



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 102 | Ausgabe 3

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Treibhausgasemissionen und Klimaschutzpotentiale der Tierhaltung in NRW unter Berücksichtigung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten

Peter Breunig, Miriam Kemnade, Yakzan Marouf und Marcus Mergenthaler

- 1 Hintergrund
- 2 Stand der Forschung zur Reduktion von tierhaltungsbedingten Treibhausgasen
 - 2.1 Reduktion von Produktionsemissionen (PEM)
 - 2.2 Veränderung des Lebensmittelkonsums
 - 2.3 Flächengebundene Kohlenstoffspeicherung
 - 2.3.1 Direkte Landnutzungsänderung (dLUC)
 - 2.3.2 Indirekte Landnutzungsänderung (iLUC)
 - 2.3.3 Kohlenstoff-Opportunitätskosten (COC)
- 3 Daten und Methoden
 - 3.1 Methodische Grundlagen der Szenarienberechnung
 - 3.2 Datenquellen
- 4 Ergebnisse und Diskussion
 - 4.1 Übersicht der Szenarien auf der Angebots- und Nachfrageseite
 - 4.2 Detailergebnisse der Szenarien auf der Angebotsseite
 - 4.3 Detailergebnisse der Szenarien auf der Nachfrageseite
 - 4.4 Methodische Einschränkungen
 - 4.4.1 Lückenhafter Detailgrad PEM-bezogener Reduktionspotentiale
 - 4.4.2 Fehlende räumliche und nutzungsbezogene Kennwerte der Kohlenstoffbindungspotentiale
 - 4.4.3 Effizienzbetrachtung vs. Marktmodellierung
 - 4.4.4 Fehlende Berücksichtigung anderer Nachhaltigkeitsindikatoren
 - 4.5 Handlungsempfehlungen
- 5 Schlussbetrachtungen

1 Hintergrund

Das globale Agrar- und Ernährungssystem ist weltweit für ein Drittel aller Treibhausgasemissionen verantwortlich (Crippa et al. 2021). Deutliche Klimaschutzmaßnahmen im Agrar- und Ernährungssektor sind essenziell, um formal gesteckte nationale bzw. sektorale, aber insbesondere tatsächliche Klimaziele effektiv zu erreichen (Clark et al. 2020). Die Reduktion tierhaltungsbedingter Treibhausgase (THG) wird als zentrales Instrument neben der Wiedervernässung von Mooren zur Erreichung sektoraler landwirtschaftlicher Klimaschutzziele in Deutschland angesehen (Osterburg 2021; Xu et al. 2021). Nachfrageseitig wird der Konsumreduktion von tierischen Produkten eine starke, effektive – bilanztechnisch jedoch nicht wirksame – Klimaschutzwirkung zugesprochen (Sun et al. 2022; Theurl et al. 2020). Offen bleibt vielfach, ob und falls ja wie die Produktion und der Konsum tierischer Produkte an welchen Stellen wie zueinander im Verhältnis stehen (Breunig et al. 2022).

Aktuell werden verschiedene Methoden angewandt, um die Klimawirkung von Landnutzung zu bewerten (GHG Protocol 2024). Die Einbeziehung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten (COC – carbon opportunity cost) stellt einen methodisch neuen Ansatz dar, der in mehreren begutachteten Publikationen in unterschiedlichsten Fragestellungen angewendet wurde (z.B. Saget et al. 2021). Der Ansatz basiert auf der Besonderheit, dass bei der Klimabewertung in der Landwirtschaft die Emissionen bei Beendigung der Aktivität nicht nur auf null zurückgehen, sondern zusätzlich eine positive Klimawirkung durch die Kohlenstoff-Speicherleistung der natürlichen Vegetation entsteht. Die Kohlenstoff-Opportunitätskosten quantifizieren diese entgangene Kohlenstoff-Speicherleistung in Tonnen CO_{2e} pro Tonne Agrarprodukt. In Bezug auf die Tierhaltung führt der Ansatz insbesondere durch die Berücksichtigung von anteiligen Futteranbauflächen zu neuen Erkenntnissen hinsichtlich der Klimawirkung der Tierhaltung (Hayek et al. 2021; Xu et al. 2021). Wie in Breunig et al. (2022) dargelegt, ist die Berücksichtigung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten bei der Bewertung der Klimawirkung der Landwirtschaft erforderlich, um eine effiziente Nutzung der global knappen Fläche aus Klimagesichtspunkten zu gewährleisten. Daher sollte die Effizienzbetrachtung von Angebots- und Nachfrageseite zur Identifikation optimierter Handlungsoptionen separat erfolgen.

In Anlehnung an Hanson et al. (2023) wurden bereits von Breunig et al. (2022) sehr allgemeine Handlungsempfehlungen aus der Literatur abgeleitet:

- (1) Die Umnutzung von natürlicher Vegetation in landwirtschaftlich genutzte Flächen sollte so schnell wie möglich weltweit beendet werden.
- (2a) Auf der Angebotsseite sollten Produktionsemissionen pro Produkteinheit reduziert werden, wobei insbesondere Methan und Lachgas in der Landwirtschaft zu berücksichtigen sind.
- (2b) Auf der Nachfrageseite ist eine stärkere Ausrichtung der Ernährungsweise auf pflanzliche Produkte erforderlich, um ernährungsbezogene Produktionsemissionen und den Flächenbedarf zu senken.
- (3) Flächen, die in natürlichem Zustand größere Klimavorteile liefern als bei landwirtschaftlicher Nutzung, sollten renaturiert werden.

(4) Die Produktion von Lebensmitteln auf der vorhandenen landwirtschaftlichen Nutzfläche zu erhöhen, bietet Klimaschutzvorteile, die genutzt werden sollten.

Bei der herkömmlichen und von internationalen Klimaabkommen vorgegebenen territorialen Bilanzierung von THG im Entstehungsland wird meist abgeleitet, die Tierhaltung zur Erreichung von Klimaschutzziele zu reduzieren (z.B. BCG, 2019). Unter der Annahme von tierischen Produkten als jeweils homogene Güter, mit unveränderter Mengennachfrage und ohne deren Außenhandelsschutz kommt es dann zu Verlagerungseffekten (leakage Effekten). Diese Verlagerungseffekte können nachteilig für einen effektiven Klimaschutz sein, wenn eine mengenidentische Substitution von Produkten erfolgt, die importiert und konsumiert werden und die eine höhere Klimawirkung aufweisen als die inländisch erzeugten Produkte. Der Ansatz der Kohlenstoff-Opportunitätskosten kann hingegen sicherstellen, dass die Erzeugung und der Konsum im Agrar- und Ernährungssystem unter Berücksichtigung von Landnutzungseffekten so angepasst werden, dass die Klimawirkung global minimiert wird. Weitere Details dieses Ansatzes haben wir in der Veröffentlichung „Besonderheiten des Klimaschutzes im Agrar- und Ernährungssystem – was müssen wir neu denken?“ von Breunig et al. (2022) ausführlicher jedoch nur allgemein und prinzipiell dargestellt.

Die von uns bei Breunig et al. (2022) erläuterten allgemeinen Grundsätze wurden bisher kaum in konkreten Modellrechnungen bezogen auf die Tierhaltung in definierten Gebieten oder Regionen angewandt. Ausnahme ist bisher die Studie „A Pathway to Carbon Neutral Agriculture in Denmark“ von Searchinger et al. (2021). Dabei leiten die Autor:innen auf Basis aktueller Literatur die Empfehlung ab, die Tierhaltung bzgl. ihrer Klima- und Umweltauswirkungen in der Erzeugung vor Ort deutlich nachhaltiger zu gestalten, die Gesamterzeugung aus Klimaschutzsicht aber zu erhalten bzw. auszubauen. Eine ähnliche Modellrechnung wie in Searchinger et al. (2021) wurde bisher noch nicht für Deutschland oder Teilregionen in Deutschland durchgeführt. NRW bietet sich zur exemplarischen Anwendung des Ansatzes aufgrund seiner hohen bevölkerungsbedingten Nachfrage und seiner angebotsseitigen intensiven Tierhaltungsregionen an. Da die Tierhaltung in NRW zunehmend gefordert ist, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und unterschiedliche – teils widersprüchliche – Einschätzungen zu Klimawirkung und entsprechend unterschiedlichen Klimaschutzmaßnahmen geäußert werden (vgl. Morris et al. 2024), scheint eine Objektivierung der Debatte mittels methodisch verbesserter Modellrechnung verschiedener Klimaschutzszenarien durch eine angepasste Tierhaltung und angepassten Konsum tierischer Produkte angeraten.

Mit der vorliegenden Untersuchung werden unter Berücksichtigung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten exemplarisch klimabilanzielle Grundlagen erarbeitet, wie sich strukturwirksame Veränderungen der Tierhaltung und des Konsums tierischer Produkte auf die Erreichung von Klimaschutzziele auswirken. In die Berechnungen wurden aktuelle Emissionsfaktoren von Bodennutzungs- und Tierhaltungsverfahren aus NRW einbezogen (vgl. LWK NRW 2024). Anhand unterschiedlicher gemeinsam mit Stakeholdern festgelegter Szenarien wurden Auswirkungen abgeschätzt, politische Steuerungsmöglichkeiten eingegrenzt und Entwicklungsperspektiven für landwirtschaftliche Tierhaltungsbetriebe und

die Veredelungswirtschaft in NRW aufgezeigt. Durch die wiederholte Einbindung von relevanten Stakeholdern zur Szenarienbildung und -validierung wurde im Sinne eines transformativen Forschungsprojektes ein enger Schulterschluss zwischen Wissenschaft und der Praxis in Privatwirtschaft, Verbänden, Verwaltung und Agrarpolitik erreicht und sichergestellt.

2 Stand der Forschung zur Reduktion von tierhaltungsbedingten Treibhausgasen

Zur Reduktion von tierhaltungsbezogener Treibhausgasen (THG) werden in der Literatur verschiedene Strategien und Maßnahmen diskutiert.

2.1 Reduktion von Produktionsemissionen (PEM)

Es sind eine Reihe von Strategien zur Verringerung der direkten produktionsgebundenen THG-Emissionen aus der Tierproduktion vorhanden (Havlík et al. 2014; LWK NRW 2024; Herrero&Thornton 2009). Dazu gehört zentral die Verbesserung der Produktivität der Tiere durch beispielsweise genetische Selektion, produktionszielangepasste und damit effizientere Ernährung und eine Erhöhung der Fortpflanzungseffizienz (Gerber et al. 2010, Montes et al. 2013, Hristov et al. 2013). Im Bereich der Zucht und Genetik kann dies z.B. durch gezielte Zucht auf eine bessere Futterverwertung, durch den Einsatz von gesextem Sperma in der Herdenremontierung zur Reduktion von nicht für den Fortbestand der Herde benötigten Jungtieren realisiert werden. Weitere Ansätze im Bereich der Ernährung sind eine regelmäßige Rationskontrolle und die Verbesserung der Futterqualität (Montes 2013, Hristov 2013). So ist beispielsweise in qualitativ hochwertigen Futtermitteln die Nährstoffverfügbarkeit deutlich höher, sodass die ernährungsphysiologische Nutzung verbessert und Stoffwechselverluste reduziert werden können. Auch die Optimierung des Güllemanagements ist zentral (Fangueiro et al. 2023). Ineffiziente Nährstoffverluste als potentielle THG-Quelle bei der Gülleverwertung lassen sich v.a. durch bodennahe Ausbringtechniken sowie Abdeckmöglichkeiten bei der Lagerung verhindern (Amon et al. 2023). Um die genannten THG-Reduktionspotentiale vollends ausschöpfen zu können, ist die Kenntnis betrieblicher Daten von zentraler Bedeutung. Deswegen wird ebenfalls der Einsatz von datengesteuerten Entscheidungshilfen vorgeschlagen, um Potentiale ermitteln zu können und damit die Produktivität zu verbessern (Thumba 2020). Als geeignete Methoden zur Verringerung insbesondere enterischer Emissionen bei der Wiederkäuerhaltung wird die Anpassung der Ernährung und des Futtermittelmanagements sowie bestimmte Ergänzungsfuttermittel identifiziert (Liu&Liu 2018, Liu et al. 2021). Die Entwicklung kommerziell einsetzbarer Techniken zur signifikanten Verringerung der Methanemissionen aus extensiven Tierhaltungssystemen bleibt jedoch eine Herausforderung (Henry&Eckard 2009).

2.2 Veränderung des Lebensmittelkonsums

Veränderte Ernährungsgewohnheiten können einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, indem sie die mit der Produktion, Distribution und dem Konsum von Lebensmitteln verbundenen Emissionen verringern (Carlsson-Kanyama 1998). Ein wichtiger Aspekt der Umstellung des Lebensmittelkonsums im Hinblick auf den Klimaschutz ist die Reduzierung des Konsums von tierischen Produkten, insbesondere von Wiederkäuern und dabei vor allem von Rindern (Hedenus et al 2014). Die landwirtschaftliche Tierhaltung trägt wesentlich zu den Treibhausgasemissionen bei, primär durch tierhaltungsassoziierte Methan- und Lachgasemissionen (Gerber et al. 2013; Kuhla&Viereck 2022; Dillon et al. 2021). Indem die Nachfrage nach Fleisch- und Milchprodukten verringert wird und ein Umstieg auf pflanzliche Alternativen stattfindet, kann der THG-Fußabdruck erheblich reduziert werden (Xu et al. 2021). Dabei trägt eine pflanzenbetonte Ernährung dazu bei, den Druck auf die Landnutzung zu mindern und Landnutzungsänderungen zu reduzieren, da weniger Land für die Futtermittelproduktion benötigt würde (Röös et al. 2017). Dadurch könnte die Erhaltung und Wiederherstellung von Wäldern, Mooren und anderen kohlenstoffreichen Ökosystemen ermöglicht werden, die als Kohlenstoffsinken fungieren und zur Abschwächung des Klimawandels beitragen (Di Sacco et al. 2021). Im Verhältnis zu Produktionsemissionen und Emissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen spielen Transportemissionen eine weit- aus geringere Rolle (Crippa et al. 2021). Wichtiger für den Klimaschutz ist weniger, wie weit Lebensmittel transportiert werden, sondern wo sie klimaeffizient produziert werden (Tubiello et al. 2021). Ein weiterer entscheidender Aspekt des Klimaschutzes ist die Verringerung der Lebensmittelverschwendung durch eine Änderung der Konsummuster (Reisch et al. 2021). Lebensmittelabfälle tragen beträchtlich zu den weltweiten Treibhausgasemissionen bei, da nutzlose Emission in der Produktion verursacht werden (Skaf et al. 2021). Dies geschieht sowohl direkt durch Methanemissionen aus der Zersetzung organischer Stoffe in Deponien als auch indirekt durch den Energie- und Ressourcenverbrauch bei der Lebensmittelproduktion, -verarbeitung und -verteilung (Tang 2020). Um diese Emissionen zu reduzieren, ist es wichtig, Lebensmittelverschwendung zu minimieren (Zhu et al. 2023).

2.3 Flächengebundene Kohlenstoffspeicherung

In der Literatur gibt es drei zentrale Messgrößen zur Quantifizierung von Emissionen aus der Flächennutzung zur Futterproduktion:

1. Direkte Emissionen aus Landnutzungsänderungen (dLUC): THG-Emissionen, die durch die Umwandlung von Land mit natürlicher Vegetation für die Futterproduktion entstehen (Schmidt, Weidema, Brandao 2015)
2. Indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC-Emissionen): THG-Emissionen, die anderswo entstehen, wenn die Futterproduktion an einem Ort die Landnutzung in anderen Teilen der Welt beeinflusst (Leckage) (Schmidt, Weidema, Brandao 2015)

3. Kohlenstoff-Opportunitätskosten (COC): Jährlicher Kohlenstoffverlust aus der natürlichen Vegetation und den Böden, der aus der Futterproduktion resultiert, oder der Kohlenstoff, der jährlich gebunden werden könnte, wenn das Land renaturiert, anstatt zur Futterproduktion genutzt würde (Searchinger et al. 2018)

2.3.1 Direkte Landnutzungsänderung (dLUC)

Die Produktion von Futtermitteln für die landwirtschaftliche Tierhaltung hat erhebliche Auswirkungen auf die Flächennutzung. Die Tierhaltung erfordert große Flächen für Weidehaltung, für die direkte Futtermittelproduktion und die anteilige Futtermittelproduktion bei bisherigen Koppelprodukten bzw. Nebenprodukten der pflanzlichen Lebensmittelproduktion. Die Produktion von Futtermitteln führte in der Vergangenheit und aktuell noch immer zur Umwandlung von Wäldern und anderen kohlenstoffreichen natürlichen Ökosystemen in landwirtschaftliche Nutzflächen. Laut van Zanten (2016) werden insgesamt 70 % der landwirtschaftlichen Grünland- und Ackerflächen weltweit für diesen Zweck genutzt. Die Rindfleischproduktion erfordert zwar eher Grünland, insgesamt jedoch deutlich mehr ursprünglich natürliche Landressourcen als andere Tierhaltungskategorien (Eshel et al. 2014). Die Nutzung von Grünland zur Viehhaltung trug oder trägt zur Entwaldung bei (Rolinski et al. 2014). Die Umweltauswirkungen der Viehhaltung können durch Maßnahmen wie die Verbesserung der Produktivität der Tiere und die Nutzung von Grenzertragsflächen der Lebensmittelerzeugung verringert werden (de Boer 2016). Dies benötigt im Sinne des Tierwohls jedoch angepasste Zuchtlinien und ausreichend fachliches Knowhow. Trotz alledem trägt die Tierhaltung durch die Landnutzungsänderung nach wie vor erheblich zu den Umweltauswirkungen bei, wie zum Beispiel dem Verlust der biologischen Vielfalt an Land, der Versauerung des Bodens sowie der Luft- und Wasserverschmutzung (Leip et al. 2015). In der THG-Bilanzierung wird Landnutzungsänderung jedoch meist nach einer Stichtagsregelung berücksichtigt (meist im Jahr 2008), wonach Landnutzungsänderungen nach dem Stichtag zu bilanzieren sind und solche vor dem Stichtag in der Bilanzierung ignoriert werden. Aufgrund der Dauerhaftigkeit der Klimawirkung von freigesetztem CO₂ durch Landnutzungsänderung ist die Stichtagsregelung methodisch willkürlich und bio-physikalisch nicht begründbar. In der Bilanzierung wirft sie grundlegende verteilungspolitisch motivierte Gerechtigkeitsfragen auf (Hayek et al. 2023).

2.3.2 Indirekte Landnutzungsänderung (iLUC)

Indirekte Landnutzungsänderung (indirect land use change - iLUC) durch Tierhaltung beziehen sich auf komplexe und miteinander verknüpfte Ketten von Umweltauswirkungen. Die direkten Auswirkungen der Tierhaltung, wie Methanemissionen, Wasserverbrauch und Entwaldung für Futteranbauflächen, sind leicht zu erkennen. iLUC befasst sich jedoch mit den indirekten und weniger offensichtlichen Auswirkungen auf Landnutzungsmuster durch veränderte Angebots- und Nachfrageverhältnisse bei der Ausweitung des Konsums und der Produktion tierischer Nahrungsmittel. Mit der steigenden Nachfrage nach tierischen Produkten steigt auch der Bedarf an Flächen für den Anbau von Futtermitteln. Wird durch die Futtermittelnachfrage die direkte Lebensmittelproduktion auf einer Fläche verdrängt und

werden diese Lebensmittel dann auf dafür entwaldeten Flächen angebaut, kommt es zu einer indirekten Landnutzungsänderung (iLUC). Wird durch die Landnutzungsänderung Kohlenstoff freigesetzt, trägt der Anbau von Futtermitteln auf Grünland- oder Ackerflächen selbst dann zum Klimawandel bei, wenn die direkt genutzten Flächen schon lange landwirtschaftlich genutzt werden, die verdrängte Produktion jedoch an anderer Stelle zur Landnutzungsänderung beiträgt. Indirekte Landnutzungsänderung ist durch komplexe Marktmechanismen („Modell der verbundenen Röhren“) zwar prinzipiell nachweisbar, jedoch nicht auf einzelne Ursachen und Produkte zurückzuführen. In der THG-Bilanzierung wird indirekte Landnutzungsänderung aus Gründen der mangelnde Operationalisierbarkeit deshalb faktisch ignoriert, obwohl die prinzipielle Wirkungsweise nicht ernsthaft angezweifelt wird.

2.3.3 Kohlenstoff-Opportunitätskosten (COC)

Direkte (dLUC) und indirekte (iLUC) Landnutzungsänderung haben inhärente Grenzen, da keine der beiden Methoden die potentielle Kohlenstoffbindung von aktuell genutztem Land für die Tierhaltung in seinem natürlichen Zustand berücksichtigt. Während beispielsweise der Kohlenstoff-Fußabdruck von Sojabohnen aus einem kürzlich abgeholzten Gebiet in Brasilien dLUC-Emissionen enthalten kann, werden bei den in Europa angebauten Sojabohnen die Emissionen aus der Landnutzung nicht berücksichtigt. Dies ist bio-physikalisch inkonsistent und methodisch willkürlich, weil die europäischen Flächen ursprünglich ebenfalls abgeholzt wurden (z.B. Kaplan et al. 2009 & 2011; McGrath et al. 2015), und mit den damals verursachten THG-Emissionen zum Klimawandel heute beitragen. Würde die Fläche der in Europa angebauten Sojabohnen nicht bewirtschaftet werden, könnten über die Zeit durch die natürliche Vegetation wieder erhebliche Mengen an Kohlenstoff aus der Atmosphäre dauerhaft gebunden werden. Wenn europäisches Soja für die Tierhaltung eingesetzt wird und dabei beispielsweise Weizen für die Humanernährung verdrängt, der dann anderswo auf der Welt angebaut werden muss, können dadurch außerdem Emissionen durch Landnutzungsänderung entstehen. Aktuell übliche Methoden zur THG-Bilanzierung übersehen das beträchtliche Kohlenstoffspeicherungspotential der meisten europäischen Ackerflächen.

COC ist komplexer zu kommunizieren, ergänzt aber dLUC und iLUC, indem es deren Grenzen berücksichtigt und somit zu einer ganzheitlicheren Perspektive beiträgt. Der Unterschied zwischen sektoraler Bilanzierung und dem COC-Ansatz ist vergleichbar mit dem Unterschied zwischen Liquiditätsrechnung und Profitabilitätsrechnung in der Betriebswirtschaft: Sektorale Bilanzen betrachten Flüsse von Treibhausgasen und sind rein auf die Angebotsseite und nationale Grenzen fokussiert. Der COC-Ansatz berücksichtigt auch „Klimakosten“, die nicht Treibhausgasflüsse darstellen, aber für Entscheidungen zur optimalen Nutzung der knappen Ressource Land auf globaler Ebene unerlässlich sind. Nur durch die Einbeziehung von COC können wir Entscheidungen treffen, die zu einer aus Klimaschutzsicht optimalen Landnutzung weltweit führen. Vergleichbar ist dies mit dem Lohnansatz der eigenen Arbeit im eigenen Betrieb: Wird die eigene Arbeit im eigenen Betrieb eingesetzt, entstehen zwar keine Geldflüsse in Form von Löhnen, aber für Investitionsentscheidungen ist der Lohnansatz (Opportunitätskosten der eigenen Arbeit) immens wichtig, da es nur dadurch zu einer optimalen Nutzung der eigenen Arbeitskraft kommt.

Das Grundprinzip der Kohlenstoff-Opportunitätskosten (COC) besteht darin, dass jede Landfläche eine Kohlenstoffbindungskapazität hat, die bei Landnutzung jedoch nicht ausgeschöpft wird, da die natürliche Vegetation in der Regel mehr Kohlenstoff bindet als die landwirtschaftliche Nutzung. In einer grundlegenden Studie haben Searchinger et al. (2018) "COC-Faktoren" für alle wichtigen landwirtschaftlichen Produkte quantifiziert. Diese Faktoren stellen das verlorene Potential für die Kohlenstoffspeicherung aufgrund der Landnutzung bestimmter Produkte dar, angegeben in Tonnen CO₂ pro Tonne Agrarprodukt im globalen Durchschnitt. Bei ihrem Ansatz bewerteten die Autoren entweder die Menge an CO₂, die in der Vergangenheit verloren ging („loss method“), oder die potentielle Kohlenstoffspeicherung („gain method“), die durch die Wiederherstellung der natürlichen Vegetation auf den derzeit weltweit für bestimmte landwirtschaftliche Erzeugnisse genutzten Flächen entsteht. Kohlenstoff-Opportunitätskosten werden bisher kaum in THG-Bilanzen einbezogen. Bisherige THG-Bilanzen bilden deshalb die Klimawirkung der Tierhaltung nicht sachgemäß und nicht umfassend ab.

3 Daten und Methoden

Um strukturwirksame Veränderungen der Tierhaltung auf die Erreichung von Klimaschutzziele abzusätzen, wurden unter Berücksichtigung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten klimabilanzielle Grundlagen erarbeitet. Methodisch wurden szenarienbasierte bio-physikalische Modellrechnungen durchgeführt. Als Basis diente eine Literatur- und Dokumentenanalyse in Kombination mit zwei Validierungs-Workshops. In den Modellrechnungen wurde in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Validierungs-Workshops unterschiedliche Szenarien abgeschätzt. Kennzeichnend für das methodische Vorgehen ist, dass durch die Workshops ein Wissens- und Erkenntnisaustausch und -transfer verankert wurde und damit relevante Stakeholder eingebunden wurden. Die Studie wurde in sechs zeitlich aufeinander aufbauende Phasen untergliedert. Die Phasen und ihre Arbeitsschritte werden nachfolgend skizziert:

1. Es wurde ein grundlegendes erstes bio-physikalisches Rechenmodell entwickelt, das den aktuellen Erkenntnisstand zur Bilanzierung von Treibhausgasen strukturiert. Dabei erfolgten eine umfassende Übersicht und ein Vergleich bisheriger Berechnungsmodelle, um deren Stärken und Schwächen herauszuarbeiten. Im Fokus stand die kritische Auswahl eines geeigneten Grundlagenmodells für die THG-Bilanzierung. Dieser Auswahlprozess berücksichtigte verschiedene Aspekte, darunter die Modellkomplexität, Anwendbarkeit auf unterschiedliche Kontexte sowie der Einbezug relevanter THG-Quellen und -Senken. Im Anschluss erfolgte eine detaillierte Anpassung und vorläufige Parametrisierung des ausgewählten Modells unter Einbeziehung von Literaturdaten und Experteneinschätzungen. Diese Schritte waren entscheidend, um das Modell an die spezifischen Gegebenheiten in NRW anzupassen und eine präzise THG-Bilanzierung zu gewährleisten. Der Entwurf vorläufiger Szenarien war ein weiterer zentraler Bestandteil, wobei die finale Festlegung in Workshops mit Stakeholdern erfolgte.

2. Im nächsten Schritt wurde das vorläufige Berechnungsmodell, die Parametrisierung und die Szenarien durch eine intensive Zusammenarbeit mit relevanten Stakeholdern validiert. Dieser Prozess wurde

in einem Workshop durchgeführt, bei dem Vertreter:innen des Ministeriums für Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MLV NRW), der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW), berufsständische Vertretungen und Umwelt-/Tier-NGOs aktiv teilnahmen. Das Hauptziel dieser Workshops war die umfassende Validierung der Struktur und des Aufbaus des Berechnungsmodells sowie die Weiterentwicklung der vorläufigen Szenarien. In enger Zusammenarbeit mit den Stakeholdern wurden darüber hinaus umstrittene Parametrisierungsgrößen identifiziert und diskutiert. Dieser partizipative Ansatz sollte sicherstellen, dass die entwickelten Modelle und Szenarien den realen Gegebenheiten und den Anforderungen der relevanten Interessengruppen entsprachen. Durch den Dialog mit den Stakeholdern wurde eine ganzheitliche Validierung angestrebt, die nicht nur technische Aspekte, sondern auch unterschiedliche Perspektiven und Meinungen einbezog, um so zu einer fundierten und akzeptierten Grundlage für die THG-Bilanzierung zu gelangen.

3. Anschließend erfolgte die Weiterentwicklung zu einem differenzierten NRW-Modell und die Durchführung von Szenarienberechnungen. Nach dem ersten Validierungsworkshop wurde das erhaltene Feedback in das Berechnungsmodell integriert, wobei Anpassungen am Differenzierungsgrad, der Berechnungsmethodik, der Parametrisierung und der Szenariengestaltung vorgenommen wurden. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden kritische Parameter identifiziert, um ihre Auswirkungen auf die Modellergebnisse zu verstehen. Zur weiteren Verfeinerung erfolgten bedarfsabhängige Einzelkonsultationen mit Expert:innen und zentralen Akteuren. Diese Konsultationen ermöglichten eine intensive Diskussion spezifischer Aspekte des Modells, und auf Grundlage dieser Einzelberatungen wurden gezielte Anpassungen durchgeführt.

4. Die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des zweiten Workshops diente der Validierung der Ergebnisse. Es wurden die Ergebnisse aus den zuvor durchgeführten Szenarienberechnungen vorgestellt. Die Workshop-Teilnehmer:innen setzten sich erneut aus Vertreter:innen des Ministeriums für Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MLV NRW), der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW), berufsständischen Vertretungen sowie Tierschutz-NGOs zusammen. Durch intensive Diskussionen und Rückmeldungen seitens der Teilnehmenden wurde eine umfassende Bewertung der präsentierten Szenarienergebnisse vorgenommen, um sicherzustellen, dass sie den Erwartungen und Anforderungen der relevanten Interessengruppen entsprechen.

5. Die Finalisierung des differenzierten NRW-Modells und die Validierung der Szenarien erfolgten in einem abschließenden Schritt. Das erhaltene Feedback aus dem zweiten Validierungsworkshop wurde sorgfältig in das Berechnungsmodell eingearbeitet, wobei Anpassungen am Differenzierungsgrad, der Berechnungsmethodik, der Parametrisierung und der Szenariengestaltung berücksichtigt wurden. Eine Feinabstimmung der Sensitivitätsanalyse erfolgte, um kritische Parameter weiter zu optimieren und ihre Auswirkungen auf die Modellergebnisse genauer zu verstehen. Parallel dazu wurden bedarfsabhängige Einzelkonsultationen mit Expert:innen und zentralen Akteuren durchgeführt, um spezifische Aspekte des Modells intensiv zu diskutieren und gezielte Anpassungen vorzunehmen. Diese Schritte

fürten zur endgültigen Ausarbeitung eines differenzierten NRW-Modells und zur Validierung der Szenarien. Dieser Prozess gewährleistete, dass das Modell den Ansprüchen der beteiligten Stakeholder entspricht und von ihnen akzeptiert wurde.

6. Die Ableitung von Handlungsempfehlungen für einen effizienteren Klimaschutz durch eine weiterentwickelte landwirtschaftliche Tierhaltung erfolgte im letzten Schritt der Studie. Es wurden Perspektiven für die Weiterentwicklung der landwirtschaftlichen Tierhaltung und der Verarbeitungsindustrie in NRW aufgezeigt, die sich durch effizienteren Klimaschutz auszeichnen. Die Empfehlungen umfassten konkrete Maßnahmen, die von der Politik ergriffen werden könnten, um die definierten Klimaschutzziele zu erreichen.

3.1 Methodische Grundlagen der Szenarienberechnung

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden insgesamt zehn Szenarien untersucht, sechs auf der Angebotsseite und vier auf der Nachfrageseite. Variierte Faktoren beinhalteten auf der Angebotsseite die Schweinefleischerzeugung, die Produktionsemissionen (PEM), den auf die Futterfläche bezogenen Ertrag der Schweinefleischerzeugung, die Milcherzeugung sowie den auf die Futterfläche bezogenen Ertrag der Milcherzeugung. Auf der Nachfrageseite wurden proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL, Schweinefleisch, Rindfleisch, Hähnchenfleisch, Eier, Milch & Milchprodukte, Hülsenfrüchte), sowie verschiedenen Veränderungen von Konsummustern berücksichtigt.

In den Szenarien S1 und S2 wird eine deutliche Reduktion der Tierhaltung sowohl für Milch- als auch für Schweinefleischproduktion modelliert. Diese Überlegungen sind eng mit gesellschaftspolitischen Zielen verknüpft, insbesondere im Hinblick auf die Erreichung von Klimaschutzzielen durch eine Reduktion der Tierhaltung. Solche Zielsetzungen sind beispielsweise im Prozess der Zielbildentwicklung der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA) für eine nachhaltige Landwirtschaft bis 2049 skizziert worden (DAFA 2021). Die Modellrechnungen zur Reduktion der Produktionsemissionen und zur Steigerung der Flächenerträge basieren auf der Annahme, dass eine klimaeffizientere landwirtschaftliche Produktion signifikant zur Erreichung von Klimaschutzzielen beitragen kann. Diese Überlegungen werden detailliert durch die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW 2024) erläutert. Während die Produktionsemissionen (PEM) sich primär auf die direkten Emissionen in der landwirtschaftlichen Tierhaltung konzentrieren (Szenarien S2 und M2), berücksichtigt die Steigerung der Flächenerträge das gesamte landwirtschaftliche Produktionssystem (Szenarien S3 und S4). Hierbei wird auch angenommen, dass höhere Erträge bei der Futtermittelproduktion erzielt werden können.

Auf der Nachfrageseite wird eine Anpassung der Ernährungsmuster in verschiedenen Szenarien untersucht. Aufgrund der im Durchschnitt mehr als ausreichenden Proteinversorgung wird im Szenario N1 eine Reduktion des Konsums von proteinreichen Lebensmitteln mit hohem Flächenbedarf in der Produktion angenommen. Da in gesellschaftspolitischen Diskursen auch eine stärkere Orientierung hin zu vegetarischen Ernährungsweisen als klimaschützend betrachtet wird, wird im Szenario N2 eine Umstellung vom Konsum der bedeutendsten Fleischart Schwein hin zu einem proteinequivalenten Kon-

sum von Milchprodukten modelliert. Ebenfalls gesellschaftspolitisch, jedoch auch wissenschaftlich fundiert, wird eine Verschiebung hin zu mehr pflanzlichen Produkten als Maßnahme zum Klimaschutz empfohlen (z.B. Sun et al. 2023). Im Szenario N3 wird daher Schweinefleisch als wichtigste Fleischart durch Hülsenfrüchte ersetzt, um eine proteinäquivalente (Über-)Versorgung sicherzustellen. Eine noch stärker wissenschaftlich fundierte Empfehlung, die sowohl die menschliche Gesundheit als auch den Klimaschutz berücksichtigt, ist die Verschiebung der Ernährung hin zur Planetary Health Diet. Diese Ernährungsweise weist deutliche Parallelen zu den jüngsten Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) auf. Um auch hier eine proteinäquivalente (Über-)Versorgung zu gewährleisten, wurden entsprechende Anpassungen vorgenommen und mit etwas höheren Mengen gerechnet, wie im Szenario N4 abgebildet.

In der Übersicht stellen sich die literatur- oder workshop-gestützten Annahmen der Szenarien folgendermaßen dar:

Angebotsseite:

1. Szenario S1: 50 % weniger Schweinefleischerzeugung in NRW
2. Szenario S2: 2 % weniger Schweinefleisch-PEM in NRW
3. Szenario S3: 10 % höherer Flächenertrag bei Schweinefleisch
4. Szenario M1: 50 % weniger Milcherzeugung in NRW
5. Szenario M2: 21 % weniger Milch-PEM in NRW
6. Szenario M3: 10 % höherer Flächenertrag bei Milch

Nachfrageseite:

1. Szenario N1: 10 % weniger PLL
2. Szenario N2: Shift von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei gleichem Proteinkonsum
3. Szenario N3: Shift von Schweinefleisch zu Hülsenfrüchten bei gleichem Proteinkonsum
4. Szenario N4: Shift zu Planetary Health Diet (bei konstantem Gesamteinkonsum)

Alle Szenarien wurden in Relation zur aktuellen Situation („Baseline“) betrachtet. Entsprechend der von Searchinger et al. (2018) vorgestellten Methode wird die Effizienzbetrachtung aus Klimaschuttsicht separat für die Angebots- und Nachfrageseite durchgeführt. Eine Interaktion von Angebot und Nachfrage über Marktmechanismen wird hier außer Acht gelassen und in der Diskussion nochmals aufgegriffen.

Auf der Angebotsseite erfolgt die Bewertung anhand des „Carbon Benefits Index“ nach Searchinger et al. (2018), der ausführlich und anhand von Beispielen für den deutschen Kontext bei Breunig et al. (2022) erläutert und erklärt wird. Im Folgenden wird das als „Klimavorteil“ bezeichnet. Für die hier untersuchten Szenarien wird dieser Klimavorteil in t CO₂e/ha berechnet und dann mit der entsprechenden Flächennutzung in NRW auf das gesamte Bundesland in t CO₂e hochgerechnet. Der Klimavorteil einer landwirtschaftlichen Nutzung für die Erzeugung von Lebensmitteln ergibt sich aus dem Naturalertrag pro ha (Ertrag_NRW) multipliziert mit dem globalen COC-Faktor (COC_global) und multipli-

ziert mit der Differenz aus globalen Produktionsemissionen (PEM_global) und den Produktionsemissionen in NRW (PEM_NRW). Die diesem Ansatz zugrundeliegenden Gedanken sind, dass durch die Erzeugung in NRW im globalen Durchschnitt eine Fläche eingespart werden kann, die durch die natürliche Vegetation eine Menge Kohlenstoff speichern kann, die dem Produkt aus Ertrag_NRW und COC_global entspricht. Zusätzlich kann ein weiterer Vorteil der Erzeugung in NRW entstehen, wenn dort Agrarprodukte mit niedrigeren Produktionsemissionen (PEM) als im globalen Vergleich erzeugt werden. Mit anderen Worten: Jede Tonne Agrarprodukt, die in NRW mit niedrigeren Produktionsemissionen als im globalen Durchschnitt erzeugt werden kann, verringert die globalen Gesamtemissionen dieses Produkts. Es wird dabei angenommen, dass es sich um ein hinreichend homogenes Produkt handelt, das im Sinne ausgeglichener Märkte und bei der Abstraktion von Transportemissionen zur weltweiten Lebensmittelversorgung beiträgt.

Auf der Nachfrageseite wird die Klimawirkung durch die „Climate Cost of Consumption“ nach Searchinger et al. (2018) quantifiziert. Das ist ebenfalls ausführlich und anhand von Beispielen für den deutschen Kontext bei Breunig et al. (2022) erläutert und erklärt. Diese „Klimakosten der Ernährung“ entsprechen der Summe aus Produktionsemissionen (PEM) und Kohlenstoff-Opportunitätskosten (COC) eines Lebensmittels. Im Basisszenario wird angenommen, dass der Pro-Kopf-Konsum in NRW dem Konsum in Deutschland entspricht. Die betrachteten Szenarien beziehen sich auf den Proteinkonsum pro Kopf und Jahr für proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL). Darunter fallen Schweinefleisch, Rindfleisch, Hähnchenfleisch, Eier, Milch & Milchprodukte, sowie Hülsenfrüchte.

3.2 Datenquellen

In Tabelle 1 sind die Datenquellen zur Berechnung der Szenarien dargestellt. Die verwendeten Daten für die Berechnungen auf der Angebotsseite basieren entweder aus amtlichen Statistiken oder auf Searchinger et al. (2018). Auf der Nachfrageseite wird der Proteinkonsum in NRW gleichgesetzt mit dem gesamtdeutschen Wert. Dies ist sicherlich eine Näherung, jedoch sind Daten zum Lebensmittelkonsum auf Bundesebene nicht verfügbar. Gleiches gilt für die COC in NRW: hier wird für Schweinefleisch und Milch der gesamtdeutsche Wert von Wirsenius et al. (2020) auf NRW übertragen. Für die anderen Produkte wird dieser Wert geschätzt, da keine genaueren Werte vorhanden sind.

Tabelle 1: Datenquellen zur Berechnung der Szenarien

		Schweinefleisch /Milch	Andere
Angebotsseite	Ertrag_NRW	LWK NRW 2024	IT.NRW 2024a
	PEM_NRW	LWK NRW 2024	
	PEM_global	Searchinger et al. 2018	
	COC_global	Searchinger et al. 2018	
	Fruchtfolgeanteil Ackerland		IT.NRW 2024b
	PEM-Reduktionspotential NRW	LWK NRW 2024	-
Nachfrageseite	Proteinkonsum NRW	Grethe et al. 2021	
	Proteingehalt der Lebensmittel	Grethe et al. 2021	
	PEM_NRW	LWK NRW 2024	Reinhardt et al. 2020
	COC_NRW	Wirsenius et al. 2020	Eigene Schätzung
	Empfehlung Planetary Health Diet	BzFE 2024	

In Tabelle 2 sind zentrale Annahmen der Modellberechnungen auf Angebotsseite dargestellt. Wie oben erläutert ist die Datengrundlage auf der Angebotsseite von geringer Unsicherheit geprägt.

Tabelle 2: Datengrundlage zur Berechnung der Szenarien Angebotsseite

Baseline						
	Ertrag_NRW	PEM_NRW	PEM_global	COC_global	Klimavorteil	
	t/ha	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/ha	
Schweinefleisch	1,2	2,7	5,5	14,3	20,8	~Anteil am Ackerland
Milch	7,1	1,1	2,3	6,2	53,1	
Weizen	8,3	0,3	0,7	1,9	19,0	40 %
Gerste	7,4	0,3	0,5	2,6	21,0	20 %
Mais	9,6	0,3	0,5	2,1	21,2	15 %
Raps	3,8	0,5	1,0	5,8	24,2	15 %
Zuckerrüben	76,9	0,1	0,1	0,2	15,4	10 %
Durchschnitt Ackerland					20,2	

In Tabelle 3 sind zentrale Annahmen der Modellberechnungen auf Nachfrageseite zu sehen. Hier sind insbesondere die COC in NRW mit größerer Unsicherheit behaftet, was bei der Bewertung der daraus abgeleiteten Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Tabelle 3: Datengrundlage zur Berechnung der Szenarien Nachfrageseite

Baseline						
Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum	Proteingehalt	PEM_NRW	COC_NRW	Klimakosten der Ernährung	
	kg/Kopf & Jahr	%	kg CO ₂ e/kg FM	kg CO ₂ e/kg FM	t CO ₂ e/Kopf & Jahr	
Schweinefleisch	9,1	18 %	2,7	8,1	0,5	
Rindfleisch	2,6	20 %	13,6	40,0	0,7	
Hähnchenfleisch	3,5	20 %	5,5	6,0	0,2	
Eier	1,4	12 %	3,0	6,0	0,1	
Milch & Milchprodukte	9,7	3,4 %	1,1	1,9	0,8	
Hülsenfrüchte	0,2	24 %	1,3	5,0	0,0	
SUMME PLL	26,5				2,4	
Fisch	2,6				Gesamt NRW:	43.063.761
Sonstige Lebensmittel	15,1					
GESAMT	44,2					

Alle Daten, Tabellen und Berechnungen sind als digitaler Anhang auf Seite 31 ff. verfügbar.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Übersicht der Szenarien auf der Angebots- und Nachfrageseite

Tabelle 4 zeigt die Zusammenfassung der untersuchten Szenarien. Auf der Angebotsseite würde eine Halbierung der Milcherzeugung den größten Verlust an Klimavorteil - also den größten Klimanachteil - bedeuten. Grund hierfür ist eine im globalen Durchschnitt aus Klimaschutzsicht sehr hohe Effizienz der Milchviehhaltung in NRW. Auch eine Reduktion der Schweinehaltung in NRW wäre aus einer globalen Klimateffizienz-sicht nachteilig, jedoch fällt hier die Höhe des Nachteils geringer aus. Dies liegt primär daran, dass die globalen Unterschiede in der Schweinehaltung bei PEM und COC geringer sind als in der Milcherzeugung. Die Reduktionspotentiale der PEM wurden in Gesprächen mit Expert:innen auf

ca. 21 % in der Milcherzeugung und ca. 2 % in der Schweinefleischerzeugung geschätzt. Die erwarteten Reduktionspotentiale sind durch Möglichkeiten der Methanreduktion und weiter steigender Milchleistung in der Milcherzeugung deutlich höher als in der Schweinehaltung. Somit könnten in diesem Szenario insgesamt für NRW betrachtet insbesondere in der Milchvieherzeugung positive Effekte erzielt werden. Flächeneffizienzsteigerungen können in der Milch- und Schweinefleischerzeugung durch bessere Futtermittelverwertung, angepasste Futterrationen und gesteigerte Erträge in der Futtererzeugung erzielt werden. Aufgrund der Vielzahl der Möglichkeiten zur Anpassung und teils sehr betriebsspezifischen Daten (vgl. LWK NRW 2024), wurde pauschal mit einer Erhöhung des Flächenertrags um 10 % gerechnet. Die Ergebnisse zeigen einen sehr deutlichen Effekt durch die Einbeziehung der Kohlenstoff-Opportunitätskosten. Auch hier ist der Effekt in der Milchviehhaltung größer als in der Schweinehaltung.

Auf der Nachfrageseite zeigt eine Veränderung hin zu einer Planetary Health Diet den größten Gesamteffekt aller untersuchten Szenarien, gefolgt von einer Verschiebung von Schweinefleisch zu Hülsenfrüchten bei gleichem Gesamtproteinkonsum und 10 % weniger PLL. Ein Shift von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei gleichem Gesamtproteinkonsum hätte hingegen eine negative Klimawirkung.

Tabelle 4: Klimaeffekt der untersuchten Szenarien (positive Zahl: vorteilhaft; negative Zahl: nachteilig)

		Schweinefleisch	Milch	
Angebotsseite	50 % weniger Erzeugung in NRW	-226.652	-8.290.937	t CO ₂ e
	Reduzierte PEM in NRW	50.397	808.610	t CO ₂ e
	10 % höherer Flächenertrag	1.432.364	2.673.775	t CO ₂ e
Nachfrageseite	10 % weniger PLL	4.306.376		t CO ₂ e
	Shift Schwein zu Milch	-4.377.679		t CO ₂ e
	Shift Schwein zu Hülsenfrüchten	5.520.205		t CO ₂ e
	Shift zu Planetary Health Diet	12.650.808		t CO ₂ e

4.2 Detailergebnisse der Szenarien auf der Angebotsseite

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Szenarien zur Schweinefleischerzeugung im Detail. In Szenario S1 wird angenommen, dass die durch die zurückgehende Schweinehaltung freiwerdende Futterfläche den Klimavorteil einer durchschnittlichen Ackerbaufruchtfolge erbringt (20,2 t CO₂e/ha). Szenario S2 basiert auf einer Reduktion der PEM um 2 % und Szenario S3 auf einer Berechnung des Klimavorteils, bei der der Ertrag um 10 % erhöht wird. Die Szenarien S1-3 zeigen einen geringen Effekt auf das Klima, was durch den relativ niedrigen Effizienzvorteil aus Klimaschutzsicht der Schweinehaltung in NRW im globalen Vergleich zu begründen ist. Dennoch führt eine Reduktion der Erzeugung in NRW zu einem Klimanachteil, wenn ein konstanter Konsum angenommen wird. Der größte Hebel, um den Klimavorteil der Schweinehaltung in NRW zu steigern, liegt nicht in der Reduktion der PEM, sondern in der

Verringerung des Flächenbedarfs. Hier liegen Potentiale insbesondere in der Erhöhung der Flächenerträge zur Futterproduktion, der Futtermittelverwertung und der Verwendung von Futtermitteln mit geringerem oder keinem Flächenbedarf (z.B. Nebenprodukte).

Tabelle 5: Szenarien Schweinefleischerzeugung

Szenario S1: 50 % weniger Schweinefleischerzeugung in NRW				
		Baseline	Szenario S1	Differenz
Schweinefleischerzeugung NRW	t	839.112	419.556	
Flächenbedarf	ha	688.072	344.036	
Zusätzliche Ackerlandnutzung	ha		344.036	
Klimavorteil Schweinefleisch	t CO ₂ e	14.323.640	7.161.820	
Klimavorteil zus. Ackerland	t CO ₂ e		6.935.168	
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	14.323.640	14.096.988	-226.652

Szenario S2: 2,2 % weniger Schweinefleisch-PEM in NRW				
		Baseline	Szenario S2	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	14.323.640	14.374.037	50.397

Szenario S3: 10 % höherer Flächenertrag bei Schweinefleisch				
		Baseline	Szenario S1	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	14.323.640	15.756.004	1.432.364

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse analog für die Milcherzeugung dargestellt. Hier fallen die Effekte deutlich stärker aus als bei der Schweinehaltung. Dies liegt daran, dass sowohl PEM als auch der Flächenbedarf in der Milcherzeugung in NRW deutlich geringer ausfallen als im globalen Durchschnitt. Der Klimanachteil von ca. 8 Mio. t CO₂e bei Halbierung der Milcherzeugung in NRW ist der größte negative Effekt der untersuchten Szenarien auf der Angebotsseite. Auch hier ist die Steigerung der Flächeneffizienz ein größerer Hebel für den Klimaschutz als die Reduktion der PEM.

Tabelle 6: Szenarien Milcherzeugung

Szenario M1: 50 % weniger Milcherzeugung in NRW				
		Baseline	Szenario M1	Differenz
Milcherzeugung NRW	t	3.598.620	1.799.310	
Flächenbedarf	ha	503.807	251.903	
Zusätzliche Ackerlandnutzung	ha		251.903	
Klimavorteil Milcherzeugung	t CO ₂ e	26.737.747	13.368.873	
Klimavorteil zus. Ackerland	t CO ₂ e		5.077.937	
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	26.737.747	18.446.810	-8.290.937

Szenario M2: 21 % weniger Milch-PEM in NRW				
		Baseline	Szenario M2	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	26.737.747	27.546.357	808.610

Szenario M3: 10 % höherer Flächenertrag bei Milch

		Baseline	Szenario M3	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO ₂ e	26.737.747	29.411.521	2.673.775

4.3 Detaillierergebnisse der Szenarien auf der Nachfrageseite

Tabellen 7a-e stellen die Detaillierergebnisse auf der Nachfrageseite dar. Für alle Szenarien außer N1 gilt, dass der gesamte Proteinkonsum aus proteinreichen Lebensmitteln mit Landnutzung (PLL) pro Kopf und Jahr bei 26,5 kg konstant gehalten wird und dass alle PLL-Produkte in NRW erzeugt werden. Bei den Szenarien N2 bis N4 kommt es also nur zu Konsumverschiebungen innerhalb der PLL, nicht jedoch zu einer veränderten Menge an konsumiertem Protein. Szenario N4 basiert auf Empfehlungen der Planetary Health Diet für die PLL. Da der Mittelwert der Empfehlungen zu einem geringeren PLL-Gesamtproteinkonsum als 26,5 kg pro Kopf und Jahr führt, werden die kategoriespezifischen Empfehlungen um einen Gewichtungsfaktor (hier: 1,37) erhöht, so dass auch in diesem Szenario ein gleichbleibender Proteinkonsum angenommen wird – und damit die durchschnittliche Proteinübersorgung beibehalten wird.

Tabelle 7a zeigt das Szenario mit 10 % weniger PLL auf der Nachfrageseite. Da eine Reduktion des Proteinkonsums für alle Bevölkerungsgruppen sinnvoll bzw. zu empfehlen ist, könnte auf die Gesamtbevölkerung bezogen eine Reduktion des Konsums landbasierter Proteine deutliche Klimaschutzzvorteile ermöglichen.

Tabelle 7a: Szenarien der Nachfrageseite - Szenario N1: 10 % weniger PLL

Szenario N1: 10 % weniger PLL						
Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum kg/Kopf & Jahr	Proteingehalt %	PEM_NRW kg CO ₂ e/kg FM	COC_NRW kg CO ₂ e/kg FM	Klimakosten der Ernährung t CO ₂ e/Kopf & Jahr	
Schweinefleisch	8,2	18 %	2,7	8,1	0,5	
Rindfleisch	2,3	20 %	13,6	40,0	0,6	
Hähnchenfleisch	3,2	20 %	5,5	6,0	0,2	
Eier	1,3	12 %	3,0	6,0	0,1	
Milch & Milchprodukte	8,7	3,4 %	1,1	1,9	0,8	
Hülsenfrüchte	0,2	24 %	1,3	5,0	0,0	
SUMME PLL	23,85				2,2	
		Baseline	Szenario N1	Differenz		
Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW	t CO₂e	43.063.761	38.757.385	4.306.376		

Tabelle 7b zeigt das Szenario mit einer Verschiebung von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei gleichbleibendem Proteinkonsum. Entgegen weit verbreiteter Auffassungen führt ein Shift von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei konstantem Proteinkonsum zu einem deutlichen Klimanachteil. Dies ist mit den relativ hohen PEM und COC pro kg Protein in der Milcherzeugung zu erklären. Durch die Einbeziehung der COC verschlechtert sich zusätzlich die proteinbezogene Klimawirkung von Milchprodukten im Vergleich zu Fleisch von Monogastriern.

Tabelle 7b: Szenarien der Nachfrageseite - Szenario N2: Shift von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei gleichem Proteinkonsum

Szenario N2: Shift von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei gleichem Proteinkonsum						
Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum kg/Kopf & Jahr	Proteingehalt %	PEM_NRW kg CO ₂ e/kg FM	COC_NRW kg CO ₂ e/kg FM	Klimakosten der Ernährung t CO ₂ e/Kopf & Jahr	
Schweinefleisch	0	18 %	2,7	8,1	0,0	
Rindfleisch	2,6	20 %	13,6	40,0	0,7	
Hähnchenfleisch	3,5	20 %	5,5	6,0	0,2	
Eier	1,4	12 %	3,0	6,0	0,1	
Milch & Milchprodukte	18,8	3,4 %	1,1	1,9	1,6	
Hülsenfrüchte	0,2	24 %	1,3	5,0	0,0	
SUMME PLL	26,5				2,6	
Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW	t CO₂e	Baseline	Szenario N2	Differenz		
		43.063.761	47.441.441	-4.377.679		

Tabelle 7c zeigt das Szenario mit einem Shift von Schweinefleisch zu Hülsenfrüchten bei gleichem Proteinkonsum. Durch die relativ geringen PEM und COC des Schweinefleischs aus NRW entspricht diese Veränderung in etwa im Betrag dem Shift von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei konstantem Proteinkonsum.

Tabelle 7c: Szenarien der Nachfrageseite - Szenario N3: Shift von Schweinefleisch zu Hülsenfrüchten bei gleichem Proteinkonsum

Szenario N3: Shift von Schweinefleisch zu Hülsenfrüchten bei gleichem Proteinkonsum						
Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum kg/Kopf & Jahr	Proteingehalt %	PEM_NRW kg CO ₂ e/kg FM	COC_NRW kg CO ₂ e/kg FM	Klimakosten der Ernährung t CO ₂ e/Kopf & Jahr	
Schweinefleisch	0	18 %	2,7	8,1	0,0	
Rindfleisch	2,6	20 %	13,6	40,0	0,7	
Hähnchenfleisch	3,5	20 %	5,5	6,0	0,2	
Eier	1,4	12 %	3,0	6,0	0,1	
Milch & Milchprodukte	9,7	3,4 %	1,1	1,9	0,8	
Hülsenfrüchte	9,3	24 %	1,3	5,0	0,2	
SUMME PLL	26,5				2,1	
Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW	t CO₂e	Baseline	Szenario N3	Differenz		
		43.063.761	37.543.556	5.520.205		

In Tabelle 7d ist die Grundkalkulation zur Planetary Health Diet dargestellt. Diese Ernährungsempfehlung kommt zu einer Reduktion der PLL. Um jedoch nur die Veränderung der Zusammensetzung des PLL-Konsums und nicht die Gesamthöhe des PLL-Konsums in diesem Szenario zu bewerten, werden die lebensmittelspezifischen Empfehlungen um den Gewichtungsfaktor 1,37 erhöht, damit der gesamte PLL-Konsum der Baseline entspricht.

Tabelle 7d: Grundlagenkalkulation zur Planetary Health Diet

Grundlagenkalkulation zur Planetary Health Diet	Empfohlene Menge g/Kopf & Tag	Empfohlene Menge multipliziert mit Gewichtungsfaktor	
		g/Kopf & Tag	kg/Kopf & Jahr
Schweinefleisch		15,1	5,5
Rindfleisch	14	4,2	1,6
Hähnchenfleisch	29	39,6	14,5
Eier	13	17,7	6,5
Milch & Milchprodukte	250	341,3	124,6
Hülsenfrüchte	75	102,4	37,4
Gewichtungsfaktor		1,37	

Tabelle 7e zeigt das Szenario mit einem Shift zur Planetary Health Diet. Dieses Szenario weist den größten Klimaeffekt aller untersuchten Szenarien auf. Durch die Einbeziehung von COC gewinnt eine Ernährungsveränderung hin zu mehr pflanzlichen Lebensmitteln aus der Klimaperspektive an Bedeutung. Die Ernährung ist einer der größten Hebel für den Klimaschutz im Bereich des privaten Konsums.

Tabelle 7e: Szenarien der Nachfrageseite - Szenario N4: Shift zu Planetary Health Diet

Szenario N4: Shift zu Planetary Health Diet						
Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum kg/Kopf & Jahr	Proteingehalt %	PEM_NRW kg CO ₂ e/kg FM	COC_NRW kg CO ₂ e/kg FM	Klimakosten der Ernährung t CO ₂ e/Kopf & Jahr	
Schweinefleisch	1,0	18 %	2,7	8,1	0,1	
Rindfleisch	0,3	20 %	13,6	40,0	0,1	
Hähnchenfleisch	2,9	20 %	5,5	6,0	0,2	
Eier	0,8	12 %	3,0	6,0	0,1	
Milch & Milchprodukte	12,6	3,4 %	1,1	1,9	1,1	
Hülsenfrüchte	9,0	24 %	1,3	5,0	0,2	
SUMME PLL	26,5				1,7	
		Baseline	Szenario N4	Differenz		
Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW	t CO₂e	43.063.761	30.412.954	12.650.808		

Insgesamt zeigen die Detailergebnisse, dass eine Betrachtung der Klimavorteile und Klimakosten unter Einbeziehung der COC zu teilweise anderen Bewertungen aus Klimaschutzsicht kommt als bisherige Bilanzierungsansätze. Auf der Angebotsseite wird deutlich, dass ein Erhalt der Tierhaltung in NRW auf aktuellem Niveau, insbesondere der Milcherzeugung, eine deutliche Reduktion des Klimavorteils verhindert. Auch erhöht sich die Bedeutung der Flächeneffizienz in der Schweinefleisch- und Milcherzeugung in Relation zur Reduktion der PEM. Der größte Hebel für Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem in NRW liegt auf der Nachfrageseite. Die Bedeutung einer Ernährungsveränderung hin zu stärker pflanzenbetonten Ernährungsstilen nimmt durch die Einbeziehung von COC deutlich zu.

4.4 Methodische Einschränkungen

4.4.1 Lückenhafter Detailgrad PEM-bezogener Reduktionspotentiale

Unsere Annahmen zu Reduktionspotentialen der Produktionsemissionen (PEM) weisen einen hohen Abstraktionsgrad auf und berücksichtigen keine ausdifferenzierten und kleinteiligen Optionen. Eine zunehmende Zahl von produktionstechnischen Studien zeigen hier sehr unterschiedliche kleinteilige Ansätze auf und verbinden diese teilweise auch mit Kostenschätzungen, so dass auch Vermeidungskosten annäherungsweise bestimmt werden können. Obwohl unsere Ergebnisse zeigen, dass der größte Hebel zur Emissionsreduktion im angepassten Konsum liegt und an zweiter Stelle in der höheren Flächeneffizienz, sind auch die direkten Produktionsemissionen (PEM) nicht zu vernachlässigen. Hier zeigen insbesondere Ergebnisse einer Studie der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen interessante Ergebnisse auf (LWK NRW 2024): Die Reduktion von Treibhausgasen (THG) in der Tierhaltung in NRW umfasst eine Reihe von Maßnahmen (Schwerpunkt auf Betriebsmanagement und weniger auf Investitionen), die sich auf die Abnahme von Methan- und Lachgasemissionen konzentrieren.

Fütterungsoptimierungen und die Vergärung von Wirtschaftsdüngern tragen maßgeblich zur Emissionsminderung bei. Methanemissionen stammen hauptsächlich aus der enterischen Fermentation von Wiederkäuern sowie der Lagerung von Wirtschaftsdüngern. Technische Maßnahmen zur Reduktion von Methan sind derzeit begrenzt. Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Reduktion von Methan ist die zügige Vergärung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft in Biogasanlagen, die als besonders effektiv angesehen wird. Zudem werden Abdeckungen für Güllelagerbehälter und bodennahe Ausbringtonen empfohlen, welche die Düngeeffizienz steigern und Lachgasemissionen mindern. Durch Optimierungen in der Fütterung inklusive der Nutzung von Futterzusatzstoffen können signifikante Fortschritte erzielt werden, welche zu einer Reduktion der Stickstoffausscheidungen und damit der THG-Emissionen führen. In der Schweinemast besteht das größte Einsparpotential in der Anpassung der Futterkomponenten und einer zielgerichteten Rationsgestaltung.

4.4.2 Fehlende räumliche und nutzungsbezogene Kennwerte der Kohlenstoffbindungspotentiale

Die Höhe der Kohlenstoff-Opportunitätskosten ist maßgeblich von dem Kohlenstoffspeicherpotential der aktuell landwirtschaftlich genutzten Flächen bei Wiederherstellung der natürlichen Vegetation abhängig. In unserem Modell werden zur Bilanzierung dieser Opportunitätskosten Durchschnittswerte verwendet, die lediglich größere geografische Regionen berücksichtigen – das gilt sowohl für die Werte in NRW als auch die globalen Referenzwerte. Dies führt zu einer erheblichen Unsicherheit, da die Kohlenstoffbindungskapazität starken Schwankungen unterliegt. Daher ist die Entwicklung räumlich expliziter Kennwerte erforderlich, die auf Einzelflächenebene angewendet werden können, um präzisere und belastbarere Aussagen treffen zu können. Dabei sind Kennwerte für die Kohlenstoffbindungskapazität bei einer alternativen Wiederherstellung der natürlichen Vegetation von in der Realität landwirtschaftlich genutzten Flächen notwendig. Wiederhergestellte natürliche Vegetation fungiert als bedeutende Kohlenstoffsенke, indem sie atmosphärisches CO₂ durch Photosynthese aufnimmt und in der Biomasse sowie im Boden speichert. Der Prozess der Kohlenstoffbindung durch Wiederherstellung der natürlichen Vegetation ist jedoch komplex und hängt von verschiedenen Faktoren wie Vegetation, Bodentyp und Klima ab. Ihre Wiederherstellung und mögliche Einflussnahmen ist von entscheidender Bedeutung für die Maximierung der Kohlenstoffspeicherung. Die Kohlenstoffspeicherung durch Vegetationswiederherstellung ist ein langfristiger Prozess, der über mehrere Jahrzehnte und Jahrhunderte erfolgen kann. Kurzfristige Zeiträume können daher nur unzureichende Einblicke in die tatsächliche Speicherkapazität bieten. Langzeitstudien und kontinuierliches Monitoring sind erforderlich, um die Dynamik der Kohlenstoffspeicherung unter verschiedenen Bedingungen zu verstehen und zu bewerten.

4.4.3 Effizienzbetrachtung vs. Marktmodellierung

Unsere Analyse betrachtet Änderungen der Effizienz auf der Nachfrageseite und der Angebotsseite im Hinblick auf die Abschwächung des Klimawandels getrennt. Wechselwirkungen zwischen Nachfrage und Angebot und die entsprechenden Auswirkungen auf die Kohlenstoffkosten und den Klimanutzen

werden hierbei nicht berücksichtigt. Darüber hinaus konstatieren Searchinger et al. (2018), dass Modelle, die nachfrage- und angebotsseitige Wechselwirkungen berücksichtigen, häufig eine abnehmende angebotsseitige Effizienz mit einer zunehmenden angebotsseitigen Effizienz an anderen Stellen oder einer zunehmenden nachfrageseitigen Effizienz maskieren und vice versa. Bislang werden in Studien, die partielle oder allgemeine Gleichgewichtsmodelle zur Quantifizierung der Klimaauswirkungen von politischen Maßnahmen oder Verhaltensänderungen verwenden, Änderungen der Effizienz auf der Angebots- und Nachfrageseite nicht getrennt ausgewiesen. Dies führt zu Situationen, in denen beispielsweise eine Verbesserung der Effizienz auf der Nachfrageseite einen Rückgang der Effizienz auf der Angebotsseite maskieren bzw. überdecken kann. Eine klare Abgrenzung der Effizienzänderungen für jede Seite könnte die Bewertung von Marktszenarien verbessern und neue politische Maßnahmen anregen.

4.4.4 Fehlende Berücksichtigung anderer Nachhaltigkeitsindikatoren

Eine auf Effizienz und PEM-reduzierte Tierhaltung optimierte Ausrichtung blendet andere Nachhaltigkeitsdimensionen aus. Weniger stark ist dieser Konflikt hinsichtlich der Biodiversität, weil eine durch Flächensparsamkeit geprägte Tierhaltung mehr Fläche für Natur- und Artenschutz bereitstellen kann, was in vielen Fällen insgesamt zu einem Artenschutzvorteil führen kann. In der Literatur der letzten Jahre gibt es eine stärkere Präferenz für „Land Sparing“ als für „Land Sharing“. Insbesondere an Grenzstandorten könnte durch eine Extensivierung oder Renaturierung sowohl die Kohlenstoffspeicherleistung als auch die Biodiversität erhöht werden. Ein stärkerer Zielkonflikt besteht bei tierbezogenen Indikatoren. Insbesondere dann, wenn hohe biologische Leistungen auf Kosten der Tiergesundheit und des Tierwohls erreicht werden. Jedoch gilt dies nicht pauschal, weil beispielsweise eine auch unter Effizienzbedingungen hohe Lebensleistung von Kühen bei hohen Tierwohlstandards und hoher Tiergesundheit erreicht werden können. Dies erfordert ein zielgerichtetes Management durch die Tierhaltenden, welches durch datenbasierte Entscheidungshilfetools unterstützt werden kann. Gleichzeitig kann auch eine lange Nutzungsdauer der Tiere bei moderater Leistung zur Reduktion von THG-Emissionen beitragen, wenn dadurch weniger Jungtiere für die Bestandsergänzung aufgezogen werden müssen. Hier gilt es Zuchtziele im Sinne von Tiergesundheit und Resilienz entsprechend weiterzuentwickeln und den Bedarf an Jungtieren mit weiteren Managementmaßnahmen (z.B. verlängerte Zwischenkalbezeiten) möglichst weit zu reduzieren.

4.5 Handlungsempfehlungen

Aus den Ergebnissen lassen sich klare politische Handlungsempfehlungen ableiten:

1. Mehr Eingriffstiefe bei der Nachfragesteuerung: Die stärkste effektive Klimaschutzmaßnahme im Bereich der Tierhaltung besteht bei der Reduktion des Konsums tierischer Lebensmittel mit einer verstärkten Substitution durch pflanzliche Lebensmittel. Durch die verringerte Nachfrage nach tierischen Produkten ergeben sich direkte Anreize zur Angebotsreduktion tierischer Lebensmittel. Die Angebotsreduktion erfolgt jedoch nicht ordnungsrechtlich, sondern durch Marktmechanismen. Umso besser

der Marktmechanismus die Klimateffizienz der Produktion berücksichtigt, umso stärker sind die positiven Klimateffekte. Eine höhere Besteuerung klimaschädlicher Lebensmittel und eine geringere Besteuerung weniger klimaschädlicher Produkte ist beispielsweise zu empfehlen. Konkret lässt sich das in Deutschland durch eine – möglicherweise stufenweise einzuführenden – Anpassung des Mehrwertsteuersatzes tierischer Produkte an den Regelsteuersatz und eine Streichung der Mehrwertsteuer auf rein pflanzliche Produkte erreichen. Außerdem sollten Ernährungsumgebungen so umgestaltet werden, dass klimafreundliche Konsumententscheidungen einfacher werden und klimaschädliche Konsumententscheidungen erschwert werden – ohne absolute Verbote einzusetzen und damit Reaktanz zu vermeiden. Beachtet werden sollte, dass eine Verschiebung innerhalb der tierischen Produkte (z.B. eine vegetarische Ernährung mit weniger Schweinefleisch und stattdessen mehr Milchprodukten) eine negative Klimawirkung haben kann. Effekte lassen sich bei im Bevölkerungsmittel mehr als ausreichender Proteinversorgung durch die Reduktion proteinreicher Lebensmittel und durch einen Shift hin zu pflanzlichen Lebensmitteln erreichen. Der stärkste Effekt ist durch eine Orientierung an der Planetary Health Diet zu erreichen, wie sie sich zunehmend auch in den DGE-Empfehlungen widerspiegelt.

2. Steigerung der Flächenerträge tierischer Produkte: Klassische Ansätze zur Steigerung der Produktivität in der landwirtschaftlichen Produktion bleiben bei der Annahme einer unveränderten Mengennachfrage ein starker Hebel zur Reduktion produktbezogener THG-Emissionen. Die Erhöhung von Flächenerträgen bei erhöhter Düngeneffizienz zur Futtermittelproduktion sind zentral. Hilfreich wäre in diesem Zusammenhang, verstärkt tierische Produktionsleistungen auf die Fläche zu beziehen, um ein stärkeres Bewusstsein für den Zusammenhang von tierischen Produkten mit der Flächeninanspruchnahme zu schaffen. Für gewisse Arten und in sehr eng umrissenen Situationen kann eine extensive Bewirtschaftung von Flächen in begrenztem Umfang als Biotop aus Artenschutzsicht trotzdem sinnvoll sein. Dies sollte vorrangig auf Flächen erfolgen, die gleichzeitig möglichst hohe Mengen zusätzlichen Kohlenstoffs tatsächlich speichern.

3. Verringerung der Produktionsemissionen: Auch wenn der Beitrag im Verhältnis zu den anderen Maßnahmen verhältnismäßig klein ist, sollten unabhängig von der Annahme einer global sinkenden, konstanten oder möglicherweise weiter wachsenden Nachfrage nach tierischen Produkten Anstrengungen zur Reduktion von Produktionsemissionen vorangetrieben werden. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Messung und betriebsindividuellen Zurechnung von Emissionen, kommen Output-orientierte Steuerungsinstrumente zur Anreizsetzung betriebsindividueller Klimaschutzinnovationen, wie sie beispielsweise von Molkereien genutzt werden, an Grenzen bzw. benötigen noch weitere Entwicklungs- und Forschungsarbeit. Vielmehr sollten überbetrieblich Anreize zur Weiterentwicklung einer klimateffizienten Produktionstechnik gesetzt werden. Neben der Innovationsförderung bei Herstellern von betrieblichen Inputs sollte hier auch die grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung, v.a. im Bereich der züchterischen Ausnutzung genetischer Potentiale, gefördert werden. Dies beinhaltet neben der üblichen Produktivitätssteigerung auch die Förderung einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion mit resilienten und langlebigen Tieren.

4. Klimaeffiziente Exportorientierung: Weniger Konsum bei gleichzeitigem Erhalt oder sogar Ausbau der Tierhaltung führt tendenziell zu steigenden Exporten klimaeffizienter tierischer Produkte. Dieses Szenario ist in herkömmlichen, politischen Positionen zu Klimaschutz und Tierhaltung nicht zu finden und scheint vielen Stakeholdern unvereinbar. Einerseits wird eine effiziente Tierhaltung mit zumindest gleichbleibendem Umfang an Tierzahlen und Konsum tierischer Produkte im Umfeld der land- und fleischwirtschaftlichen Interessengruppen favorisiert. Andererseits wird eine Reduktion der Tierhaltung bei gleichzeitiger Reduktion des Konsums tierischer Produkte von Interessengruppen aus dem Umwelt- und Klimaschutz präferiert. Beide Positionen beruhen implizit auf einer Mengensteuerung unter Ausschluss von effizienzoptimierender Allokation des Marktmechanismus. Politisch bietet eine durch Konsumreduktion tierischer Produkte ermöglichte stärkere, klimaeffiziente Exportorientierung von tierischen Produkten das Potential, handlungslähmende Fundamentalpositionen aufzubrechen. In anderen Branchen werden sog. „export rebates“ als Ergänzung des CO₂-Grenzausgleichs (CABM) diskutiert (Böhringer et al. 2022), um die Wettbewerbsfähigkeit von Produkten mit relativ geringer Klimawirkung auch im Ausland sicherzustellen. Dies könnte auch auf landwirtschaftliche Produkte Anwendung finden.

5 Schlussbetrachtungen

Die Modellrechnungen haben direkte und unmittelbare Praxisrelevanz, weil die landwirtschaftliche Tierhaltung sektoral zunehmend gefordert ist, zu Klimaschutzzielen beizutragen. Besonders für die Regionen in NRW mit hoher Viehhaltungsdichte, wie das Münsterland bei Schweinen und den Niederrhein mit Milchvieh, ergibt sich hier struktureller Handlungsdruck. Auch einzelbetrieblich wachsen die Forderungen aus den nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette für eine Klimabilanzierung und THG-Reduktion. Bei Milch geschieht dies insbesondere durch den LEH und über die Molkereien in Richtung landwirtschaftlicher Betriebe, die vielfach sogenannte „Klima-Checks“ für ihre Lieferbetriebe anbieten bzw. einfordern. Im Rahmen des „Greenhouse Gas Protocol“ wird im Laufe des Jahres 2025 eine „Land Sector and Removals Guidance“ als Erweiterung des wertschöpfungskettenbezogenen Scope 3 Standards veröffentlicht – was von lebensmittelverarbeitenden Unternehmen wie Molkereien und Schlachthöfen die Berücksichtigung der THG-Emissionen ihrer Lieferbetriebe erfordert. Diese Veröffentlichung soll Emissionen und C-Senken der Landnutzung transparenter in die Scope 3 Bilanzierung integrieren. Im Vorschlag aus 2024 für die Erweiterung des Standards wird erstmals die Anwendung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten empfohlen, was die Bedeutung dieses Ansatzes in der Klimabilanzierung zukünftig deutlich erhöhen wird.

Die Anzahl und Vielfalt der Bilanzierungssysteme zur Erfassung und Zurechnung von Treibhausgasen wächst, wird zunehmend unübersichtlich und setzt sich teilweise dem Vorwurf des „Schön-Rechnens“ und der Beliebigkeit aus. Oftmals werden bei produktbezogenen Emissionen die Bewertungsgrundlage und die Systemgrenzen nicht transparent gemacht. Insbesondere der Bereich der Futtergrundlagen

stellt durch den Flächenanspruch ein in der Bilanzierungspraxis bisher nicht konsistent gelöstes Problem dar. Vor allem willkürlich gewählte Stichtagsregelungen mit impliziten verteilungspolitischen Konsequenzen sind zu hinterfragen, weil sie einen sachgemäßen Klimaschutz verhindern. Mit dem Konzept der Kohlenstoff-Opportunitätskosten stellen sich auch praxisrelevante Fragen der zusätzlichen Kohlenstoffspeicherung durch verschiedene Formen neuer forstlicher Nutzung (z.B. Agroforst, Kurzumtriebsplantagen, Renaturierung) in geographischer und zeitlicher Differenzierung. Für die landwirtschaftliche und sektorale Praxis ist es deshalb von höchster Bedeutung, Implikationen der Kohlenstoff-Opportunitätskosten zu kennen und dadurch die Wirkung des Flächenanspruchs transparenter und klarer in der Klimabilanzierung zu berücksichtigen. Wichtig wird hierbei auch die Unterscheidung in produktbezogene, betriebsbezogene, wertschöpfungskettenbezogene und sektorale Bilanzierungen sein. Dabei werden Fehlanreize der derzeit gültigen territorialen Bilanzierungsregeln zur Erreichung von Klimaschutzziele auf nationaler und sektoraler Ebene deutlich.

Wie hinlänglich bekannt, haben veränderte Konsummuster mit höheren Anteilen pflanzlicher Proteine und niedrigeren Anteilen tierischer Proteine auch bei gleichbleibend hoher (Über-)Versorgung mit Proteinen die stärksten Klimaschutzpotentiale. Deutlicher als in anderen Studien hat eine Verschiebung von Schweinefleisch zu Milchprodukten im Sinne einer stärker vegetarischen Ernährung in den vorliegenden Ergebnissen jedoch einen negativen Gesamteffekt auf das Klima. Aktuelle Ernährungsempfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) weisen eine starke Reduktion aller tierischer und Steigerung pflanzlicher Proteinquellen aus – analog zur Planetary Health Diet. Die Ernährungsempfehlungen sollten auf allen Ebenen und mithilfe aller bereits zur Verfügung stehender Instrumente und einer stärkeren Nutzung bisher weniger genutzter Ansatzpunkte zur Gestaltung von Ernährungsumgebungen in der Praxis zur Geltung gebracht werden. Hochgradig problematisch im Sinne polit-ökonomischer Zusammenhänge ist, dass unter derzeitigen territorialen Bilanzierungskonventionen keine unmittelbaren politischen Anreize zu mehr Eingriffstiefe bei der Nachfragesteuerung von tierischen Lebensmitteln zur Erreichung nationaler und sektoraler Klimaschutzziele bestehen – jedoch hohes gesellschaftliches Konfliktpotential und starke Einflussnahme von Interessengruppen. Insbesondere scheinen Zielbilder mit einer stärkeren Exportorientierung bei tierischen Produkten mit gleichzeitigen Reduktionszielen beim Konsum tierischer Produkte politisch kaum mehrheitsfähig zu sein. Stattdessen werden irrtümlicherweise heimatverklärende Zielbilder einer – teilweise zudem extensiven – regionalen Tierhaltungspraxis ohne notwendigen Bezug zur Reduktion tierischen Lebensmittelkonsums als Klimaschutzmaßnahme favorisiert. Diese Irrtümer aufzuklären und das grundsätzliche Dilemma der landwirtschaftlichen Tierhaltung angesichts tierethischer Anfragen aufzulösen, stellen zentrale Herausforderungen hin zu mehr Klimaschutz im konsum- und tierhaltungsintensiven Agrar- und Ernährungssystem in NRW und darüber hinaus in Deutschland und der EU dar.

Zusammenfassung

Treibhausgasemissionen und Klimaschutzpotentiale der Tierhaltung in NRW unter Berücksichtigung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten

Klimaziele sind ohne Klimaschutzmaßnahmen im Agrar- und Ernährungssystem nicht zu erreichen. Die Reduktion tierhaltungsbedingter Treibhausgase (THG) wird als ein Instrument zur Erreichung landwirtschaftlicher Klimaschutzziele in Deutschland angesehen. Die Einbeziehung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten ist dabei ein neuer Ansatz, um die bisher schwierig zu bilanzierende Landnutzung zu berücksichtigen. Bei der Klimabewertung in der Landwirtschaft liegt die Besonderheit vor, dass bei Beendigung der Aktivität eine positive Klimawirkung durch die Kohlenstoff-Speicherleistung der natürlichen Vegetation entsteht. Diese Besonderheit berücksichtigt der Ansatz der Kohlenstoff-Opportunitätskosten. Da die Tierhaltung in NRW zunehmend gefordert ist, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und unterschiedliche – teils widersprüchliche – Einschätzungen zu Klimawirkung und entsprechend unterschiedlichen Klimaschutzmaßnahmen geäußert werden, scheint eine Objektivierung der Debatte mittels Modellrechnung verschiedener Klimaschutzzszenarien angeraten. Zur Bildung und Validierung von Berechnungsszenarien wurden dazu diverse Stakeholder in Workshops eingebunden. Die Ergebnisse der bio-physikalischen Modellrechnungen zeigen, dass eine Betrachtung der Klimavorteile und Klimakosten unter Einbeziehung der Kohlenstoff-Opportunitätskosten zu teilweise anderen Bewertungen aus Klimaschuttsicht kommt als bisherige Bilanzierungsansätze. Auf der Angebotsseite wird deutlich, dass ein Erhalt der Tierhaltung in NRW auf aktuellem Niveau, insbesondere der Milcherzeugung, bei konstanter Mengennachfrage einen deutlichen Klimavorteil darstellt. Auch erhöht sich die Bedeutung der Flächeneffizienz in der Schweinefleisch- und Milcherzeugung in Relation zur Reduktion der eigentlichen Produktionsemissionen. Bezogen auf das gesamte Agrar- und Ernährungssystem in NRW liegt der größte Hebel für Klimaschutz jedoch auf der Nachfrageseite. Die Bedeutung einer Ernährungsveränderung hin zu stärker pflanzenbetonten Ernährungsstilen nimmt durch die Einbeziehung von Kohlenstoff-Opportunitätskosten deutlich zu. Die Ergebnisse liefern Handlungsempfehlungen zur Reduktion von tierhaltungsassoziierten Treibhausgasemissionen. Diese umfassen zentral die Reduktion des Konsums tierischer Lebensmittel zugunsten pflanzlicher Alternativen. Dies stellt die effektivste Klimaschutzmaßnahme dar. Mehr Eingriffstiefe bei der Umgestaltung von Ernährungsumgebungen ist zu empfehlen. Daneben ist die Erhöhung der Flächenerträge und Düngeeffizienz in der Futtermittelproduktion zur Reduktion von THG-Emissionen ein wirksames Mittel. Ergänzend sollten in der Tierhaltung außerdem auch innovative und klimaeffizientere Produktionstechniken entwickelt und in der Praxis umgesetzt werden. Eine durch pflanzenbetonen Konsum ermöglichte verstärkte Exportorientierung impliziert den Export klimaeffizienter tierischer Produkte für mehr effektiven Klimaschutz. Diese Klimaschutz-fokussierten Empfehlungen müssen vor dem Hintergrund möglicher Zielkonflikte mit anderen Nachhaltigkeitszielen und tierethischer Gegebenheiten abgewogen werden und stehen dabei in der Umsetzung vor hohen polit-ökonomischen Hürden.

Summary

Greenhouse gas emissions and climate protection potential of livestock farming in NRW, taking into account carbon opportunity costs

It is not possible to achieve the climate targets that have been set without implementing climate protection measures in the agricultural and food system. The reduction of livestock-related greenhouse gases (GHGs) is regarded as a means of achieving agricultural climate protection targets in Germany. The incorporation of carbon opportunity costs represents a novel approach to consider land use, which has hitherto proved challenging to account for. A distinctive aspect of climate accounting in agriculture is that the carbon storage capacity of natural vegetation exerts a beneficial effect on the climate when activity ceases. The carbon opportunity cost approach accounts for this distinctive feature. As livestock farming in North Rhine-Westphalia (NRW) is increasingly called upon to make its contribution to climate protection, and different—sometimes contradictory—assessments of climate impact and correspondingly different climate protection measures are expressed, it seems advisable to objectify the debate by modelling various climate protection scenarios. Various stakeholders were involved in workshops to create and validate calculation scenarios. The results of the bio-physical model calculations demonstrate that a consideration of the climate benefits and climate costs, including the carbon opportunity costs, leads to partially different assessments from a climate protection perspective than previous climate accounting. With regard to the supply side, it becomes evident that maintaining livestock farming in NRW at the current level, particularly milk production, represents a significant climate benefit. Furthermore, the importance of land efficiency in pork and milk production is also increasing in relation to the reduction in actual production emissions. With regard to the entire agricultural and food system in North Rhine-Westphalia (NRW), however, the greatest potential for climate protection lies on the demand side. The importance of a change in diet towards more plant-based diets increases significantly through the inclusion of carbon opportunity costs. The results provide recommendations for action to reduce greenhouse gas emissions associated with livestock farming. These include, but are not limited to, reducing the consumption of animal-based foods in favour of plant-based alternatives. This is the most effective climate protection measure. It is recommended that greater depth of intervention be made in the transformation of nutritional environments. Also, this should include the consideration of increasing the yields per hectare and fertilizer efficiency in feed production in order to reduce GHG emissions. In addition, innovative and more climate-efficient production techniques should be developed and implemented in livestock farming in order to further reduce GHG emissions. Increased export orientation made possible by more plant-oriented consumption implies the export of more climate-efficient animal products for more effective climate protection. An increased export orientation made possible by more plant-based consumption implies the export of climate-efficient animal products for more effective climate protection. These climate protection-focused recommendations must be weighed up against the background of possible conflicting objectives with other sustainability goals and animal ethics, and face major political-economical hurdles in their implementation.

Literatur

- Amon, B., Jensen, L. S., Groenestein, K., & Sutton, M. (2021). Sustainable nitrogen management for housed livestock, manure storage and manure processing. In *Reducing greenhouse gas emissions from livestock production* (S. 115-160). Burleigh Dodds Science Publishing.
- BCG (2019). *Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft sichern. Denkanstöße und Szenarien für ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit.*
- Böhringer, C., Fischer, C., Rosendahl, K. E., & Rutherford, T. F. (2022). Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, 12(1), 22-29.
- Breunig, P., & Mergenthaler, M. (2022). Besonderheiten des Klimaschutzes im Agrar- und Ernährungssystem – was müssen wir neu denken? *Berichte über Landwirtschaft* 100(2),
- BzFE (2024). *Planetary Health Diet: Strategie für eine gesunde und nachhaltige Ernährung.* <https://www.bzfe.de/nachhaltiger-konsum/lagern-kochen-essen-teilen/planetary-health-diet/> (24.04.2024).
- Carlsson-Kanyama, A. (1998). Climate change and dietary choices—how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced?. *Food policy*, 23(3-4), 277-293.
- Clark, M. A., Domingo, N. G., Colgan, K., Thakrar, S. K., Tilman, D., Lynch, J., ... & Hill, J. D. (2020). Global food system emissions could preclude achieving the 1.5 and 2 C climate change targets. *Science*, 370(6517), 705-708.
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. J. N. F. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2(3), 198-209.
- DAFA (2021). *Zielbilder für die Landwirtschaft 2049.* <https://www.dafa.de/landwirtschaft-2049/> (13.07.2024).
- de Boer, I. J. M. (2016). Minimizing the environmental footprint of livestock production: which measure to use?. In: *Steps to Sustainable Livestock International Conference 2016* (S. 45-45).
- Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H., Breman, E., Cecilio Rebola, L., ... & Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328-1348.
- Dillon, J. A., Stackhouse-Lawson, K. R., Thoma, G. J., Gunter, S. A., Rotz, C. A., Kebreab, E., ... & Mueller, N. D. (2021). Current state of enteric methane and the carbon footprint of beef and dairy cattle in the United States. *Animal Frontiers*, 11(4), 57-68.
- Eshel, G., Shepon, A., Makov, T., & Milo, R. (2014). Land, irrigation water, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat, eggs, and dairy production in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(33), 11996-12001.
- Fangueiro, D., Merino, P., Pantelopoulos, A., Pereira, J. L., Amon, B., & Chadwick, D. R. (2023). The implications of animal manure management on ammonia and greenhouse gas emissions. In *Technology for Environmentally Friendly Livestock Production* (S. 99-136). Cham: Springer International Publishing.

- Gerber, P., Key, N., Portet, F., & Steinfeld, H. (2010). Policy options in addressing livestock's contribution to climate change. *Animal*, 4(3), 393-406.
- Gerber, P. J., Henderson, B., & Makkar, H. P. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: a review of technical options for non-CO2 emissions (No. 177). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- GHG Protocol (2024). Land Sector and Removals Guidance. Verfügbar unter: <https://ghgprotocol.org/land-sector-and-removals-guidance> (13.07.2024).
- Grethe, H., Martinez, J., Osterburg, B., Taube, F., & Thom, F. (2021). Klimaschutz im Agrar-und Ernährungssystem Deutschlands: die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität. Gutachten im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität.
- Hanson, C. und J. Ranganathan (2023). How to Manage the Global Land Squeeze? Produce, Protect, Reduce, Restore. Verfügbar unter: <https://www.wri.org/insights/manage-global-land-squeeze-produce-protect-reduce-restore> (13.07.2024).
- Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M. C. & Notenbaert, A. (2014). Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), 3709-3714.
- Hayek, M. N., Harwatt, H., Ripple, W. J., & Mueller, N. D. (2021). The carbon opportunity cost of animal-sourced food production on land. *Nature Sustainability*, 4(1), 21-24.
- Hayek, M. N., Samuel, J., & McClelland, S. C. (2023). Methane metrics: the political stakes. *Nature*, 620(7972), 37-37.
- Hedenus, F., Wirsenius, S., & Johansson, D. J. (2014). The importance of reduced meat and dairy consumption for meeting stringent climate change targets. *Climatic change*, 124(1), 79-91.
- Henry, B., & Eckard, R. (2009). Greenhouse gas emissions in livestock production systems. *Tropical Grasslands*, 43(4), 232-238.
- Herrero, M. T., & Thornton, P. K. (2009). Mitigating greenhouse gas emissions from livestock systems.
- Hristov, A. N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, A., Waghorn, G., Adesogan, A., ... & Firkins, J. L. (2013). Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5095-5113.
- IT.NRW (2024a). Ernte ausgewählter landwirtschaftlicher Feldfrüchte. <https://www.it.nrw/statistik/eckdaten/ernte-ausgewaehlter-landwirtschaftlicher-feldfruechte-761> (24.04.2024).
- IT.NRW (2024b). Anbau auf dem Ackerland 2017 – 2022 nach Fruchtarten. <https://www.it.nrw/statistik/eckdaten/anbau-auf-dem-ackerland-nach-fruchtarten-760> (24.04.2024).
- Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., & Zimmermann, N. (2009). The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary science reviews*, 28(27-28), 3016-3034.
- Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., Ellis, E. C., Ruddiman, W. F., Lemmen, C., & Goldewijk, K. K. (2011). Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *The Holocene*, 21(5), 775-791.

- Kuhla, B., & Viereck, G. (2022). Enteric methane emission factors, total emissions and intensities from Germany's livestock in the late 19th century: A comparison with the today's emission rates and intensities. *Science of the Total Environment*, 848, 157754.
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S. & Westhoek, H. (2015). Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004.
- Liu, S., Proudman, J., & Mitloehner, F. M. (2021). Rethinking methane from animal agriculture. *CABI Agriculture and Bioscience*, 2(1), 1-13.
- Liu, Z., & Liu, Y. (2018). Mitigation of greenhouse gas emissions from animal production. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 8(4), 627-638.
- LWK NRW (2024). Klimaschutzstudie zu landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in NRW - Status quo und Minderungsmöglichkeiten. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster.
- McGrath, M. J., Luyssaert, S., Meyfroidt, P., Kaplan, J. O., Bürgi, M., Chen, Y., ... & Valade, A. (2015). Reconstructing European forest management from 1600 to 2010. *Biogeosciences*, 12(14), 4291-4316.
- Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., ... & Dijkstra, J. (2013). SPECIAL TOPICS—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of animal science*, 91(11), 5070-5094.
- Morris, V., & Jacquet, J. (2024). The animal agriculture industry, US universities, and the obstruction of climate understanding and policy. *Climatic Change*, 177(3), 41.
- Osterburg, B. (2021). Klimaschutz in der Landwirtschaft. In *Klimaschutz und Energiewende in Deutschland: Herausforderungen—Lösungsbeiträge—Zukunftsperspektiven* (S. 1-11). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Reinhardt, G., Gärtner, S., & Wagner, T. (2020). Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland. IFEU—Institut für Energie- und Umweltforschung: Heidelberg, Germany.
- Reisch, L. A., Sunstein, C. R., Andor, M. A., Doebbe, F. C., Meier, J., & Haddaway, N. R. (2021). Mitigating climate change via food consumption and food waste: A systematic map of behavioral interventions. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123717.
- Rolinski, S., Weindl, I., Heinke, J., Bodirsky, B. L., Biewald, A., & Lotze-Campen, H. (2014). Environmental impacts of grassland management and livestock production. *FACCE MACSUR Reports*, 3(S), 3-61.
- Röös, E., Bajželj, B., Smith, P., Patel, M., Little, D., & Garnett, T. (2017). Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Global Environmental Change*, 47, 1-12.
- Saget, S., Costa, M., Santos, C. S., Vasconcelos, M. W., Gibbons, J., Styles, D., & Williams, M. (2021). Substitution of beef with pea protein reduces the environmental footprint of meat balls whilst supporting health and climate stabilisation goals. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126447.

- Schmidt, J. H., Weidema, B. P., & Brandão, M. (2015). A framework for modelling indirect land use changes in Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 99, 230-238.
- Searchinger, T., S. Wirsenius, T. Beringer und P. Dumas, (2018). Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature*, 564(7735), 249-253. *Nature*. Verfügbar unter: doi:10.1038/s41586-018-0757-z
- Searchinger, T., Zions, J., Peng, L., Wirsenius, S., Beringer, T., & Dumas, P. (2021). A pathway to carbon neutral agriculture in Denmark.
- Skaf, L., Franzese, P. P., Capone, R., & Buonocore, E. (2021). Unfolding hidden environmental impacts of food waste: An assessment for fifteen countries of the world. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127523.
- Sun, Z., Scherer, L., Tukker, A., Spawn-Lee, S. A., Bruckner, M., Gibbs, H. K., & Behrens, P. (2022). Dietary change in high-income nations alone can lead to substantial double climate dividend. *Nature Food*, 3(1), 29-37.
- Tang, Y. T. (2020). Accounting for the environmental impact of food waste on water resources and climate change. In *Food Industry Wastes* (S. 305-329). Academic Press.
- Theurl, M. C., Lauk, C., Kalt, G., Mayer, A., Kaltenegger, K., Morais, T. G., ... & Haberl, H. (2020). Food systems in a zero-deforestation world: Dietary change is more important than intensification for climate targets in 2050. *Science of the Total Environment*, 735, 139353.
- Thumba, D. A., Lazarova-Molnar, S., & Niloofar, P. (2020, December). Data-driven decision support tools for reducing ghg emissions from livestock production systems: Overview and challenges. In *2020 7th International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)* (S. 1-8). IEEE.
- Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl, K., Gütschow, J., Xueyao, P. & Sandalow, D. (2021). Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. *Environmental Research Letters*, 16(6), 065007.
- van Zanten, H. H., Mollenhorst, H., Klootwijk, C. W., van Middelaar, C. E., & de Boer, I. J. (2016). Global food supply: land use efficiency of livestock systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 747-758.
- Wirsenius, S., Searchinger, T., Zions, J., Peng, L., Beringer, T., & Dumas, P. (2020). Comparing the life cycle greenhouse gas emissions of dairy and pork systems across countries using land-use carbon opportunity costs. Verfügbar unter: <https://www.wri.org/research/comparing-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-dairy-and-porksystems-across-countries> (24.04.2024).
- Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T. S., Ciais, P., Tubiello, F. N., ... & Jain, A. K. (2021). Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nature Food*, 2(9), 724-732.
- Zhu, J., Luo, Z., Sun, T., Li, W., Zhou, W., Wang, X. & Yin, K. (2023). Cradle-to-grave emissions from food loss and waste represent half of total greenhouse gas emissions from food systems. *Nature Food*, 4(3), 247-256.

Abkürzungen

AMI: Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH

LEH: Lebensmitteleinzelhandel

Anschriften der Autor:innen

Prof. Dr. Peter Breunig peter.breunig@hswt.de

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Landwirtschaft, Lebensmittel und Ernährung, Markgrafenstr. 16, 91746 Weidenbach

Miriam Kemnade kemnade.miriam@fh-swf.de

Yakzan Marouf marouf.yakzan@fh-swf.de

Prof. Dr. Marcus Mergenthaler mergenthaler.marcus@fh-swf.de

Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, 59494 Soest

Danksagung

Das Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MLV NRW) hat durch seine Finanzierung diese Studie ermöglicht – dafür danken die Autor:innen herzlich. Wir danken zudem allen Expertinnen und Experten (Antonius Schulte/BDM NRW, Brigitte Wenzel/RLV, Caroline Labonte/LWK, Daniel Hoppe/LANUV, Dr. Katharina Filz/LANUV, Dr. Rudolf Schmidt/milchNRW, Heide Bergschmidt/MLV, Jens Vogt/Vier Pfoten, Joachim Hartung/MLV, Martin Hofstetter/Greenpeace, Simon Ickerott/LWK, Wilhelm Eckei/ABL) für die wertvollen inhaltlichen und methodischen Hinweise in den beiden Workshops, sowie den fachlich konstruktiven Austausch trotz teils unterschiedlicher Interessenlagen. Von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW) danken wir in besonderer Weise Caroline Labonte und Simon Ickerott für den engen fachlichen Austausch und die Bereitstellung spezifischer Emissionskennwerte für NRW aus dem Projekt „Klimaschutzstudie zu landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in NRW Status quo und Minderungsmöglichkeiten“. Unser Dank geht auch an Christel Hagen für die Organisation der Workshops, sowie an Christiane Wildraut für ihre Unterstützung bei den Workshops und für die sprachliche Überarbeitung des Manuskriptes.

Transparenz

Verschiedene KI-Tools wurden unterstützend und ergänzend zur Literaturrecherche, Texterstellung, Übersetzung und sprachlichen Überarbeitung genutzt.

Anhang

Daten, Tabellen und Berechnungen

Zusammenfassung:

Klimaeffekt der untersuchten Szenarien (positive Zahl: vorteilhaft; negative Zahl: nachteilig)

		Schweinefleisch	Milch
Angebotsseite	50 % weniger Erzeugung in NRW	-226.652	-8.290.937 t CO ₂ e
	Reduzierte PEM in NRW	50.397	808.610 t CO ₂ e
	10 % höherer Flächenertrag	1.432.364	2.673.775 t CO ₂ e
Nachfrageseite	10 % weniger PLL	4.306.376	t CO ₂ e
	Shift Schwein zu Milch	-4.377.679	t CO ₂ e
	Shift Schwein zu Hülsenfrüchten	5.520.205	t CO ₂ e
	Shift zu Planetary Health Diet	12.650.808	t CO ₂ e

Effizienz der Angebotsseite: Schweinefleischerzeugung

Baseline						
	Ertrag_NRW	PEM_NRW	PEM_global	COC_global	Klimavorteil	
	t/ha	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/ha	
Schweinefleisch	1,2	2,7	5,5	14,3	20,8	~Anteil am Ackerland
Milch	7,1	1,1	2,3	6,2	53,1	
Weizen	8,3	0,3	0,7	1,9	19,0	40 %
Gerste	7,4	0,3	0,5	2,6	21,0	20 %
Mais	9,6	0,3	0,5	2,1	21,2	15 %
Raps	3,8	0,5	1,0	5,8	24,2	15 %
Zuckerrüben	76,9	0,1	0,1	0,2	15,4	10 %

Durchschnitt Ackerland

20,2

Wiederaufforstung

10,6

Szenario S1: 50 % weniger Schweinefleischerzeugung in NRW				
		Baseline	Szenario S1	Differenz
Schweinefleischerzeugung NRW	t	839.112	419.556	
Flächenbedarf	ha	688.072	344.036	
Zusätzliche Ackerlandnutzung	ha		344.036	
Klimavorteil Schweinefleisch	t CO ₂ e	14.323.640	7.161.820	
Klimavorteil zus. Ackerland	t CO ₂ e		6.935.168	
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	14.323.640	14.096.988	-226.652
				2 %

Szenario S2: 2,2 % weniger Schweinefleisch-PEM in NRW

		Baseline	Szenario S2	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	14.323.640	14.374.037	50.397
				0 %

Szenario S3: 10 % höherer Flächenertrag bei Schweinefleisch

		Baseline	Szenario S1	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	14.323.640	15.756.004	1.432.364
				-10 %

Effizienz der Angebotsseite: Milcherzeugung

Baseline						
	Ertrag_NRW	PEM_NRW	PEM_global	COC_global	Klimavorteil	
	t/ha	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/t	t CO ₂ e/ha	
Schweinefleisch	1,2	2,7	5,5	14,3	20,8	~Anteil am Ackerland
Milch	7,1	1,1	2,3	6,2	53,1	
Weizen	8,3	0,3	0,7	1,9	19,0	40 %
Gerste	7,4	0,3	0,5	2,6	21,0	20 %
Mais	9,6	0,3	0,5	2,1	21,2	15 %
Raps	3,8	0,5	1,0	5,8	24,2	15 %
Zuckerrüben	76,9	0,1	0,1	0,2	15,4	10 %
Durchschnitt Ackerland					20,2	
Wiederaufforstung					10,6	

Szenario M1: 50 % weniger Milcherzeugung in NRW

		Baseline	Szenario M1	Differenz
Milcherzeugung NRW	t	3.598.620	1.799.310	
Flächenbedarf	ha	503.807	251.903	
Zusätzliche Ackerlandnutzung	ha		251.903	
Klimavorteil Milcherzeugung	t CO ₂ e	26.737.747	13.368.873	
Klimavorteil zus. Ackerland	t CO ₂ e		5.077.937	
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	26.737.747	18.446.810	-8.290.937
				31 %

Szenario M2: 21 % weniger Milch-PEM in NRW

		Baseline	Szenario M2	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	26.737.747	27.546.357	808.610
				-3 %

Szenario M3: 10 % höherer Flächenertrag bei Milch

		Baseline	Szenario M3	Differenz
Klimavorteil NRW gesamt	t CO₂e	26.737.747	29.411.521	2.673.775
				-10 %

Effizienz der Nachfrageseite

Beispielhafte Änderung der Eiweißversorgung bis 2045

	Basis							Szenario 2045					
	Konsum (kg/Kopf /Jahr)	Fläche (qm/kg)	Gesamt- fläche (qm)	CO ₂ / kg	Summe kg CO ₂	kg Ei- weiß /kg Produkt	Summe Eiweiß (kg)	% Än- derung	Änd. jährl.	Konsum (kg/Kopf /Jahr)	Summe Fläche (qm)	Summe kg CO ₂	Summe Eiweiß (kg)
Hülsenfr. & neue Aquak. + anglerisch	0,7	3,5	2,6	0,54	0,4	0,24	0,2	2.100%	13,7%	16,1	56,2	8,7	3,8
Anderer Fisch	0,7		-	2,00	1,4	0,20	0,1	300%	5,9%	2,8	-	5,6	0,5
Milch	12,3		-	5,00	61,5	0,20	2,5	0%	0%	12,3	-	61,5	2,5
Eier	62,7	1,3	81,5	1,28	80,3	0,04	2,4	-35%	-1,8%	40,8	53,0	52,2	1,6
Hähnchen	12,2	4,0	48,8	2,36	28,8	0,12	1,4	-15%	-0,7%	10,4	41,5	24,5	1,2
Schweinefleisch	17,8	6,0	106,5	2,84	50,4	0,20	3,5	-15%	-0,7%	15,1	90,5	42,8	3,0
Butter	51,8	8,0	414,5	4,04	209,3	0,18	9,1	-35%	-1,8%	33,7	269,4	136,1	5,9
Sahne	5,2	15,6	80,5	9,25	47,7	0,01	0,0	-35%	-1,8%	3,4	52,3	31,0	0,0
Käse	6,3	7,8	49,3	5,64	35,6	0,03	0,2	-35%	-1,8%	4,1	32,0	23,2	0,1
Rindfleisch	22,0	10,4	228,8	8,55	188,1	0,32	7,0	-35%	-1,8%	14,3	148,7	122,3	4,6
Andere Produkte	13,2	23,0	302,7	23,36	307,4	0,20	2,6	-50%	-2,8%	6,6	151,3	153,7	1,3
Summe			896,0				15,1				896,0		15,1
Relativ zur Basis	204,9		2.211,2		1.011,0		44,2			159,4	1.791,1	661,5	39,6
										81%		65%	90%

Quellen: Osterburg et al. (2013b), WBAE (2020), Debinet (2021), Papatryphon et al. (2004), Aubin et al. (2009), d' Orbcastel et al. (2009), Samuel-Fitwi et al. (2013), Le Féon et al. (2019), UBA (2018), eigene Berechnungen.

https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf#page15

Bevölkerung NRW

17.973.807

Baseline					
Proteinreiche Lebensmittel mit Land- nutzung (PLL)	Proteinkonsum	Proteingehalt	PEM_NRW	COC_NRW	Klimakosten der Ernäh- rung
	kg/Kopf & Jahr	%	kg CO ₂ e/kg FM	kg CO ₂ e/kg FM	t CO ₂ e/Kopf & Jahr
Schweinefleisch	9,1	18 %	2,7	8,1	0,5
Rindfleisch	2,6	20 %	13,6	40,0	0,7
Hähnchenfleisch	3,5	20 %	5,5	6,0	0,2
Eier	1,4	12 %	3,0	6,0	0,1
Milch & Milchprodukte	9,7	3,4 %	1,1	1,9	0,8
Hülsenfrüchte	0,2	24 %	1,3	5,0	0,0
SUMME PLL	26,5				2,4
Fisch	2,6				
Sonstiges	15,1				
GESAMT	44,2				

Gesamt NRW: 43.063.761

Szenario N1: 10 % weniger PLL

Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum	Proteingehalt	PEM_NRW	COC_NRW	Klimakosten der Ernährung
	kg/Kopf & Jahr	%	kg CO ₂ e/kg FM	kg CO ₂ e/kg FM	t CO ₂ e/Kopf & Jahr
Schweinefleisch	8,2	18 %	2,7	8,1	0,5
Rindfleisch	2,3	20 %	13,6	40,0	0,6
Hähnchenfleisch	3,2	20 %	5,5	6,0	0,2
Eier	1,3	12 %	3,0	6,0	0,1
Milch & Milchprodukte	8,7	3,4 %	1,1	1,9	0,8
Hülsenfrüchte	0,2	24 %	1,3	5,0	0,0
SUMME PLL	23,85				2,2

Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW **t CO₂e** Baseline 43.063.761 Szenario N1 38.757.385 Differenz **4.306.376** Diff. in Prozent -10 %

Szenario N2: Shift von Schweinefleisch zu Milchprodukten bei gleichem Proteinkonsum

Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum	Proteingehalt	PEM_NRW	COC_NRW	Klimakosten der Ernährung
	kg/Kopf & Jahr	%	kg CO ₂ e/kg FM	kg CO ₂ e/kg FM	t CO ₂ e/Kopf & Jahr
Schweinefleisch	0	18 %	2,7	8,1	0,0
Rindfleisch	2,6	20 %	13,6	40,0	0,7
Hähnchenfleisch	3,5	20 %	5,5	6,0	0,2
Eier	1,4	12 %	3,0	6,0	0,1
Milch & Milchprodukte	18,8	3,4 %	1,1	1,9	1,6
Hülsenfrüchte	0,2	24 %	1,3	5,0	0,0
SUMME PLL	26,5				2,6

Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW **t CO₂e** Baseline 43.063.761 Szenario N2 47.441.441 Differenz **-4.377.679** Diff. in Prozent 10 %

Szenario N3: Shift von Schweinefleisch zu Hülsenfrüchten bei gleichem Proteinkonsum

Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum	Proteingehalt	PEM_NRW	COC_NRW	Klimakosten der Ernährung
	kg/Kopf & Jahr	%	kg CO ₂ e/kg FM	kg CO ₂ e/kg FM	t CO ₂ e/Kopf & Jahr
Schweinefleisch	0	18 %	2,7	8,1	0,0
Rindfleisch	2,6	20 %	13,6	40,0	0,7
Hähnchenfleisch	3,5	20 %	5,5	6,0	0,2
Eier	1,4	12 %	3,0	6,0	0,1
Milch & Milchprodukte	9,7	3,4 %	1,1	1,9	0,8
Hülsenfrüchte	9,3	24 %	1,3	5,0	0,2
SUMME PLL	26,5				2,1

Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW **t CO₂e** Baseline 43.063.761 Szenario N3 37.543.556 Differenz **5.520.205** Diff. in Prozent -13 %

Szenario N4: Shift zu Planetary Health Diet

Proteinreiche Lebensmittel mit Landnutzung (PLL)	Proteinkonsum	Proteingehalt	PEM_NRW	COC_NRW	Klimakosten der Ernährung
	kg/Kopf & Jahr	%	kg CO ₂ e/kg FM	kg CO ₂ e/kg FM	t CO ₂ e/Kopf & Jahr
Schweinefleisch	1,0	18%	2,7	8,1	0,1
Rindfleisch	0,3	20%	13,6	40,0	0,1
Hähnchenfleisch	2,9	20%	5,5	6,0	0,2
Eier	0,8	12%	3,0	6,0	0,1
Milch & Milchprodukte	12,6	3,4%	1,1	1,9	1,1
Hülsenfrüchte	9,0	24%	1,3	5,0	0,2
SUMME PLL	26,5				1,7

Klimakosten der Ernährung für PLL in NRW **t CO₂e** Baseline 43.063.761 Szenario N4 30.412.954 Differenz **12.650.808** Diff. in Prozent -29 %

Grundlagenkalkulation zur Planetary Health Diet

Empfohlene Menge Empfohlene Menge multipliziert mit Gewichtungsfaktor

g/Kopf & Tag g/Kopf & Tag kg/Kopf & Jahr

Schweinefleisch	14	15,1	5,5
Rindfleisch		4,2	1,6
Hähnchenfleisch	29	39,6	14,5
Eier	13	17,7	6,5
Milch & Milchprodukte	250	341,3	124,6
Hülsenfrüchte	75	102,4	37,4

Gewichtungsfaktor 1,37

Flächen Ackerland NRW

Fruchtarten	2022			Annahme Kulturanteile in einer durchschnittlichen Ackerbaufruchtfolge in NRW	
	Ha	Anteil	Anteil		
Ackerland für Weizen, Gerste, Mais, Zuckerrüben und Winterraps	781 100	100 %	Kultur	100 %	
Winterweizen einschl. Dinkel und Einkorn	241 000	245 500	31 %	Weizen	40 %
Sommerweizen (ohne Durum)	4 500				
Wintergerste	133 800	143 200	18 %	Gerste	20 %
Sommergerste	9 400				
Körnermais/Mais zum Ausreifen (einschl. Corn-Cob-Mix)	87 000	87 000	11 %	Mais	15 %
Silomais/Grünmais einschl. Lieschkolbenschrot (LKS)	200 500	200 500	26 %		
Winterraps	50 700	50 700	6 %	Raps	15 %
Zuckerrüben (auch zur Ethanolherzeugung), ohne Saatguterzeugung	54 200	54 200	7 %	Zuckerrüben	10 %

Zuletzt aktualisiert: 25. April 2023

<https://statistik.nrw/wirtschaft-und-umwelt/land-und-forstwirtschaft/bodennutzung-und-ernte/anbau-auf-dem-ackerland-nach-fruchtarten>

Datenquellen

	Schweinefleisch /Milch	Andere
Ertrag_NRW	LWK NRW	Statistik NRW
PEM_NRW	LWK NRW	
PEM_global	Searchinger et al. 2018	
COC_global	Searchinger et al. 2018	
Kulturenanteil Ackerland		https://www.it.nrw/statistik/eckdaten/anbau-auf-dem-ackerland-nach-fruchtarten-760
PEM-Reduktionspotential NRW	LWK NRW	
Proteinkonsum	https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf#page15	
Proteingehalt	https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/06/2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf#page15	
PEM_NRW	LWK NRW	https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Reinhardt-Gaertner-Wagner-2020-Oekologische-Fu%C3%9Fabdrucke-von-Lebensmitteln-und-Gerichten-in-Deutschland-ifeu-2020.pdf
COC_NRW	https://files.wri.org/d8/s3fs-public/comparing-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-dairy-pork-systems_0.pdf	Eigene Schätzung
Empfehlung Planetary Health Diet	https://www.bzfe.de/nachhaltiger-konsum/lagern-kochen-essen-teilen/planetary-health-diet/	