirtschaft darstellen: Erstens der Wegfall der Verdauung von Nutztieren. Hier können direkt die Emissionen durch die Verdauung von Nutztieren aus dem Sektor Landwirtschaft als Treibhausgasminderungspo-tential übernommen werden. Zweitens der wegfallende Futteranbau. Dafür wird der Anteil

der Fläche für den Futteranbau an den Emissionen des landwirtschaftlichen Bodens und der Düngung berechnet. Die Düngung setzt sich aus den Kategorien Düngewirtschaft, Harnstoffanwendung und andere kohlenstoffhaltige Düngemittel des Sektors Landwirtschaft zusammen. Dabei wird auch berücksichtigt, dass bei wegfallenden tierischen Produkten mehr pflanzliche Nahrungsmittel benötigt werden. Drittens die Düngung. Hier wird das Treibhausgasminderungspotential aus der restlichen Düngung und der Anteil der verringerten Fläche durch erhöhten Ertrag beim Einsatz biozyklischer Humuserde an den Emissionen des landwirtschaftlichen Bodens berechnet. Viertens die Landnutzungsänderungen auf frei werdenden Flächen durch Aufforstung und Wiedervernässung. Dafür wird berechnet, wie viel Hektar Grünland und Ackerland durch wegfallenden Futteranbau und erhöhten Ertrag frei werden. Daraufhin wird das Treibhausgasminderungspotential durch Wiedervernässung aller landwirtschaftlich genutzter Moore und durch Aufforstung des restlichen Ackerlands berechnet. Anschließend werden die Ergebnisse in Relation zu den Emissionen sowie den Klimazielen des Landwirtschaftssektors und des LULUCF-Sektors gesetzt. Dabei wird auch berechnet, bei welchem Anteil der biozyklisch-veganen Landwirtschaft die Klimaziele erreicht werden können.

In dieser Arbeit wird mit den Daten aus dem Jahr 2021 gearbeitet. Die Daten für den Landwirtschaftssektor sind auch für 2022 und teilweise 2023 vorhanden. Allerdings hat das UBA (2023b) die Schätzungen des LULUCF-Sektors für 2022 als unsicher eingestuft und betrachtet nur die Daten für 2021. Damit die Ergebnisse der beiden Sektoren vergleichbar sind, werden alle Daten aus dem gleichen Jahr gewählt. Die Ergebnisse werden ebenso wie die Zahlen aus der Literatur auf eine Nachkommastelle gerundet. Angesichts des begrenzten Umfangs dieser Arbeit und der Komplexität dieses Vorhabens müssen bei der Berechnung Vereinfachungen und Annahmen getroffen werden. Außerdem können einige Aspekte aufgrund zu weniger Daten über den biozyklisch-veganen Anbau nicht in die Berechnung einbezogen werden. Diese Grenzen werden in der Diskussion genauer dargestellt und reflektiert.



## 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse des Treibhausgasminderungspotentials der biozyklisch-veganen Landwirtschaft werden in die Bereiche Tierhaltung, Düngung und Landnutzungsänderung unterteilt. Die Emissionen im Bereich Tierhaltung werden weiter kategorisiert in direkte Emissionen, verursacht durch die Verdauung der Nutztiere, und indirekte Emissionen, verursacht durch den Futteranbau.

Bei einem Anteil der biozyklisch-veganen Landwirtschaft von 100 % an der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland fallen alle Treibhausgasemissionen durch die Verdauung der Nutztiere weg. Das Treibhausgasminderungspotential durch die Verdauung der Nutztiere beträgt 26,1 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente pro Jahr (Anhang 2.1) (Tabelle 1).

Hinzu kommen die indirekten Emissionen aus dem Tierfutteranbau (Anhang 2.2). Wenn kein Nutztierfutter in Deutschland angebaut wird, werden 10 Mio. Hektar landwirtschaftliche Fläche frei (A 2.2.1). Davon sind 5,3 Mio. Hektar Ackerland und 4,7 Mio. Hektar Grünland (A 2.2.2). Das Treibhausgasminderungspotential des wegfallenden Futteranbaus durch die geringere Bewirtschaftung des landwirtschaftlichen Bodens und der Düngung dieser Flächen beträgt 15,9 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (A 2.2.3-6). Durch die wegfallenden Kalorien der tierischen Produkte muss wiederum mehr pflanzliche Nahrung angebaut werden. 5 Mio. Hektar Acker kommen wieder hinzu, sodass durch den wegfallenden Futterbau letztendlich 5 Mio. Hektar Fläche frei werden und 11,6 Mio. Hektar zur Bewirtschaftung übrig bleiben (A 2.2.7-8). Das Treibhausgasminderungspotential durch den wegfallenden Tierfutteranbau beträgt abzüglich des Mehraufwands für pflanzliche Lebensmittel 8 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (A 2.2.9-11) (Tabelle 1). Folglich beträgt das Treibhausgasminderungspotential der Tierhaltung inklusive Futteranbau 42 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente bzw. abzüglich der Emissionen für mehr pflanzliche Nahrungsmittel 34,1 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (A 2.2.12-13). Das entspricht 67 % bzw. 54,4 % der landwirtschaftlichen Emissionen (A 2.2.14-15).

Werden 100 % der landwirtschaftlichen Fläche biozyklisch-vegan gedüngt (Anhang 2.3), fallen auch die übrigen Emissionen aus der Düngung mit 6,9 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente weg (A 2.3.1). Unter der Annahme, dass die Betriebe mit biozyklischer Humuserde düngen und sich dadurch der Ertrag um 45 % erhöht, werden nur noch 8 Mio. Hektar landwirtschaftliche Fläche gebraucht (A 2.3.2-3). Folglich werden 3,6 Mio. ha durch den höheren Ertrag der biozyklischen Humuserde frei (A 2.3.4), und es können durch die Verringerung der

Bewirtschaftung des landwirtschaftlichen Bodens 3,6 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente pro Jahr eingespart werden (A 2.3.5-6). Das Treibhausgasreduzierungspotential der biozyklisch-vegetarischen Düngung beträgt folglich 10,5 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (A 2.3.7.). Insgesamt beträgt das Treibhausgasreduzierungspotential im Sektor Landwirtschaft 44,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (A 2.3.8.) (Tabelle 1). Das entspricht 71,1 % der landwirtschaftlichen Emissionen (A 2.3.9) (Abbildung 10).

Bei 100 % biozyklisch-vegetarischer Landwirtschaft können auf den frei werdenden Flächen Landnutzungsänderungen wie Wiedervernässung und Aufforstung Kohlenstoff binden (Anhang 2.4). Insgesamt werden 8,6 Mio. Hektar landwirtschaftlicher Fläche frei (A 2.4.1), davon 4,7 Mio. Hektar Grünland (A 2.4.2) und 3,9 Mio. Hektar Acker (A 2.4.3). Werden die für landwirtschaftliche Nutzung entwässerten 1,2 Mio. Hektar Moorböden wiedervernässt, können für 0,9 Mio. Hektar Grünland 23,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und für 0,3 Mio. Hektar Ackerland 10,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. eingespart werden (A 2.4.5-10). Das Treibhausgasreduzierungspotential durch Wiedervernässung beträgt folglich 34 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (A 2.4.11). Wird der Rest des Grünlands mit 3,8 Mio. Hektar (A 2.4.12) beibehalten und der Rest des Ackerlands mit 3,6 Mio. Hektar (A 2.4.13) aufgeforstet, können 39,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (A 2.4.14) durch Aufforstung gebunden werden. Das Treibhausgasreduzierungspotential des LULUCF-Sektors beträgt 73,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (A 2.4.15) (Tabelle 1).

Insgesamt beträgt das Treibhausgasreduzierungspotential bei einem Anteil der biozyklisch-vegetarischer Landwirtschaft von 100 % an der Landwirtschaft Deutschlands 118,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq (A 2.4.16) (Tabelle 1).

Bei einem Anteil von 30 % biozyklisch-vegetarischer Landwirtschaft an der deutschen Landwirtschaft (Anhang 3) können 7,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. durch die geringere Verdauung von Nutztieren, 2,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. durch verminderten Futteranbau und 3,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bei der Düngung eingespart werden. Das Treibhausgasreduzierungspotential des Landwirtschaftssektors beträgt bei einem Anteil von 30 % biozyklisch-vegetarischer Landwirtschaft 13,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und damit 21,4 % der Emissionen durch die Landwirtschaft (Abbildung 10). Durch eine Wiedervernässung von 30 % der landwirtschaftlich genutzten Moore lassen sich 10,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und durch Aufforstung 11,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. einsparen bzw. binden. Das Treibhausgasreduzierungspotential des LULUCF-Sektors beträgt folglich 22,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Insgesamt beträgt das Treibhausgasreduzierungspotential durch einen Anteil biozyklisch-vegetarischer Landwirtschaft von 30 % an der Landwirtschaft Deutschlands 35,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Tabelle 1).

Macht die biozyklisch-vegane Landwirtschaft einen Anteil von 10 % an der landwirtschaftlichen Fläche aus (Anhang 4) können 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. durch die verminderte Verdauung der Nutztiere, 0,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. durch geringeren Futteranbau und 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bei der Düngung eingespart werden. Das Treibhausgasreduzierungs-potential im Landwirtschaftssektor beträgt 4,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Das entspricht 7,2 % der landwirtschaftlichen Emissionen (Abbildung 10). Bei einer Wiedervernässung von 10 % der landwirtschaftlich genutzten Moore könne die Emissionen um 3,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bei einer Aufforstung von Ackerland um 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. gemindert werden. Inklusiv des Einsparungspotentials durch Landnutzungsänderungen von insgesamt 7,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. ergibt sich durch einen Anteil von 10 % biozyklisch-vegane Landwirtschaft an der deutschen Landwirtschaft ein Treibhausgasreduzierungs-potential von 11,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. (Tabelle 1).

Es entfallen jeweils 58,5 % des Treibhausgasreduzierungs-potentials im Landwirtschaftssektor auf die Verdauung der Nutztiere, 17,9 % auf den Futteranbau und 23,5 % auf die Düngung sowie 46,2 % des Treibhausgasreduzierungs-potentials im Sektor LULUCF auf die Wiedervernässung und 53,8 % auf die Aufforstung (Anhang 5).

Die Klimaziele des Landwirtschaftssektors, die Emissionen bis 2030 um 8,6 % auf 57,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. zu reduzieren, können durch einen Anteil von 12,1 % biozyklisch-vegane Landwirtschaft erreicht werden. Die Ziele des LULUCF-Sektors von -25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 werden ab 39,4 % biozyklisch-vegane Landwirtschaft erreicht (Anhang 6).

Tabelle 1: Treibhausgasreduzierungs-potential der biozyklisch-vegane Landwirtschaft in Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq./J. (Eigene Darstellung)

<b>Treibhausgasreduzierungs-potential</b>	<b>100 % bioz.-v. LW</b> [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq./J]	<b>30 % bioz.-v. LW</b> [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq./J]	<b>10 % bioz.-v. LW</b> [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq./J]
Verdauung Nutztiere	26,1	7,8	2,6
Futteranbau	8,0	2,4	0,8
Düngung	10,5	3,2	1,1
<b>Σ Landwirtschaft</b>	<b>44,6</b>	<b>13,4</b>	<b>4,5</b>
Wiedervernässung	34,0	10,2	3,4
Aufforstung	39,6	11,9	4,0
<b>Σ Landnutzungsänderung</b>	<b>73,6</b>	<b>22,1</b>	<b>7,4</b>
<b>Σ Gesamt</b>	<b>118,2</b>	<b>35,5</b>	<b>11,9</b>

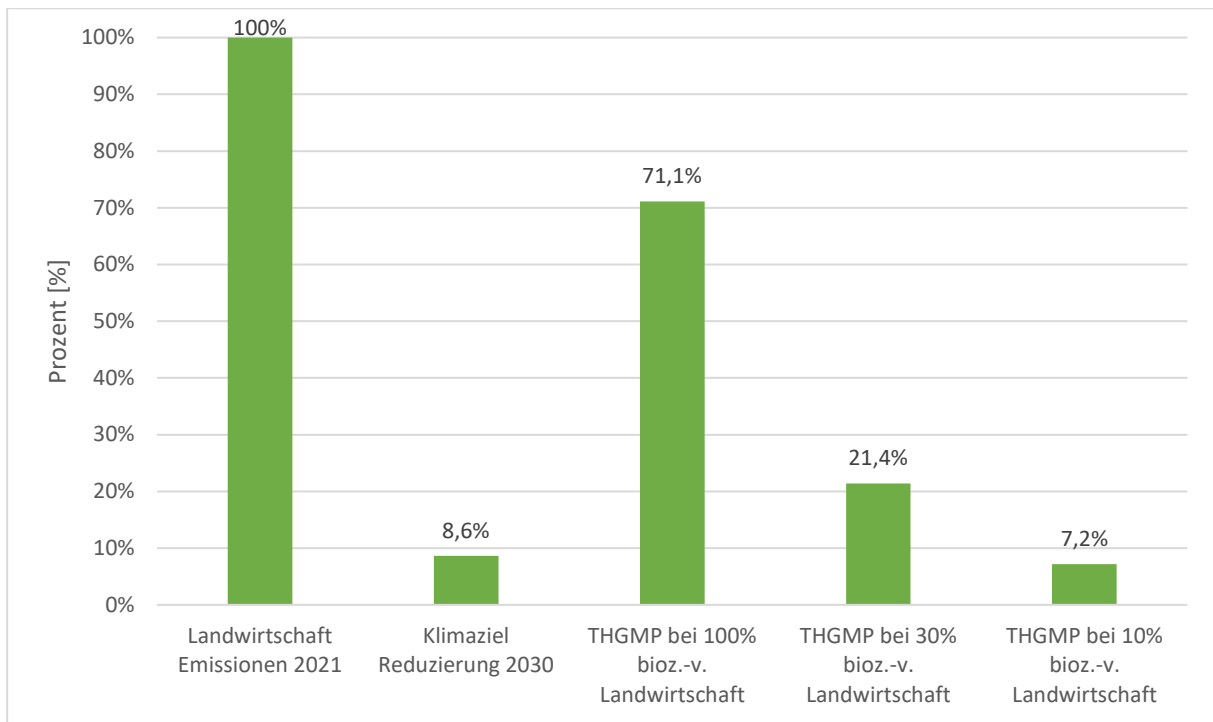


Abbildung 10: Anteil des Treibhausgasminderungspotentials der biozyklisch-veganen Landwirtschaft an den Emissionen im Sektor Landwirtschaft in Relation zu den Klimazielen 2030 (Eigene Darstellung)

## 5. Diskussion

Das Treibhausgasminderungspotential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft beträgt bei einem Anteil von 100 % an der deutschen Landwirtschaft im Sektor Landwirtschaft 44,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und im Sektor LULUCF 73,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., bei einem Anteil von 30 % 13,4 bzw. 22,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bei 10 % 4,5 bzw. 7,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dabei sind 58,5 % des Treibhausgasminderungspotentials im Landwirtschaftssektor auf die Verdauung der Nutztiere, 17,9 % auf den Futteranbau und 23,5 % auf die Düngung sowie 46,2 % des Treibhausgasminderungspotentials im Sektor LULUCF auf die Wiedervernässung und 53,8 % auf die Aufforstung zurückzuführen. Das gesamte Treibhausgasminderungspotential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft beträgt bei einem Anteil von 100 % an der deutschen Landwirtschaft 118,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq., bei 30 % 35,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bei 10 % 11,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Die Klimaziele des Landwirtschaftssektors können durch einen Anteil von 12,1 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft erreicht werden und die Ziele des LULUCF-Sektors ab 39,4 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft. Aufgrund des in der Theorie dargestellten großen Anteils der Tierhaltung inkl. Flächenverbrauch für Tierfutter an den Emissionen der Landwirtschaft und Landnutzung und des Verzichts der biozyklisch-veganen Landwirtschaft auf Nutztiere und tierische Produkte war ein relativ großes Treibhausgasminderungspotential im Verhältnis zu den Emissionen der Landwirtschaft und LULUCFs zu erwarten.

### 5.1 Methode und Material

Das Treibhausgasminderungspotential beruht auf den Zahlen des Jahres 2021 und zeigt, wie viele Kohlendioxid-Äquivalente im Jahr 2021 bei 100 %, 30 % sowie 10 % Anteil der biozyklisch-veganen Landwirtschaft am Agrarsystem hätten eingespart werden können. Der Anteil biozyklisch-veganer Betriebe ist aber noch sehr gering und es wird auch bei sofortigen Bestrebungen dauern, bis die Betriebe umgestellt und zertifiziert sind. Bis ein Anteil von 10 %, 30 % oder sogar 100 % erreicht wäre, haben sich die Daten zu Treibhausgasemissionen und Landnutzung vermutlich verändert und dementsprechend auch das Treibhausgasminderungspotential.

Des Weiteren wurde das Treibhausgasminderungspotential nur für die Emissionsquellen Tierhaltung, Futteranbau und Düngung des Landwirtschaftssektors und für ein potentielles Landnutzungsänderungsszenario des LULUCF-Sektors berechnet. Durch die unterschiedliche

Bewirtschaftungsweise der konventionellen und biozyklisch-veganen Landwirtschaft kann es auch zu Änderung innerhalb der anderen Emissionsquellen der Landwirtschaft kommen. Beispielsweise können sich die Emissionen in der Kategorie stationäre und mobile Feuerungen verringern, weil weniger Ställe beheizt werden. Das Treibhausgasminderungspotential des LULUCF-Sektors beruht auf einer Annahme zu einem Landnutzungsszenario. Weitere Treibhausgasminderungspotentiale lassen sich auch in den anderen Sektoren finden. Emissionen durch Herstellung von Mineraldünger und Pestiziden, die in der chemischen Industrie bilanziert werden, oder Emissionen durch Verarbeitung, Transport und Entsorgung könnten ebenfalls vermindert werden. Aus den Berechnungen ergeben sich Durchschnittswerte für ganz Deutschland. Auf lokaler Ebene wird es je nach der ursprünglichen Bewirtschaftungsweise der Betriebe und des Standorts zu Abweichungen kommen. Zum Beispiel kann ein ökologisch wirtschaftender Betrieb ohne Nutztiere ein geringeres Treibhausgasminderungspotential haben als ein konventioneller Betrieb mit vielen Nutztieren, weil der ökologische Betrieb schon weniger Treibhausgase ausstößt.

Die Literatur des Umweltbundesamts, des Statistischen Bundesamts, der Ministerien, der Wissenschaftlichen Beiräte und anderen wissenschaftlichen Institutionen macht den Großteil der Daten aus und ist als sicher einzustufen. Das Umweltbundesamt veröffentlicht unter anderem die Emissionsübersichten nach den Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes. Einige Daten sind Durchschnittswerte, wie die Kohlenstofffestlegung des Waldes und der Moore, die je nach realen Gegebenheiten variieren. Zur biozyklisch-veganen Landwirtschaft sind erst wenige Studien veröffentlicht, aber für die Grundlagen und Richtlinien zu den Anbauprinzipien bietet der Förderkreis Biozyklisch-Veganer Anbau e.V. eine zuverlässige Anlaufstelle.

Folglich stellt diese Berechnung ein theoretisches Szenario dar, um das Potential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft bezüglich Treibhausgasminderungen für ganz Deutschland aufzuzeigen. Aufgrund der Rundung auf eine Nachkommastelle kann es zu Rundungsfehlern kommen.

## **5.2 Tierhaltung und Futteranbau**

Die biozyklisch-vegane Landwirtschaft kann durch ihre viehlose Bewirtschaftung zu einer Verringerung der Tierbestände und damit der Emissionen aus der Tierhaltung führen. Die gesamte Abschaffung der Nutztiere in Deutschland, wie es bei 100 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft der Fall wäre, ist derzeit unrealistisch. In Deutschland nimmt der Fleischkonsum

zwar ab, aber Fleisch hat einen festen Platz in der Ernährung und eine Reihe von Verbrauchenden weisen ein sehr hohes Verzehriveau auf (WBA 2015, S. 86). Aufgrund des hohen Anteils der Tierhaltung an den landwirtschaftlichen Emissionen bietet die Verringerung der Tierbestände das höchste Treibhausgasreduzierungspotential im Sektor Landwirtschaft. Auch das UBA (2023c) sieht die Verringerung der Tierbestände zur Erreichung der Sektorziele als zentral an. Hier tragen neben den Landwirten und Landwirtinnen die Konsumierenden Verantwortung. Die Verringerung der Tierbestände muss in Kombination mit einer Transformation des Ernährungs- und Konsumverhaltens erfolgen, weil es ansonsten zu Verlagerungseffekten kommt. Die Produktionsmenge tierischer Produkte kann nur sinken, wenn sich das Konsumverhalten ändert (UBA 2021c, S. 34). Wird für die Nachfrage stattdessen importiert, verlagern sich die Emissionen ins Ausland. Da der Klimawandel ein globales Problem ist, kann das nicht die Lösung sein. Konsumveränderungen spielen folglich für die Erreichung der Klimaschutzziele eine große Rolle. Im Vordergrund des ernährungsbezogenen Klimaschutzes steht die Verlagerung des Konsums auf klimafreundlichere Lebensmittel (WBAE u. WBW 2016, S. IV). Dazu gehören mehr pflanzliche Lebensmittel, die überwiegend einen geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aufweisen als tierische Produkte. Allerdings sind auch Aspekte wie Regionalität, Saisonalität, Verpackung und Verschwendung von Lebensmitteln im Hinblick auf Klimaschutz wichtig, die aber nicht Inhalt dieser Arbeit sind.

Ein Hindernis stellen Vorurteile gegenüber klimaschonenden Ernährungsformen dar. Nach einer Studie von BERKE u. LARSON (2023) sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass Mahlzeiten ausgewählt werden, wenn sie als vegan oder vegetarisch gekennzeichnete sind. Es besteht Handlungsbedarf, die Gesellschaft über Vorteile einer Reduktion tierischer Produkte zu informieren, damit es zu Konsumveränderungen kommt. Mit Hilfe von Informationskampagnen und auch besseren Angeboten in öffentlichen Einrichtungen kann das Konsumverhalten gelenkt werden. Eine weitere Möglichkeit stellen finanzielle Anreize dar. Lebensmittelpreise könnten die realen Umweltkosten und den jeweiligen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck widerspiegeln. Durch eine Aufhebung der reduzierten Mehrwertsteuer für tierische Produkte und einer reduzierten Steuer für pflanzliche Lebensmittel kann versucht werden, die Nachfrage zu verringern bzw. zu erhöhen. Inwiefern das sozial gerecht ist, bleibt eine andere Frage (WBAE u. WBW 2016, S. 217). Nach dem WBAE und WBW (2016, S. 217) wäre aufgrund des großen Einsparungspotentials und der ambitionierten Klimaziele ein Lenkungsingriff durch eine Anpassung des Mehrwertsteuersatzes für tierische Produkte gerechtfertigt. Hier ergibt sich weiterer Forschungsbedarf,

wie ein notwendiges klimaschonendes Konsumverhalten in der deutschen Gesellschaft gefördert und umgesetzt werden kann.

Angesichts der viehlosen Bewirtschaftung der biozyklisch-veganen Landwirtschaft wird auch kein bzw. weniger Futtermittel benötigt. Daraus ergibt sich ein Treibhausgasminderungspotential durch den geringeren Flächenbedarf und der folglich verringerten Bewirtschaftung landwirtschaftlichen Bodens und der geringeren Düngung. Werden weniger tierische Produkte verzehrt, werden wiederum mehr pflanzliche Lebensmittel zur Ernährung benötigt. Die Annahme, dass die Erträge von 1 Hektar pflanzlicher Nahrung 2 Hektar Futter ersetzen (NABU 2023, S. 3) beruht auf nur einer Studie und kann je Situation und Standortbedingungen variieren. Außerdem wurden bei der Berechnung des Treibhausgasminderungspotentials durch den Futteranbau nur die inländischen Emissionen berücksichtigt, weil es in dieser Arbeit nur um das Treibhausgasminderungspotential in Deutschland geht. Dazu zählt auch der Anbau von Futtermitteln, die exportiert werden. Nicht berücksichtigt wurden die Emissionen von importierten Futtermitteln aus dem Ausland, weil diese nicht als deutsche Emissionen bilanziert werden. Infolgedessen gibt es ein weiteres Treibhausgasminderungspotential über die Ergebnisse dieser Arbeit hinaus beim Anbau und Transport importierter Futtermittel. Außerdem kommt ein Großteil des importierten Sojas aus Brasilien (DESTATIS 2023b) und ist mitverantwortlich für die Emissionen aus der Abholzung des Regenwaldes. Die im Ausland hervorrufbaren Landnutzungsänderungen durch eine geringere Nachfrage nach Tierfutter können dort zu weiteren Treibhausgasminderungen führen. Das frei werdende Grünland kann durch natürliche Sukzession oder Aufforstung mehr Kohlenstoff speichern und damit förderlich für den Klimaschutz werden (WBAE u. WBW 2016, S. 218).

### **5.3 Düngung**

Bei der Berechnung des Treibhausgasminderungspotentials der biozyklisch-veganen Düngung wurde nur der Wegfall der Emissionen in den Kategorien Düngewirtschaft, Harnstoffanwendung und andere kohlenstoffhaltige Düngemittel sowie der höhere Ertrag durch biozyklische Humuserde beachtet. Nicht mit einbezogen wurden die Emissionen der verschiedenen biozyklisch-veganen Düngemethoden und das Treibhausgasminderungspotential durch die Kohlenstoffspeicherung der biozyklischen Humuserde. Da es sich bei der biozyklisch-veganen Landwirtschaft um ein Anbauprinzip handelt und die Zufuhr organischer Substanz in den Boden durch unterschiedliche Maßnahmen geschieht, geht jeder Betrieb anders vor. Zudem gibt



es wenig Forschung zu den Emissionen dieser Maßnahmen. Anzunehmen ist, dass aufgrund der rein pflanzlichen Düngung und des angestrebten Kreislaufs in der biozyklisch-veganen Landwirtschaft, die Emissionen der biozyklisch-veganen Düngemaßnahmen gering sind. Aufgrund des hohen, aber nicht genau bekannten Anteil tierischer Düngemittel sowie der nicht bekannten Emissionen der biozyklisch-veganen Düngung wurde für die Berechnung die Annahme getroffen, dass die Emissionen aus den Kategorien Düngerwirtschaft, Harnstoffanwendung und andere kohlenstoffhaltige Düngemittel des bestehenden Agrarsystems wegfallen. Die Kalkung wird hier nicht berücksichtigt, weil Kalk in der biozyklisch-veganen Landwirtschaft als Hilfsstoff zur landwirtschaftlichen Produktion erlaubt ist (ADOLF-HOOPS-GESELLSCHAFT MBH 2022, S. 67 f.).

Dem Treibhausgasminderungspotential der biozyklischen Humuserde durch erhöhten Ertrag liegt der bei Tomaten festgestellte höhere Ertrag zugrunde. Inwiefern sich der Ertrag allerdings bei anderen Anbauprodukten oder unter anderen Standortbedingungen verändert, ist noch nicht untersucht. Aufgrund des höheren Ertrags ist das berechnete Treibhausgasminderungspotential größer als die Gesamtemissionen der Kategorien Düngerwirtschaft, Harnstoffanwendung und andere kohlenstoffhaltige Düngemittel im Sektor Landwirtschaft. Auch das Treibhausgasminderungspotential durch die Kohlenstoffspeicherung der biozyklischen Humuserde wurde nicht in die Berechnung einbezogen. Die Ausbringungsmenge entscheidet, wie viel Kohlenstoff gespeichert wird. Auch hier gibt es keine Vorgaben zur Ausbringungsmenge, und sie kann dementsprechend stark variieren. Aufgrund dessen wird im Rahmen dieser Arbeit keine Annahme zu der Treibhausgasminderung durch die Kohlenstoffspeicherung biozyklischer Humuserde gemacht. Anzunehmen ist, dass obwohl die Emissionen der biozyklisch-veganen Düngung nicht bekannt sind, das Treibhausgasminderungspotential höher als berechnet ist, weil bei der Verwendung biozyklischer Humuserde viel Kohlenstoff im Boden gebunden wird. Ackerland kann so zu Kohlenstoffdioxid-Senken verwandelt werden.

Bei der Umstellung eines Betriebs auf biozyklische Humuserde ergibt sich erstmal ein Mehraufwand durch die Anlegung einer Kompostanlage und angesichts des langen Zeitraums bei der Herstellung von Humuserde. Aufgrund dessen kann die Produktion von Humuserde an betriebswirtschaftliche Grenzen stoßen. Hier kann aber die Erbringung einer Veredelungsdienstleistung durch spezialisierte Betriebe Abhilfe schaffen (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 19 f.). Dem Mehraufwand für den Humusaufbau und -erhalt steht die verbesserte Bodenfruchtbarkeit gegenüber. Böden mit einem hohen und stabilen Humusgehalt erhöhen und erhalten die Bodenfruchtbarkeit und leisten damit einen Beitrag zur Sicherung der

landwirtschaftlichen Produktion. Das ist vor allem im Hinblick auf zu erwartende Klimaveränderungen relevant (BUNDESREGIERUNG 2019, S. 128 f.). Wie viel höher die Bodenfruchtbarkeit und der Ertrag sind, kann je nach Pflanze, Standort- und Umweltbedingungen variieren.

Die Ergebnisse des Treibhausgasminderungspotentials durch biozyklisch-vegane Düngung lassen sich durch weiterführende Forschung bzgl. des Ertrags bei der Nutzung biozyklischer Humuserde, zu den Emissionen der biozyklisch-vegane Düngung sowie zur Kohlenstofffestlegung der biozyklischen Humuserde im Boden ergänzen.

## **5.4 Landnutzungsänderungen**

Das Treibhausgasminderungspotential der Landnutzungsänderungen beruht auf einem potentiellen Szenario mit einem möglichst großen Klimaschutzeffekt. Angesichts der hohen Kohlenstoffspeicherung intakter Moore und dem Anteil für die Landwirtschaft entwässerter Moore an den Emissionen Deutschlands (BMUV 2022, S. 5 ff.) werden in diesem Szenario alle durch die Landwirtschaft entwässerten Moore wiedervernässt. Auch das UBA (2023c) hält den Schutz und die Wiedervernässung von Moorböden für die wichtigste Maßnahme im Bereich Landnutzung. Das restliche Dauergrünland wird aufgrund seiner wertvollen Ökotope-Funktion, zur Gewinnung biozyklischer Humuserde und seiner höheren Kohlenstoffspeicherung im Vergleich zum Ackerland beibehalten. Da auch Wälder effektive Kohlenstoffspeicher sind (WBAE u. WBW 2016, S. II) und die frei gewordenen Ackerflächen die geringste ökologische Funktion und Kohlenstofffestlegung besitzen, werden diese aufgeforstet. Die Aufforstung hat zwar in der Berechnung ein etwas größeres Treibhausgasminderungspotential als die Wiedervernässung, bezieht sich aber auf eine dreimal so große Fläche. Folglich hat die Wiedervernässung pro Flächeneinheit eine größere Klimaschutzwirkung als die Aufforstung. Die Speicherrate eines Waldes ist außerdem ein theoretischer Wert. In einem bewirtschafteten Wald werden über die gesamte Lebenszeit des Bestandes Teile herausgenommen, damit sich die übrigen Bäume gut entwickeln können. Ein Großteil dieser entnommenen Bäume setzte den Kohlenstoff als Brennholz wieder frei. Werden damit aber fossile Energiequellen ersetzt, verbessert sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz (BZL o.J.).

Das reale Treibhausgasminderungspotential durch Landnutzungsänderungen hängt davon ab, wie die theoretisch freigewordenen Flächen tatsächlich genutzt werden. Landwirtschaftliche Fläche, die nicht mehr für die deutsche Versorgung nötig wäre, könnte auch weiter bewirtschaftet werden und die Produkte exportiert werden. Außerdem ist nicht jeder Standort dafür

geeignet aufgeforstet oder wiedervernässt zu werden. Weil Moore nur auf einem geringen Anteil der Fläche Deutschlands vorkommen, und vor allem im Norddeutschen Tiefland und im Alpenvorland liegen, können folglich nur bestimmte frei werdende Flächen wiedervernässt werden. Nach der Wiedervernässung von Mooren dauert es aufgrund einsetzender Methanfreisetzungen einige Zeit, bis die Klimabilanz durch den Kohlenstoffaufbau wieder ausgeglichen ist. Dieser Zeitraum hängt von unterschiedlichen Faktoren ab und variiert von Standort zu Standort. Grundsätzlich kann von einer Zeitspanne von 10 bis über 20 Jahren ausgegangen werden. Die Langwierigkeit der Maßnahme zeigt, dass schnell gehandelt werden sollte. Außerdem ist das Treibhausgasminderungspotential flächenspezifisch sehr variabel. Je tiefer die Wasserstände der drainierten Flächen waren, desto höher ist das Treibhausgasminderungspotential der Wiedervernässung pro Hektar (WBAE u. WBW 2016, S. 145 ff.).

Durch eine Wiedervernässung der landwirtschaftlich genutzten Moorböden kann die bisherige Nutzung durch die Betriebe nicht fortgesetzt werden. Zwar werden die Flächen nicht mehr zur Lebensmittelproduktion benötigt, aber Betriebe können von Einschränkungen in ihrer Existenzgrundlage bzw. in der Wertschöpfung betroffen sein (BUNDESREGIERUNG 2019, S. 134). Eine Lösung könnte auch die Paludikultur, ein Verfahren zur nassen Bewirtschaftung von Mooren, darstellen. Das Konzept befindet sich noch in der Erprobung und Entwicklung. Damit es ökonomisch konkurrenzfähig wird, müssen Subventionen entwässerungsbasierter Landnutzung abgeschafft und die Paludikultur gefördert werden (BfN o.J.).

Der verringerte Ausstoß von Methan und Distickstoffoxid würde im Vergleich zu Kohlendioxid relativ schnell Wirkung in der Atmosphäre zeigen. Grund dafür ist die kurze Verweildauer von Methan und Distickstoffoxid im Vergleich zu Kohlendioxid in der Atmosphäre. Da die Landwirtschaft Hauptemissionsquelle von Methan und Distickstoffoxid ist, würden Treibhausgasminderungen in der Landwirtschaft schon in naher Zukunft die Emissionen in der Atmosphäre reduzieren. Anders sieht es bei Kohlendioxid aus, das hunderttausende Jahre bis zum vollständigen Abbau braucht. Hier kann durch Senken schon früher Kohlendioxid in der Atmosphäre reduziert werden. Die Möglichkeit, Treibhausgase in Senken zu binden, darf keine Rechtfertigung für das Aufschieben von Maßnahmen zur Emissionsminderungen sein. Der Minderung von Treibhausgasemissionen kommt oberste Priorität zu. Nur unvermeidbare Emissionen sollten durch Senken ausgeglichen werden. Außerdem sind natürliche Senken in ihrem Potential begrenzt. Die Bindung von Treibhausgasen ist nicht von unbegrenzter Dauer und vollständig reversibel, wie z.B. durch Waldbrände. Zudem kann es auch zu negativen Umweltauswirkungen kommen. Beispielsweise können großflächige Aufforstungsmaßnahmen von

Monokulturen Wasserhaushalt, Mikroklima und Biodiversität beeinflussen (UBA 2021c, S. 35 ff.). Da Deutschland nach dem Klimaschutzgesetz ab 2050 negative Treibhausgasemissionen erzielen soll und der LULUCF-Sektor der Einzige ist, der als Senke fungieren und nicht vermeidbar Emissionen kompensieren kann (UBA 2023j), sowie der Langwierigkeit der Maßnahmen sollten die Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor schnell umgesetzt werden. Die biozyklisch-vegane Landwirtschaft setzte alle Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele für den Bereich Landnutzung und Landnutzungsänderungen um und bietet somit ein hohes Treibhausgasminderungspotential im Sektor LULUCF. Sie erhöht und erhält den Humusgehalt im Ackerland durch den Einsatz biozyklischer Humuserde, erhält Dauergrünland und schützt Moorböden (BUNDESREGIERUNG 2019, S. 124 ff., UBA 2023e).

## 5.5 Weiterführend

Die Landwirtschaft und die Ernährungsweise haben neben dem Klimawandel weiterreichende Auswirkungen auf die Umwelt, Artenvielfalt, auf Tiere als unsere Mitwesen, auf die Agrar- und Ernährungswirtschaft und auf die Gesundheit sowie das Wohlbefinden (BMEL2022b, S. 1). Bei der Betrachtung des Treibhausgasminderungspotentials durch die biozyklisch-vegane Landwirtschaft muss auch die Multifunktionalität der Klimaschutzvorteile berücksichtigt werden. Beispielsweise dienen die Reduktion der Tierbestände und des Wirtschaftsdüngers, der erhöhte Humusgehalt oder die Wiedervernässung von Mooren nicht nur dem Klimaschutz, sondern auch der Wasser- und Luftqualität, der biologischen Vielfalt oder dem Erhalt fruchtbarer Böden. Maßnahmen, die im Hinblick auf nur ein Umweltziel als unwirtschaftlich erscheinen, können bei der Gesamtbetrachtung sehr vorteilhaft sein (UBA 2013, S. 8). Neben den Synergien kann es aber auch zu Konflikten zwischen Klimaschutzmaßnahmen und anderen gesellschaftlichen Zielen kommen, wie dem Wirtschaftswachstum (WBAE u. WBW 2016, S. 1).

Neben dem Klimaschutz kann die biozyklisch-vegane Landwirtschaft Vorteile für den Umwelt-, Natur- und Tierschutz, sowie die menschliche Gesundheit und sozialgesellschaftliche Aspekte bieten (UBA 2023f). In Sachen Umweltschutz verbessert sich durch die biozyklisch-vegane Bewirtschaftung die Wasserqualität. Nährstoffüberschüsse durch Tierfutterimporte oder Wirtschaftsdünger werden vermieden. Beim Einsatz biozyklischer Humuserde bleibt die Auswaschung von Nährstoffen aus. Bei der konventionellen Düngung gelangen Nährstoffe, die die Pflanzen nicht aufnehmen können, in Grund- und Oberflächenwasser. In biozyklischer Humuserde hingegen gibt es keine wasserlöslichen Nährstoffe und damit keine Nährstoffeinträge in

Gewässer. Indem die biozyklisch-vegane Landwirtschaft keine Mineraldünger verwendet, keine Nutztiere hält und dementsprechend auch keine Futtermittel braucht, setzt sie die Maßnahmen zur Erreichung des Ziels der Bundesregierung zum Stickstoffüberschuss um (UBA 2023g). Auch die Biodiversität wird durch verschiedene Maßnahmen wie Mischkulturen, Untersaaten, weite Fruchtfolgen sowie Schaffung von naturnahen landwirtschaftlich und gartenbaulich nicht genutzten Habitaten gefördert (ADOLF-HOOPS-GESELLSCHAFT MBH 2022, S. 8, FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 9).

Ebenso im Bereich Tierschutz leistet die biozyklisch-vegane Landwirtschaft einen wichtigen Beitrag. Es gibt eine Reihe von unterschiedlichen Standpunkten bezüglich des Umgangs des Menschen mit Tieren. Die Forderung nach Tierrechten und der damit zusammenhängenden Ablehnung der Nutzung von Tieren vertritt derzeit nur eine Minderheit der Bevölkerung, wohingegen dem sorgsamem und respektvollen Umgang mit Tieren breit zugestimmt wird (WBA 2015, S. 69). Die Realität sieht aber anders aus. Auf Grundlage verschiedener wissenschaftlicher Berichte kann von zahlreichen Tierschutzproblemen in allen Bereichen der Nutztierhaltung, der Zucht, des Transports und der Schlachtung ausgegangen werden (WBA 2015, S. 116). Da beim biozyklisch-vegane Anbauprinzip keine Nutztierhaltung oder tierische Produkte zum Einsatz kommen, ergeben sich auch keine Tierschutzprobleme.

Ebenfalls profitiert die menschliche Gesundheit von einer Reduktion der Nutztierhaltung bzw. des Konsums tierischer Produkte. Nach dem WBA (2015, S. 76) liegt eine Reihe von (Meta-)Analysen für die Korrelation zwischen dem Verzehr tierischer Produkte und möglichen Gesundheitsrisiken vor. Es gibt deutliche Indizien für negative Wirkungen eines zu hohen Konsumniveaus (WBA 2015, S. 77). In Deutschland nimmt der Fleischkonsum zwar ab, aber Fleisch hat einen festen Platz in der Ernährung. Allerdings gibt es wachsende Gruppen von Konsumierenden mit einem geringem oder keinem Fleischverzehr, während eine Reihe von Verbrauchenden ein sehr hohes Verzehrsniveau aufweist. Ein beträchtlicher Teil der Bevölkerung konsumiert mehr Fleisch, als ernährungswissenschaftliche Fachgesellschaften empfehlen (WBA 2015, S. 86). Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE 2021) empfiehlt eine pflanzenbetonte Ernährung mit maximal 300-600 Gramm Fleisch pro Woche. Der durchschnittliche wöchentliche Fleischverzehr liegt dagegen bei Männern mit 1.100 Gramm deutlich über dem Orientierungswert und bei Frauen an der oberen Grenze mit 590 Gramm pro Woche. Ein hoher Konsum von rotem und verarbeitetem Fleisch (z.B. Wurst) hat negativen Einfluss auf Erkrankungen wie koronare Herzerkrankungen, Schlaganfall, Diabetes und Krebs. Dabei zählten

kardiovaskuläre Erkrankungen 2018 zu den häufigsten Todesursachen in Deutschland gefolgt von Krebserkrankungen (DGE 2021).

Auch durch Erreger von Zoonosen, durch stoffliche Belastungen aus der Tierhaltung sowie durch die Entstehung von Antibiotikaresistenzen bergen tierische Lebensmittel Risiken für die menschliche Gesundheit (WBA 2015, S. 137). Zoonosen sind Erkrankungen, deren Erreger von Tier auf Mensch und umgekehrt natürlich übertragen werden können (WBA 2015, S. 147). In Deutschland werden hohe Mengen an Antibiotika in der Tierhaltung eingesetzt. Es gilt als sicher, dass die Tierhaltung zur Resistenzsituation beim Menschen beiträgt (WBA 2015, S.157). Wirkstoffe von Tierarzneimitteln können über Gülle und Dung in den Boden und ins Grundwasser gelangen (WBA 2015, S. 138). Positive soziale Effekte bieten die in den Richtlinien enthaltenen Sozialstandards, die im Umgang mit Mitarbeitenden eingehalten werden müssen (FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU 2023, S. 9).

Zu Hindernissen könnte es bei der Umstellung des Betriebs, bei ökonomischen Aspekten sowie bei der Nachfrage bzw. Etablierung biozyklisch-veganer Produkte in der Gesellschaft kommen. Bei der Umstellung eines Betriebs auf biozyklisch-vegan müssen die Landwirte und Landwirtinnen sich das nötige Know-how aneignen und betriebliche Arbeitsprozesse umstellen. Wirtschaftlich gesehen würde bei der biozyklisch-veganen Bewirtschaftung das Einkommen aus der Nutztierhaltung wegfallen und auch weniger Ackerbau betrieben werden. Hinzu kommen Kosten durch die Zertifizierung. Ebenso würden die vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereiche abnehmen. Aus sozioökonomischer Perspektive würden für den Ackerbau weniger Arbeitskräfte, als für die Tierhaltung gebraucht (WBA 2015, S. 19). Allerdings werden schon im ökologischen Landbau 0,2 bis 0,3 je 100 Hektar Arbeitskräfte mehr als im konventionellen gebraucht (BUNDESREGIERUNG 2019, S. 114). In der biozyklisch-veganen Landwirtschaft könnte der Arbeitsaufwand z.B. durch die Kompostwirtschaft noch höher sein und damit mehr Arbeitskräfte beschäftigen. Wird biozyklische Humuserde selbst hergestellt, kann wiederum Geld gespart werden, weil kein Dünger gekauft werden muss. Dieser Arbeitsaufwand für die Kompostwirtschaft kann Betriebe aber auch zunächst abschrecken. Auf der anderen Seite kann die Veredlung von reifem Qualitätskompost zu Humuserde neue, zusätzliche Einkommensquellen erschließen. Hinzu kommt der wachsende Markt veganer Alternativen, wo in Zukunft auch eine Zunahme der Arbeitsplätze und Umsätze zu erwarten ist. Folglich gehen zwar Einkommensquellen und Arbeitsplätze verloren, aber es erschließen sich auch neue.

Preislich werden biozyklisch-vegane Produkte ebenso wie biologische aufgrund des höheren Arbeitsaufwands und der Kosten für die Zertifizierung über den konventionellen Produkten

liegen. Da derzeit der Anteil der vegan lebenden Menschen gering ist, stellt sich die Frage, inwiefern eine Mehrzahlungsbereitschaft für biozyklisch-vegane Produkte in der Bevölkerung vorhanden ist. Im Jahr 2023 lag die Anzahl der Menschen in Deutschland, die sich selbst als vegan bezeichnen, bei 1,52 Mio. (IFD ALLENSBACH 2023). Oft hat das vegane Label sogar einen negativen Effekt auf das Kaufverhalten von mischköstlich essenden Menschen. Das zeigt auch die Studie von BERKE u. LARSON (2023), nach der die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass Mahlzeiten ausgewählt werden, wenn sie als vegan oder vegetarisch gekennzeichnete sind. Hier besteht Handlungsbedarf, offen den Mehrwert des biozyklisch-vegane Anbaus für Klima-, Natur-, Umweltschutz und eigene Gesundheit zu kommunizieren und Vorurteile abzubauen. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich zur Zahlungsbereitschaft für biozyklisch-vegane Produkte und zur Etablierung dieser in der Gesellschaft.

Eine weitere Option wären Subventionen durch die Politik. Die Landwirte und Landwirtinnen müssen für Klima- bzw. Umweltschutz bezahlt werden. Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) hat einen großen Einfluss auf die landwirtschaftliche Produktion und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen (UBA 2013, S. 10). Nach dem UBA (2013, S. 30) sollte die GAP emissionsarme Landwirtschaft fördern, anstatt klimabelastender Produkte und Produktionsweisen zu subventionieren. Auch das BMEL (2022b, S. 7) will ressourcen- und Klimaschonende Ansätze fördern. Dazu gehören Angebot und Nachfrage nach pflanzlichen, regionalen bzw. saisonal-regionalen sowie ökologischen Lebensmitteln. Dafür soll unter anderem der ökologische Landbau ausgebaut werden (BMEL 2022b, S. 7). Die flächenbezogenen Emissionen sind zwar geringer als im konventionellen Anbau, aber das gilt nicht für die produktbezogenen Emissionen aufgrund des höhere Flächenbedarfs in Folge der deutlich niedrigeren Erträge. Die ökologische Landwirtschaft kann folglich nach dem WBAE u. WBW (2016, S. 193) nicht als Klimaschutzmaßnahme empfohlen werden. Sie bringt bei gleichbleibendem Konsum nicht die notwendige Entlastung für Umwelt und Klima. In Kombination mit einem reduzierten Konsum tierischer Produkte kann sie vorteilhaft sein (UBA 2023d). Hier kann eine Förderung der biozyklisch-vegane Landwirtschaft ansetzen, um die Klimaziele zu erreichen.

## 6. Fazit

Das Treibhausgasminderungspotential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft beträgt bei einem Anteil von 100 % an der Landwirtschaft Deutschlands 118,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bei einem Anteil von 30 % 35,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bei einem Anteil von 10 % 11,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Davon entfallen bei 100 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft 44,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf den Sektor Landwirtschaft und 73,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. auf den Sektor LULUCF, bei 30 % 13,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. 22,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. und bei 10 % 4,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. 7,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. Dabei lassen sich jeweils 58,5% des Treibhausgasminderungspotentials im Landwirtschaftssektor auf die Verdauung von Nutztieren, 17,9 % auf den wegfallenden Futteranbau und 23,5 % auf die Düngung sowie 46,2 % des Treibhausgasminderungspotentials im Sektor LULUCF auf die Wiedervernässung und 53,8 % auf die Aufforstung zurückzuführen. Vor dem Hintergrund, dass die Emissionen des Sektors Landwirtschaft bis 2030 um 8,6 % auf 57,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. reduziert werden sollen, kann allein durch einen Anteil von 12,1 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft an der Landwirtschaft Deutschlands dieses Klimaziel erreicht werden. Bei einer vollständigen biozyklisch-veganen Bewirtschaftung Deutschlands könnten die Emissionen im Sektor Landwirtschaft um 71,1 % verringert werden. Die Klimaziele des LULUCF-Sektors mit -25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 können ab einem Anteil von 39,4 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft erreicht werden.

Die zu Beginn gestellte Forschungsfrage *„Inwiefern ergibt sich ein Treibhausgasminderungspotential bei unterschiedlichen Anteilen der biozyklisch-veganen Landwirtschaft an der Landwirtschaft Deutschlands?“* lässt sich wie folgt beantworten. Das Treibhausgasminderungspotential der biozyklisch-veganen Landwirtschaft resultiert im Sektor Landwirtschaft größtenteils aus dem Verzicht auf Tierhaltung und der Nutzung tierischer Produkte sowie dem damit einhergehenden wegfallenden Futteranbau als auch der Anwendung biozyklischer Humuserde. Weiteres Treibhausgasminderungspotential ergibt sich aus der Wiedervernässung und Aufforstung frei werdender Flächen im Sektor LULUCF. Das Treibhausgasminderungspotential ist umso größer, je höher der Anteil biozyklischer-Landwirtschaft ist. Bei einer vollständigen biozyklisch-veganen Bewirtschaftung können fast drei Viertel der gesamten landwirtschaftlichen Emissionen eingespart und im LULUCF-Sektor negative Treibhausgasemissionen erzielt werden. Die Klimaziele des Landwirtschaftssektors können schon bei einem geringen Anteil der biozyklisch-veganen Landwirtschaft erreicht werden. Folglich kann die biozyklisch-vegane Bewirtschaftung einen effektiven Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten.



Die Verringerung der Tierbestände bietet das höchste Treibhausgasminderungspotential im Sektor Landwirtschaft und ist zentral zur Erreichung der Klimaziele. Dies muss aber in Kombination mit einer Transformation des Konsums tierischer Produkte erfolgen, weil sich die Emissionen sonst ins Ausland verlagern. Es besteht Handlungsbedarf, ein klimaschonendes Konsumverhalten in der Gesellschaft durch Informationen, Anreize und Lenkungen zu fördern. Durch den verringerten Futtermittelbedarf wird weniger landwirtschaftliche Fläche gebraucht und damit Emissionen bei der Bewirtschaftung und der Düngung eingespart. Zudem werden in der biozyklisch-veganen Landwirtschaft Emissionen durch den Verzicht auf synthetische und tierische Düngemittel vermieden. Der Einsatz biozyklischer Humuserde führt zu einem höheren Ertrag und damit zu einem geringeren Flächenbedarf. Allerdings folgt daraus auch ein Mehraufwand durch die Anlegung einer Kompostanlage und des langen Zeitraums der Herstellung von Humuserde. Die Erbringung einer Veredelungsdienstleistung durch spezialisierte Betriebe kann hier helfen. Dem Mehraufwand steht die verbesserte Bodenfruchtbarkeit gegenüber. Frei werdende landwirtschaftliche Flächen können durch Landnutzungsänderungen wie Aufforstung und Wiedervernässung zu Kohlenstoff-Senken werden. Die Wiedervernässung von Mooren stellt die wichtigste Maßnahme in der Landnutzung dar. Die ambitionierten Klimaziele, ab 2050 negative Treibhausgasemissionen zu erzielen, und die Tatsache, dass der LULUCF-Sektor der Einzige ist, der als Senke fungieren kann, verdeutlichen die Dringlichkeit der Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im LULUCF-Sektor. Die biozyklisch-vegane Landwirtschaft setzte alle Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele für den Bereich Landnutzung um.

Einige Aspekte konnten aufgrund fehlender Daten oder dem begrenzten Umfang dieser Arbeit nicht miteinbezogen werden. Dazu gehören die Emissionen der biozyklisch-veganen Düngung, die vermutlich gering ausfallen. Auf der anderen Seite können sich weitere Treibhausgasminderungspotentiale durch den verminderten Import von Futtermitteln aus dem Ausland, der Kohlenstofffestlegung durch biozyklische Humuserde im Boden und durch landwirtschaftliche Emissionen, die in anderen Sektoren bilanziert werden, ergeben. Auf Grundlage dessen ist anzunehmen, dass das Treibhausgasminderungspotential größer als berechnet ist.

Neben der Betrachtung des Treibhausgasminderungspotentials gilt es auch die Multifunktionalität der Klimaschutzleistung der biozyklisch-veganen Landwirtschaft zu berücksichtigen. Vorteile ergeben sich auch für Umwelt-, Natur- und Tierschutz, die menschliche Gesundheit sowie soziale Aspekte. Die Wasserqualität wird verbessert, die Biodiversität erhöht, Tierschutz gefördert, Erkrankungen, Pandemien und Antibiotikaresistenzen verringert sowie

Sozialstandards gesetzt. Hindernisse können sich aus ökonomischen Aspekten wie dem Wegfall von Einkommensquelle und Arbeitsplätzen, Zertifizierungs- und Umstellungskosten, Verkaufspreis und Nachfrage ergeben. Andererseits erschließen sich auch neue Einkommensquellen und Arbeitsplätze. Subventionen können die biozyklisch-vegane Landwirtschaft aufgrund ihrer Vielzahl an Vorteilen für Betriebe umsetzbar und für Konsumierende erschwinglich machen. Es besteht Handlungsbedarf bei der Etablierung biozyklisch-veganer Produkte in der Gesellschaft.

Folglich stellt die biozyklisch-vegane Landwirtschaft durch ihr Treibhausgasreduzierungs-potential eine effektive Maßnahme zur Erreichung der Klimaziele Deutschlands dar als auch für den Umwelt-, Natur- und Tierschutz und die menschliche Gesundheit. Diese Erkenntnis sollte zum Anlass genommen werden, um eine Förderung der biozyklisch-veganen Landwirtschaft in Betracht zu ziehen. Wichtig ist zu betonen, dass das berechnete Treibhausgasreduzierungs-potential auf einem theoretischen Szenario für das Jahr 2021 beruht und es aufgrund der getroffenen Annahmen und Abgrenzungen zu Abweichungen kommen kann. Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen Richtwerte dar, die die Größenordnung und damit das Potential aufzeigen. Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich durch weiterführende Forschung bzgl. den Emissionen des biozyklisch-veganen Anbaus, der Anwendung und Kohlenstoffspeicherung biozyklischer Humuserde und der Etablierung biozyklisch-veganer Produkte in der Gesellschaft ergänzen.

## Literaturverzeichnis

ADOLF-HOOPS-GESELLSCHAFT MBH (Hrsg.) (2022): Biozyklisch-vegane Richtlinien. Version 1.05. Berlin. Abrufbar unter: <https://biozyklisch-vegan.org/wp-content/uploads/2022/10/2022-Biozyklisch-Vegane-Richtlinien-Version-1.05-Prinversion-deutsch-2022-10-04.pdf> (letzter Aufruf: 18.12.2023)

BAYERISCHE STAATSFORSTEN (o.J.): Wald und CO<sub>2</sub>. Abrufbar unter: <https://www.baysf.de/de/wald-verstehen/wald-kohlendioxid.html> (letzter Aufruf: 21.12.2023)

BERKE, A. u. K. LARSON (2023): The negative impact of vegetarian and vegan labels: Results from randomized controlled experiments with US consumers. In: *Appetite* 188. Abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.106767> (letzter Aufruf: 10.01.2024)

BfN – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (o.J.): Paludikultur. Abrufbar unter: <https://www.bfn.de/paludikultur> (letzter Aufruf: 02.01.2024)

BIOCYCLIC VEGAN INTERNATIONAL (o.J.): Producers. Abrufbar unter: <https://www.biocyclic-vegan.org/partners/producers/> (letzter Aufruf: 05.01.2024)

BLE – BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG u. BZL – BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2023): Futterraufkommen im WJ 2020/21 (endgültige Zahlen). Abrufbar unter: [https://www.bzl-datenzentrum.de/fileadmin/SITE\\_MASTER/content/Downloads/Futter/Futterraufkommen/Futterraufkommen20-21.xlsx](https://www.bzl-datenzentrum.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/Futter/Futterraufkommen/Futterraufkommen20-21.xlsx) (letzter Aufruf: 21.12.2023)

BMEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2018<sup>3a</sup>): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.pdf?__blob=publicationFile&v=6) (letzter Aufruf: 22.12.2023)

BMEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2018b): Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Bonn. Abrufbar unter: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf?__blob=publicationFile&v=10) (letzter Aufruf: 22.11.2023)

BMEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2020): Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=20](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?__blob=publicationFile&v=20) (letzter Aufruf: 27.10.2023)

BMEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2022a): Daten und Fakten. Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft mit Fischerei und Wein- und Gartenbau. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/daten-fakten-2022.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/daten-fakten-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=8) (letzter Aufruf: 27.10.2023)

BMEL - BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2022b): Eckpunktepapier: Weg zur Ernährungsstrategie der Bundesregierung. Abrufbar unter: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ernaehrung/ernaehrungsstrategie-eckpunktepapier.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ernaehrung/ernaehrungsstrategie-eckpunktepapier.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (letzter Aufruf: 29.12.2023)

BMUV - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (Hrsg.) (2022): Nationale Moorschutzstrategie. Abrufbar unter: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/nationale\\_moorschutzstrategie\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nationale_moorschutzstrategie_bf.pdf) (letzter Aufruf: 28.10.2023)

BMWK - BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ (Hrsg.) (2022): Klimaschutz in Zahlen. Aktuelle Emissionstrends und Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland – Ausgabe 2022. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/klimaschutz-in-zahlen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/klimaschutz-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=8) (letzter Aufruf: 27.10.2023)

BÖLW - BUND ÖKOLOGISCHE LEBENSMITTELWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (2023): Branchenreport 2023. Ökologische Lebensmittelwirtschaft. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.boelw.de/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/Zahlen\\_und\\_Fakten/Broschuere\\_2023/BOELW\\_Branchenreport2023.pdf](https://www.boelw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Zahlen_und_Fakten/Broschuere_2023/BOELW_Branchenreport2023.pdf) (letzter Aufruf: 30.10.2023)

BUNDESREGIERUNG (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1679914/c8724321decefc59cca0110063409b50/2019-10-09-klimamassnahmen-data.pdf?download=1> (letzter Aufruf: 15.12.2023)

BUNDESREGIERUNG (2023): Klimaschutzprogramm 2023 der Bundesregierung. Abrufbar unter: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (letzter Aufruf: 16.11.2023)

BZL – BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (2023a): Was wächst auf Deutschlands Feldern? Abrufbar unter: <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-arbeiten-foerster-und-pflanzenbauer/was-waechst-auf-deutschlands-feldern> (letzter Aufruf: 20.12.2023)

BZL – BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (2023b): Wie viel CO<sub>2</sub> binden landwirtschaftlich genutzte Böden? Abrufbar unter: <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/wie-viel-co2-binden-landwirtschaftliche-boeden> (letzter Aufruf: 11.01.2024)

BZL – BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (o.J.): Wie viel CO<sub>2</sub> binden Wälder? Abrufbar unter: <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/haetten-sies-gewusst/pflanzenbau/wie-viel-co2-binden-waelder> (letzter Aufruf: 11.01.2024)

CHEMIE. DE (o.J.): Kohlenstoffdioxid. Abrufbar unter: <https://www.chemie.de/lexikon/Kohlenstoffdioxid.html> (letzter Aufruf: 15.01.2024)

DBV – DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2023): Bestandsentwicklung an Nutztieren in Deutschland im Verlauf der Jahre 1900 bis 2023. In: Statista. Abrufbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/659045/umfrage/nutztierbestand-in-deutschland/> (letzter Aufruf: 21.12.2023)

DESTATIS - STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (2021): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bodennutzung der Betriebe (Struktur der Bodennutzung). Fachserie 3 Reihe 2.1.2. Abrufbar unter: [https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft\\_derivate\\_00072048/2030212217004.pdf](https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00072048/2030212217004.pdf) (letzter Aufruf: 21.12.2023)

DESTATIS - STATISTISCHES BUNDESAMT (2022): Flächennutzung. Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. Abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html> (letzter Aufruf: 15.01.2024)

DESTATIS - STATISTISCHES BUNDESAMT (2023a): ): Importmenge von Sojabohnen nach Deutschland in den Jahren 2008 bis 2022. In Statista. Abrufbar unter:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1139068/umfrage/importmenge-von-soja-bohnen-nach-deutschland-seit-2008/> (letzter Aufruf: 19.12.2023)

DESTATIS - STATISTISCHES BUNDESAMT (2023b): Wichtigste Lieferländer von Sojabohnenimporten nach Deutschland nach Importmenge in den Jahren 2020 bis 2022. In Statista. Abrufbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1139101/umfrage/der-import-von-soja-bohnen-nach-deutschland/> (letzter Aufruf: 19.12.2023)

DESTATIS - STATISTISCHES BUNDESAMT (o.J.): Produktionsmethoden. Die Hälfte der Landwirte düngt mit Gülle. Abrufbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/aktuell-duengen.html> (letzter Aufruf: 11.01.2024)

DGE – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG E.V. (2021): Gut für die Gesundheit: Viel Gemüse & Obst, wenig Fleisch. Abrufbar unter: <https://www.dge.de/presse/meldungen/2021/gut-fuer-die-gesundheit-viel-gemuese-obst-wenig-fleisch/> (letzter Aufruf: 05.01.2024)

EISENBACH, L.D., FOLINA, A., ZISI, C., ROUSSIS, I., TABAXI, I., PAPASTYLIANOU, P., KAKABOUKI, I., EFTHIMIADOU, A. U. D.J. BILALIS (2018): Effect of Biocyclic Humus Soil on Yield and Quality Parameters of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.). In: Scientific Papers. Series A. Agronomy, Vol. LXI, No. 1, 2018. S. 210-217. Abrufbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/328563102\\_Effect\\_of\\_Biocyclic\\_Humus\\_Soil\\_on\\_Yield\\_and\\_Quality\\_Parameters\\_of\\_Sweet\\_Potato\\_Ipomoea\\_batatas\\_L](https://www.researchgate.net/publication/328563102_Effect_of_Biocyclic_Humus_Soil_on_Yield_and_Quality_Parameters_of_Sweet_Potato_Ipomoea_batatas_L) (letzter Aufruf: 02.11.2023)

EISENBACH, L.D., FOLINA, A., ZISI, C., ROUSSIS, I., TABAXI, I., PAPASTYLIANOU, P., KAKABOUKI, I., EFTHIMIADOU, A. U. D.J. BILALIS (2019): Effect of Biocyclic Humus Soil on Yield and Quality Parameters of Processing Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). In: Bulletin UASVM Horticulture 76(1). S. 47-52. Abrufbar unter: [https://www.researchgate.net/publication/333720652\\_Effect\\_of\\_Biocyclic\\_Humus\\_Soil\\_on\\_Yield\\_and\\_Quality\\_Parameters\\_of\\_Processing\\_Tomato\\_Lycopersicon\\_esculentum\\_Mill](https://www.researchgate.net/publication/333720652_Effect_of_Biocyclic_Humus_Soil_on_Yield_and_Quality_Parameters_of_Processing_Tomato_Lycopersicon_esculentum_Mill) (letzter Aufruf: 02.11.2023)

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2023): Führende Importländer von Sojabohnen weltweit nach Importvolumen in den Jahren 2019 bis 2021. In Statista. Abrufbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1139037/umfrage/die-wichtigsten-importlaender-fuer-sojabohnen-weltweit/> (letzter Aufruf: 15.01.2024)

FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU (Hrsg.) (2019): Grundlagenpapier zum biozyklisch-veganen Anbau. Abrufbar unter: [https://biozyklisch-vegan.org/wp-content/uploads/2023/02/20190718\\_Grundlagenpapier\\_biozyklisch-veganer\\_Anbau\\_V4.pdf](https://biozyklisch-vegan.org/wp-content/uploads/2023/02/20190718_Grundlagenpapier_biozyklisch-veganer_Anbau_V4.pdf) (letzter Aufruf: 29.10.2023)

FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU (Hrsg.) (2020): Biozyklische Humuserde. Herstellung, Eigenschaften und Determinanten ihrer Entstehung. Berlin. Abrufbar unter: [https://biozyklisch-vegan.org/wp-content/uploads/2020/07/Leitfaden\\_humuserde\\_V4.pdf](https://biozyklisch-vegan.org/wp-content/uploads/2020/07/Leitfaden_humuserde_V4.pdf) (letzter Aufruf: 29.10.2023)

FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU (Hrsg.) (2023): Biozyklisch-veganer Anbau leicht gemacht. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung. Berlin. Abrufbar unter: [https://biozyklisch-vegan.org/wp-content/uploads/2023/02/22-03-04\\_FOeBVA\\_Umstellungsleitfaden\\_Broschuere\\_A4\\_v9\\_WEB.pdf](https://biozyklisch-vegan.org/wp-content/uploads/2023/02/22-03-04_FOeBVA_Umstellungsleitfaden_Broschuere_A4_v9_WEB.pdf) (letzter Aufruf: 29.10.2023)

FÖRDERKREIS BIOZYKLISCH-VEGANER ANBAU (o.J.): Häufig gestellte Fragen. Abrufbar unter: <https://biozyklisch-vegan.org/faq/> (letzter Aufruf: 30.10.2023)

IFD ALLENSBACH (2023): Personen in Deutschland, die sich selbst als Veganer einordnen oder als Leute, die weitgehend auf tierische Produkte verzichten, in den Jahren 2015 bis 2023. In: STATISTA. Abrufbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/445155/umfrage/umfrage-in-deutschland-zur-anzahl-der-veganer/> (letzter Aufruf: 09.11.2023)

NABU – NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND (Hrsg.) (2023): Es geht: Wie wir unsere Ernährung sichern und gleichzeitig die Natur und das Klima schützen können. NABU-Statement basierend auf einer CAPRI-Modellierungsstudie. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/230113-nabu\\_flaechennutzungsstudie.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/230113-nabu_flaechennutzungsstudie.pdf) (letzter Aufruf: 27.11.2023)

ÖKOLOANDBAU.DE (2023): Warum sind Bio-Lebensmittel teurer? Abrufbar unter: <https://www.oekolandbau.de/bio-im-alltag/einkaufen-und-kochen/einkaufen/warum-sind-biolebensmittel-teurer/> (letzter Aufruf: 05.01.2024)

OROVERDE – DIE TROPENWALDSTIFTUNG (Hrsg.) (2022<sup>2</sup>): Soja. Was unser Fleischkonsum mit dem Regenwald zu tun hat. Bonn. Abrufbar unter: [https://www.regenwald-schuetzen.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/Position/positionspapieroroverde-soja-fleisch.pdf](https://www.regenwald-schuetzen.org/fileadmin/user_upload/pdf/Position/positionspapieroroverde-soja-fleisch.pdf) (letzter Aufruf: 01.11.2023)

REINHARDT, G., GÄRTNER, S. u. T. WAGNER (2020): Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland. Heidelberg. Abrufbar unter: <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Reinhardt-Gaertner-Wagner-2020-Oekologische-Fu%C3%9Fabdruecke-von-Lebensmitteln-und-Gerichten-in-Deutschland-ifeu-2020.pdf> (letzter Aufruf: 03.01.2024)

THÜNEN (2023): Treibhausgas-Emissionen durch Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). Abrufbar unter: <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/standard-titel> (letzter Aufruf: 27.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2013): Klimaschutz und Emissionshandel in der Landwirtschaft. Climate Change 01/2013. Dessau-Roßlau. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4397.pdf> (letzter Aufruf: 15.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2020a): Nischen des Ernährungssystems: Bewertung des Nachhaltigkeits- und Transformationspotenzials innovativer Nischen des Ernährungssystems in Deutschland. Texte 121/2020. Dessau-Roßlau. Abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-02\\_texte\\_121-2020\\_nischen-ernaehrung-deutschland.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-02_texte_121-2020_nischen-ernaehrung-deutschland.pdf) (letzter Aufruf: 03.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2020b): Von der Welt auf den Teller. Kurzstudie zur globalen Umweltinanspruchnahme unseres Lebensmittelkonsums. Dessau-Roßlau. Abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/uba\\_210121\\_kurzstudie\\_nahrung\\_barr.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/uba_210121_kurzstudie_nahrung_barr.pdf) (letzter Aufruf: 03.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2021a): Aufforstung / Wiederaufforstung. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/aufforstung-wiederaufforstung#undefined> (letzter Aufruf: 11.12.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2021b): Perspektiven für eine umweltverträgliche Nutztierhaltung in Deutschland. Dessau-Roßlau. Abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-09-15\\_texte\\_33-2021\\_tierhaltung\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-09-15_texte_33-2021_tierhaltung_bf.pdf) (letzter Aufruf: 29.10.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2021<sup>2</sup>c): Treibhausgasminderung um 70 Prozent bis 2030: So kann es gehen! Position // September 2021. Dessau-Roßlau. Abrufbar unter:



[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/21\\_12\\_29\\_uba\\_pos\\_treibhausgasminderung\\_um\\_70prozent\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/21_12_29_uba_pos_treibhausgasminderung_um_70prozent_bf.pdf) (letzter Aufruf: 13.12.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2022a): Die Treibhausgase. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase> (letzter Aufruf: 28.10.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2022b): Düngemittel. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel> (letzter Aufruf: 02.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2022c): Unterschätztes Treibhausgas Methan. Quellen, Wirkungen, Minderungsoptionen. Position // August 2022. Dessau-Roßlau. Abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba\\_pos\\_methanminderung\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_pos_methanminderung_bf.pdf) (letzter Aufruf: 28.10.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023a): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas> (letzter Aufruf: 28.10.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023b): Emissionen der Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung> (letzter Aufruf: 28.10.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2023c): Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes 1990-2022. Dessau. Abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2023\\_03\\_15\\_em\\_entwicklung\\_in\\_d\\_ksg-sektoren\\_pm.xlsx](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2023_03_15_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_pm.xlsx) (letzter Aufruf: 21.12.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023d): Fragen und Antworten zu Tierhaltung und Ernährung. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/landwirtschaft-umweltfreundlich-gestalten/fragen-antworten-zu-tierhaltung-ernaehrung> (letzter Aufruf: 01.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023e): Klimaschutz in der Landwirtschaft. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/landwirtschaft-umweltfreundlich-gestalten/klimaschutz-in-der-landwirtschaft> (letzter Aufruf: 01.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023f): Ohne Tiere und tierische Düngemittel: Projekt veganer Ökolandbau. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/ohne-tiere-tierische-duengemittel-projekt-veganer> (letzter Aufruf: 22.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023g): Stickstoffeintrag aus der Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/stickstoffeintrag-aus-der-landwirtschaft> (letzter Aufruf: 12.01.2024)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023h): Treibhausgas-Emissionen. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen> (letzter Aufruf: 02.01.2024)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023i): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland> (letzter Aufruf: 02.11.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (2023j): Treibhausgasminderungsziele Deutschlands. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands> (letzter Aufruf: 29.12.2023)

UBA - UMWELTBUNDESAMT (o.J.): Folgen des Klimawandels. Abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels-0#undefined> (letzter Aufruf: 14.11.2023)

VHE – VERBAND DER HUMUS- UND ERDENWIRTSCHAFT E.V. (2020): Humusaufbau – Der Landwirt als Klimawirt. In: HuMuss Land Nr. 7. S. 1-16. Abrufbar unter: [https://vhe.de/wp-content/uploads/2022/06/3-VHE\\_HuMussLAND\\_2020\\_Online.pdf](https://vhe.de/wp-content/uploads/2022/06/3-VHE_HuMussLAND_2020_Online.pdf) (letzter Aufruf: 03.01.2024)

WBA - WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BMEL (2015): Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. Gutachten. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/GutachtenNutztierhaltung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/GutachtenNutztierhaltung.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (letzter Aufruf: 05.01.2024)

WBAE - WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT FÜR AGRARPOLITIK, ERNÄHRUNG UND GESUNDHEITLICHER VERBRAUCHERSCHUTZ BEIM BMEL u. WBW - WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT FÜR WALDPOLITIK BEIM BMEL (Hrsg.) (2016<sup>2</sup>): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin. Abrufbar unter:

[https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten\\_2016.pdf?blob=publicationFile&v=3](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.pdf?blob=publicationFile&v=3) (letzter Aufruf: 16.11.2023)

WBGU - WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (Hrsg.) (2020): Landwende im Anthropozän: Von Konkurrenz zur Integration. Hauptgutachten. Berlin. Abrufbar unter: [https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2020/pdf/WBGU\\_HG2020.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2020/pdf/WBGU_HG2020.pdf) (letzter Aufruf: 13.11.2023)

# Anhang

## Anhang 1: Datentabellen zur Berechnung des Treibhausgasminderungspotentials

Tabelle A 1.1: Emissionen im Sektor Landwirtschaft im Jahr 2021 nach Kategorien und Klimaziel 2030 (Eigene Darstellung nach UBA 2023c, UBA 2023e)

	Emissionen [Mio. t CO <sub>2</sub> -Äq.]	Quelle
Fermentation/Verdauung Wiederkäuer	26,1	UBA 2023c
Landwirtschaftliche Böden	16,6	UBA 2023c
Düngerwirtschaft	9,3	UBA 2023c
Stationäre und mobile Feuerungen	6,3	UBA 2023c
Kalkung	2	UBA 2023c
Harnstoffanwendung	0,4	UBA 2023c
Andere kohlenstoffhaltige Düngemittel	0,2	UBA 2023c
Andere	1,7	UBA 2023c
<b>Sektor Landwirtschaft</b>	<b>62,7</b>	UBA 2023c
Zielwert 2030	57,3	UBA 2023e
Reduzierung 2030	5,4	Eigene Berechnung siehe Anhang 6

Tabelle A 1.2: Flächennutzung landwirtschaftlicher Böden nach Kategorien (Eigene Darstellung nach DESTATIS 2021, S. 6, BZL 2023a)

	Fläche [Mio. ha]	Quelle
<b>Landwirtschaftliche Böden</b>	16,6	DESTATIS 2021, S. 6
Ackerland	11,7	DESTATIS 2021, S. 6
Grünland	4,7	DESTATIS 2021, S. 6
Dauerkulturen	0,2	DESTATIS 2021, S. 6
<b>Tierfutter</b>	10	BZL 2023a
Grünland	4,7	DESTATIS 2021, S. 6
Ackerland	5,3	Eigene Berechnung siehe Anhang 2.2

Tabelle A 1.3: Emissionen im Sektor LULUCF im Jahr 2021 nach Kategorien und Klimaziel 2030 (Eigene Darstellung nach UBA 2023b, Thünen 2023)

	<b>Emissionen [Mio. t CO<sub>2</sub>-Äq.]</b>	<b>Quelle</b>
Ackerland	16	UBA 2023b
Grünland	26	UBA 2023b
Feuchtgebiete	10,3	UBA 2023b
Siedlungen	1,8	UBA 2023b
Wald	-41,4	UBA 2023b
Holzprodukte	-8,7	UBA 2023b
<b>Sektor LULUCF</b>	<b>4</b>	UBA 2023b
Zielwert 2030	-25	Thünen 2023
Reduzierung 2030	29	Eigene Berechnung siehe Anhang 6

Tabelle A 1.4: Fläche und Emissionen von Moorböden (Eigene Darstellung nach [1] BMUV 2022, S. 5 ff.; [2] Eigene Berechnung siehe Anhang 2.4)

	<b>Fläche [Mio. ha]</b>	<b>Anteil an Moorfläche [%]</b>	<b>Emissionen [CO<sub>2</sub>-Äq. t/ha/J]</b>
<b>Moore</b>	1,8 [1]	100%	
Entwässert	1,7 [2]	92% [1]	
Ackerland	0,3 [2]	19% [1]	40 [1]
Grünland	0,9 [2]	52% [1]	31,7 [1]
Wiedervernässte Moorböden			5,5 [1]

## **Anhang 2: Berechnung des Treibhausgasminderungspotentials bei 100 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft**

### **Anhang 2.1: Verdauung Tierhaltung**

THGMP Verdauung Tierhaltung

$$26,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

### **Anhang 2.2: Futterbau**

A 2.2.1: Freie Fläche durch wegfallenden Futteranbau

$$\begin{aligned} & \textit{Anteil biozyklisch – veganer LW} * \textit{Fläche für Futter} \\ & 100 \% * 10 \text{ Mio. ha} = 10 \text{ Mio. ha} \end{aligned}$$

A 2.2.2: Fläche Ackerland für Futterbau

$$\begin{aligned} & \textit{Fläche Tierfutter} - \textit{Fläche Grünland} \\ & 10 \text{ Mio. ha} - 4,7 \text{ Mio. ha} = 5,3 \text{ Mio. ha} \end{aligned}$$

A 2.2.3: THGMP des wegfallenden Futterbaus durch weniger Bewirtschaftung des landwirtschaftlichen Bodens

$$\begin{aligned} & \textit{Anteil Fläche für Futter am landw. Boden} * \textit{Emissionen des landw. Boden} \\ & 60 \% * 16,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 10 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} \end{aligned}$$

A 2.2.4: Gesamtemissionen der Düngung

$$\begin{aligned} & \textit{Emissionen Düngewirtschaft} + \textit{Harnstof} + \textit{andere kohlenstoffhaltige Dünger} \\ & 9,3 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} + 0,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} + 0,2 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} \\ & = 9,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} \end{aligned}$$

A 2.2.5: THGMP des wegfallenden Futterbaus durch weniger Düngung

$$\begin{aligned} & \textit{Anteil Fläche für Futter am landw. Boden} * \textit{Emissionen der Düngung} \\ & 60 \% * 9,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 5,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} \end{aligned}$$

A 2.2.6: THGMP durch wegfallenden Futterbau

$$\textit{THGMP durch weniger Bewirtschaftung des landw. Boden} + \textit{weniger Düngung}$$

$$10 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} + 5,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 15,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

A 2.2.7: Hinzu kommende Fläche für mehr pflanzliche Nahrungsmittel (Annahme: 1 ha pflanzliche Lebensmittel ersetzen 2 ha Futter)

*(Anteil) Fläche für Futter / 2*

$$10 \text{ Mio. ha} / 2 = 5 \text{ Mio. ha}$$

$$60 \% / 2 = 30 \%$$

A 2.2.8: Übrig bleibende Fläche zur Bewirtschaftung

*Fläche LW – Fläche Futter + Fläche pflanzl. Nahrung*

$$16,6 \text{ Mio. ha} - 10 \text{ Mio. ha} + 5 \text{ Mio. ha} = 11,6 \text{ Mio. ha}$$

A 2.2.9: THGMP des wegfallenden Futteranbaus durch weniger Bewirtschaftung des landw. Boden abzgl. Fläche für pflanzl. Nahrung

$$30 \% * 16,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

A 2.2.10: THGMP des wegfallenden Futteranbaus durch weniger Düngung abzgl. Fläche für pflanzl. Nahrung

$$30 \% * 9,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 3 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

A 2.2.11: THGMP durch wegfallenden Futteranbau abzgl. Fläche für pflanzl. Nahrung

$$5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} + 3 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 8 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

A 2.2.12: THGMP der Tierhaltung inkl. Futteranbau

*THGMP Verdauung Nutztiere + THGMP durch wegfallenden Futteranbau*

$$26,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} + 15,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 42 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

A 2.2.13: THGMP der Tierhaltung inkl. Futteranbau abzgl. Pflanzl. Nahrung

*THGMP Verdauung Nutztiere*

*+ THGMP durch wegfallenden Futteranbau abzgl. pflanzl. Nahrung*

$$26,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} + 8 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 34,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

A 2.2.14: Anteil THGMP der Tierhaltung an LW Emissionen

*THGMP der Tierhaltung inkl. Futteranbau / Emissionen LW*

$$42 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} / 62,7 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 67 \%$$

A 2.2.15: Anteil THGMP der Tierhaltung abzgl. pflanzl. Nahrung an LW Emissionen

*THGMP der Tierhaltung inkl. Futteranbau abzgl. pflanzl. Nahrung  
/ Emissionen LW*

$$34,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} / 62,7 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 54,4 \%$$

### **Anhang 2.3: Düngung**

A 2.3.1: THGMP restliche Düngung

*Gesamtemissionen der Düngung*

*– THGMP des wegfallenden Futterbaus durch weniger Düngung*

$$9,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} - 3 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 6,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

A 2.3.2: Anteil benötigte Fläche durch höheren Ertrag der biozyklischen Humuserde (Annahme: Ertrag um 45 % höher)

$$1 / 1,45 = 0,69$$

➔ 69 % der Fläche für 100 % Ertrag

A 2.3.3: LW Fläche durch höheren Ertrag der biozyklischen Humuserde

*LW Fläche nach Abzug Futterbau*

*\* Anteil benötigte Fläche durch höheren Ertrag*

$$11,6 \text{ Mio. ha} * 0,69 = 8 \text{ Mio. ha}$$

A 2.3.4: Wegfallende Fläche durch höheren Ertrag der biozyklischen Humuserde



*Landw. Fläche nach Abzug Futterbau*  
– Landw. Fläche nach Abzug durch höheren Ertrag

$$11,6 \text{ Mio. ha} - 8 \text{ Mio. ha} = 3,6 \text{ Mio. ha}$$

A 2.3.5: Anteil wegfallende Fläche durch höheren Ertrag der biozyklischen Humuserde

*Wegfallende Fläche durch höheren Ertrag der biozyklischen Humuserde*  
*/ Fläche LW*

$$3,6 \text{ Mio. ha} / 16,6 \text{ Mio. ha} = 21,7 \%$$

A 2.3.6: THGMP der biozyklischen Humuserde durch weniger Bewirtschaftung des landw. Boden

*Anteil wegfallende Fläche durch höheren Ertrag \* Emissionen landw. Boden*  
 $21,7 \% * 16,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 3,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$

A 2.3.7: THGMP durch Düngung

THGMP der biozyklischen Humuserde + THGMP Düngung nach Abzug Futterbau

$$3,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} + 6,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 10,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

A 2.3.8: THGMP im Sektor Landwirtschaft

*THGMP Tierhaltung abzgl. planzl. Nahrung + THGMP Düngung*

$$34,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} + 10,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

A 2.3.9. Anteil des THGMP im Sektor LW an den Emissionen der LW

*THGMP im Sektor LW / Emissionen LW*

$$44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 62,7 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 71,1 \%$$

## **Anhang 2.4: Landnutzungsänderung**

### A 2.4.1: Gesamte frei werdende Fläche

*Wegfallende Fläche durch Futteranbau + durch biozyklische Humuserde*

$$5 \text{ Mio. ha} + 3,6 \text{ Mio. ha} = 8,6 \text{ Mio. ha}$$

### A 2.4.2: Freies Grünland

*Anteil biozyklisch – veganer LW \* Grünland*

$$100\% * 4,7 \text{ Mio. ha} = 4,7 \text{ Mio. ha}$$

### A 2.4.3: Freies Ackerland

*Gesamte freie Fläche – Fläche Grünland*

$$8,6 \text{ Mio. ha} - 4,7 \text{ Mio. ha} = 3,9 \text{ Mio. ha}$$

### A 2.4.4: Moorfläche, die entwässert ist

*Moorfläche \* Anteil Entwässerung an Moorfläche*

$$1,8 \text{ Mio. ha} * 92\% = 1,7 \text{ Mio. ha}$$

### A 2.4.5: Moorfläche, die als Grünland genutzt wird

*Moorfläche \* Anteil Grünland an Moorfläche*

$$1,8 \text{ Mio. ha} * 52\% = 0,9 \text{ Mio. ha}$$

### A 2.4.6: Moorfläche, die als Ackerland genutzt wird

*Moorfläche \* Anteil Ackerland an Moorfläche*

$$1,8 \text{ Mio. ha} * 19\% = 0,3 \text{ Mio. ha}$$

A 2.4.7: THGMP je Hektar bei Wiedervernässung von Grünland

*Emissionen entwässertes Grünland – Emissionen wiedervernässte Moorböden*

$$31,7 \text{ t/ha} - 5,5 \text{ t/ha} = 26,2 \text{ t/ha}$$

A 2.4.8: THGMP bei Wiedervernässung von Grünland

*THGMP je Hektar bei Wiedervernässung von Grünland*

*\* als Grünland genutzte Moorfläche*

$$26,2 \text{ t/ha} * 0,9 \text{ Mio. ha} = 23,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq. \#}$$

A 2.4.9: THGMP je Hektar bei Wiedervernässung von Ackerland

*Emissionen entwässertes Ackerland – Emissionen wiedervernässte Moorböden*

$$40 \text{ t/ha} - 5,5 \text{ t/ha} = 34,5 \text{ t/ha}$$

A 2.4.10: THGMP bei Wiedervernässung von Ackerland

*THGMP je Hektar bei Wiedervernässung von Ackerland*

*\* als Ackerland genutzte Moorfläche*

$$34,5 \text{ t/ha} * 0,3 \text{ Mio. ha} = 10,4 \text{ Mio t CO}_2 - \text{Äq.}$$

A 2.4.11: THGMP durch Wiedervernässung

*THGMP bei Wiedervernässung von Grünland*

*+ THGMP bei Wiedervernässung von Ackerland*

$$23,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} + 10,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 34 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

A 2.4.12: Restliches Grünland

*Fläche Grünland – Fläche wiedervernässtes Grünland*

$$4,7 \text{ Mio. ha} - 0,9 \text{ Mio. ha} = 3,8 \text{ Mio. ha}$$

A 2.4.13: Restliches Ackerland

*Fläche Ackerland – Fläche wiedervernässtes Ackerland*

$$3,9 \text{ Mio. ha} - 0,3 \text{ Mio. ha} = 3,6 \text{ Mio. ha}$$

A 2.4.14: THGMP durch Aufforstung von Ackerland

*Fläche restliches freies Ackerland \* Kohlenstofffestlegung eines Waldes*

$$3,6 \text{ Mio. ha} * 11 \text{ t CO}_2 - \text{Äq./ha} = 39,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

A 2.4.15: THGMP durch Landnutzungsänderung im Sektor LULUCF

*THGMP durch Wiedervernässung + THGMP durch Aufforstung von Ackerland*

$$34 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} + 39,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 73,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

A 2.4.16: Gesamtes THGMP bei 100 % biozyklisch-veganer LW

*THGMP Sektor LW + THGMP Sektor LULUCF*

$$44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} + 73,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} = 118,2 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

### **Anhang 3: Berechnung des Treibhausgasminderungspotentials bei 30 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft**

*THGMP bei 100 % biozyklisch – veganer LW*

*\* Anteil von 30 % biozyklisch – veganer LW*

THGMP Verdauung Tierhaltung

$$26,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.} * 30 \% = 7,8 \text{ Mio. t CO}_2 - \text{Äq.}$$

THGMP Futterbau

$$8 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 30 \% = 2,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Düngung

$$10,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 30 \% = 3,2 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Sektor Landwirtschaft

$$44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 30 \% = 13,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

Anteil THGMP Sektor Landwirtschaft an Emissionen Sektor Landwirtschaft

$$\text{THGMP Sektor LW} / \text{Emissionen Sektor LW}$$

$$13,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 62,7 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 21,4 \%$$

THGMP Wiedervernässung

$$34 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 30 \% = 10,2 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Aufforstung

$$39,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 30 \% = 11,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Landnutzungsänderung

$$73,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 30 \% = 22,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP bei 30 % biozyklisch-vegane Landwirtschaft

$$118,2 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 30 \% = 35,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

#### **Anhang 4: Berechnung des Treibhausgasminderungspotentials bei 10 % biozyklisch-veganer Landwirtschaft**

*Treibhausgasminderungspotential bei 100 % biozyklisch – veganer LW*

*\* Anteil von 10 % biozyklisch – veganer LW*

THGMP Verdauung Tierhaltung

$$26,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 2,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Futterbau

$$8 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 0,8 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Düngung

$$10,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 1,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Sektor Landwirtschaft

$$44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 4,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

Anteil THGMP Sektor Landwirtschaft an Emissionen Sektor Landwirtschaft

$$\textit{THGMP Sektor LW / Emissionen Sektor LW}$$

$$4,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 62,7 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 7,2 \%$$

THGMP Wiedervernässung

$$34 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 3,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Aufforstung

$$39,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP Landnutzungsänderung

$$73,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 7,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

THGMP bei 10 % biozyklisch-vegane Landwirtschaft

$$118,2 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} * 10 \% = 11,9 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

## **Anhang 5: Anteile der Kategorien am THGMP**

$$\textit{THGMP der Kategorie / THGMP des Sektors}$$

Anteil des THGMP der Verdauung von Nutztieren am THGMP der LW

$$26,1 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 58,5 \%$$

Anteil des THGMP des Futteranbaus am THGMP der LW

$$8 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 17,9 \%$$

Anteil des THGMP der Düngung am THGMP der LW

$$10,5 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 23,5 \%$$

Anteil des THGMP der Wiedervernässung am THGMP LULUCF

$$34 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 73,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 46,2 \%$$

Anteil des THGMP der Aufforstung am THGMP LULUCF

$$39,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 73,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 53,8 \%$$

## **Anhang 6: Berechnung Erreichen der Klimaziele**

Reduzierung der Emissionen im Sektor LW bis 20230

*Emissionen Sektor LW – Zielwert 2030*

$$62,7 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} - 57,3 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 5,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

Reduzierung der Emissionen im Sektor LW bis 20230 in Prozent

*Reduzierung Emissionen Sektor LW / Emissionen LW*

$$5,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 62,7 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 8,6 \%$$

Anteil biozyklisch-veganer LW, um Klimaziele im Sektor LW zu erreichen

*Reduzierung der Emissionen im Sektor LW bis 20230 / THGMP der biozyklisch  
– veganen LW im Sektor LW*

$$5,4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 44,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 12,1 \%$$

Reduzierung der Emissionen im Sektor LULUCF bis 2030

*Emissionen Sektor LULUCF – Zielwert 2030*

$$4 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} - (-25 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}) = 29 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.}$$

Anteil biozyklisch-veganer LW, um Klimaziele im Sektor LULUCF zu erreichen

*Reduzierung der Emissionen im Sektor LULUCF bis 20230 / THGMP der biozyklisch  
– veganen LW im Sektor LULUCF*

$$29 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} / 73,6 \text{ Mio. t CO}_2 - \ddot{\text{A}}\text{q.} = 39,4 \%$$

### Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Fall als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das Gleiche gilt auch für beigegebene Zeichnungen, Kartenskizzen und Abbildungen. Der Textteil der Arbeit (inkl. Leerzeichen und Anmerkungen) umfasst 85.834 Zeichen.

Solingen, 26.01.2024

Ort, Datum



Unterschrift der\*des Studierenden