



# **Berichte über Landwirtschaft**

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

**BAND 101 | Ausgabe 1**

**Agrarwissenschaft**  
**Forschung**  

---

**Praxis**

# Klimarechner in der Landwirtschaft – ein Treibhausgasbilanzierungstool auf dem Prüfstand

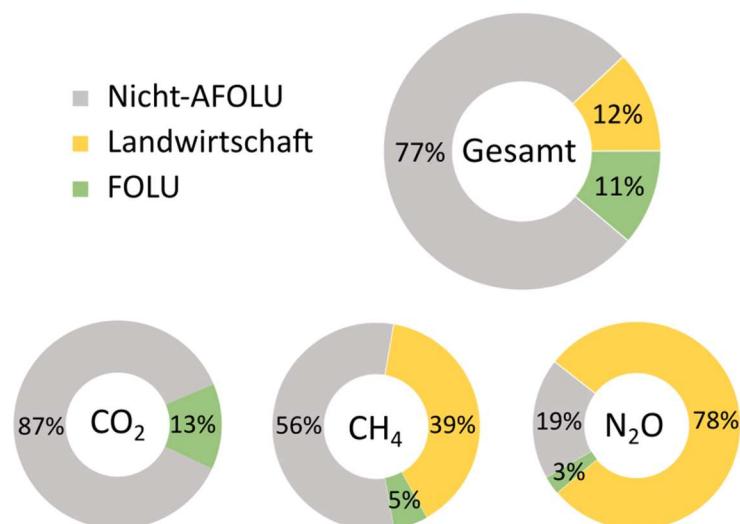
von Maret Ellinghausen und Hubert Wiggering

## 1 Einleitung

Der anthropogene Klimawandel hat bereits weltweit zu einem Anstieg der durchschnittlichen Oberflächentemperatur von 1,09 °C im Zeitraum von 2011 bis 2020 verglichen zu 1850 bis 1900 geführt (IPCC, 2021). Die Erwärmung über Landflächen ist dabei zudem deutlich höher als über dem Ozean. Die Ursachen der Erwärmung sind seit Jahrzehnten bekannt und bis ins Detail erforscht. Die fortwährenden Emissionen von Treibhausgasen und deren Akkumulation in der Atmosphäre sind verantwortlich für immer häufiger auftretende Wetterextreme und auch global zu beobachtende Veränderungen in der Biosphäre. Dabei trägt jedes Kilogramm eines Treibhausgases, das zusätzlich emittiert wird, zum Fortschreiten des Klimawandels bei. Es ist allgemein bekannt, dass eine sofortige Reduktion der Treibhausgasemissionen zur Abschwächung des Klimawandels dringend notwendig ist (IPCC, 2021).

Während die Folgen des Klimawandels zunehmend die Gestalt und Funktion des System Erde verändern, kommt dem Land, das wir als Mensch nutzen, eine zentrale Bedeutung zu. 40-50 % der weltweiten Landflächen werden heute landwirtschaftlich genutzt (SMITH ET AL., 2007), mehr als 70 % der eisfreien Landoberfläche wird durch die menschliche Nutzung beeinflusst (IPCC, 2019a). Dazu zählen alle Nutzflächen für die landwirtschaftliche Produktion: Ackerland, bewirtschaftetes Grünland, Flächen mit mehrjährigen Früchten, Agroforstsysteme sowie Energiepflanzen. 12-14 % der eisfreien Landoberfläche sind Ackerland (IPCC, 2019a). Im Vergleich dazu dient etwa 1 % dem Bau von Infrastruktur und Siedlungen (IPCC, 2019a). Obwohl das Land vorwiegend zur Produktion von Nahrung und anderen Rohstoffen bewirtschaftet wird, stellt es verschiedenste weitere Leistungen für die Weltbevölkerung zur Verfügung. Der Zustand der Agrarflächen der Erde ist eng verknüpft mit der Biodiversität, dem Wasserhaushalt, den Nährstoffkreisläufen, dem Boden und der Atmosphäre – sowohl auf globaler als auch lokaler Ebene. Damit wechselwirken auch die landwirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen mit großen Teilen des Erdsystems. Und um dieses System, wie wir es

kennen, und das zahlreiche notwendige Ökosystemleistungen für uns bereitstellt, zu erhalten, ist eine nachhaltige Nutzung von Land notwendig. Kaum ein anderer Wirtschaftsbereich ist so sehr abhängig von den klimatischen Bedingungen wie die Landwirtschaft. Die Landwirtschaft wird beeinflusst vom Klima und beeinflusst wiederum das Klima selbst. Laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist die Landwirtschaft global durchschnittlich für etwa 12 % aller anthropogenen Emissionen im Zeitraum von 2007-2016 verantwortlich gewesen (vgl. Abb. 1; IPCC, 2019a). Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzungen und Landnutzungsänderungen (AFOLU – Agriculture, Forestry and Other Land Use) zusammen verursachten im gleichen Zeitraum 13 % der Kohlenstoffdioxid- (CO<sub>2</sub>), 44 % der Methan- (CH<sub>4</sub>) und 81 % der Lachgas- (N<sub>2</sub>O) Emissionen aus anthropogenen Aktivitäten. Zusammen entsprechen diese 23 % der Netto-Gesamtemissionen (IPCC, 2019a). Dabei ist vor allem der landwirtschaftliche Sektor für die Methan- und Lachgasemissionen verantwortlich. Insgesamt sind AFOLU-Aktivitäten ursächlich für bis zu einem Drittel der gesamten menschengemachten Klimaveränderungen (TUBIELLO ET AL., 2013). Um den Klimawandel abzuschwächen und internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz gerecht zu werden, trägt auch die Landwirtschaft eine Verantwortung – allein schon zum Eigenschutz. Die Landwirtschaft nimmt gar eine gewisse Schlüsselrolle ein, da sie mit so vielen Bereichen des Erdsystems in Wechselwirkung steht und hier großen Einfluss auf die Einhaltung planetarer Grenzen hat, auch wenn sie gleichzeitig auch selbst abhängig von der Stabilität dieser Systeme ist.



**Abb. 1:** Übersicht zu den Anteilen der Landwirtschaft sowie der Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (FOLU) an den globalen Netto-Treibhausgasemissionen im Verhältnis zu allen anderen anthropogenen Emissionen (Nicht-AFOLU) als Mittelwert für den Zeitraum 2007-2016 (Daten aus IPCC, 2019a).

Aufgrund dieser wichtigen Rolle, die die Landwirtschaft in der Klimadiskussion einnimmt, ist das Wissen über landwirtschaftliche Treibhausgasemissionen wichtig, um Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen darauf aufbauen zu können. Neben globalen (SMITH ET AL., 2007; TUBIELLO ET AL., 2013) und nationalen (UMWELTBUNDESAMT, 2021) Erfassungen und Schätzungen der Emissionen aus der Landwirtschaft gibt es zudem sogenannte Klimarechner, um die Treibhausgasbilanz eines einzelnen Betriebes oder eines landwirtschaftlichen Produktionszweiges zu berechnen. Aus der Praxis heraus, können so über die Erfassung der tatsächlichen Betriebs-Emissionen deren Quellen aufgezeigt und Ansätze für Minderungsmöglichkeiten gegeben werden. Diese Klimabilanzierung in der Landwirtschaft wird jedoch bisher nicht verbreitet umgesetzt. Gleichwohl ist mit der erhöhten Präsenz des „Klimathemas“ – auch in der Landwirtschaft – die Diskussion um Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen in den letzten Jahren lauter geworden. So wurde unter anderem von der Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen vor etwa fünf Jahren der „Treibhausgas-Emissions-Kalkulator-Landwirtschaft“, kurz „TEKLa“, entwickelt, um Treibhausgasemissionen landwirtschaftlicher Betriebe zu berechnen und vergleichbar zu machen. Mittlerweile wird TEKLa auch in anderen Bundesländern über die dort ansässigen Landwirtschaftskammern oder über Beratungsunternehmen angeboten. Die Klimabilanzierung gewinnt zunehmend auch an Beliebtheit. Die Gründe für die Anwendung eines Klimarechners können sehr divers sein. Sie dienen zum Nachweis „klimafreundlicher“ Agrarprodukte für Käufer aus der Lebensmittelindustrie oder Verpächtern landwirtschaftlicher Flächen als Gütekriterium. Auf jeden Fall bieten sie eine gute Möglichkeit, Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft sichtbar zu machen.

Im Ansatz dieser Arbeit steht die Begleitung eines Landwirts, der sich dieser Aufgabe der Treibhausgasbilanzierung seines Betriebes mit dem Klimarechner TEKLa stellt. Dabei steht die Herangehensweise des Landwirts an diesen Klimarechner als Prozess im Fokus. Aus der Perspektive der landwirtschaftlichen Praxis und vor dem Hintergrund der Notwendigkeit Treibhausgasemissionen zu reduzieren, werden dabei zudem die Möglichkeiten und Grenzen mit und von TEKLa herausgearbeitet und diskutiert. Gleichzeitig werden die Möglichkeiten und Grenzen (sog. Systemgrenzen) des Betriebes für das Ziel Treibhausgasemissionen zu mindern und sich an den Klimawandel anzupassen aufgezeigt.

Mit dieser Arbeit wird also der Klimarechner selbst auf den Prüfstand gestellt und seine Praxistauglichkeit, Vollständigkeit und Wirksamkeit hinterfragt. Am Ende gilt es zu beantworten, inwieweit auf dieser Grundlage Treibhausgasminderungen in der Landwirtschaft anrechenbar gemacht werden können.

Zusammenfassend sollen also folgende Fragen beantwortet werden:

- I. Wie praxistauglich ist die Klimabilanzierung mit TEKLa?
- II. Welche Emissionsquellen, vor allem im Pflanzenbau, werden von TEKLa abgedeckt? Und welche nicht?
- III. Was kann der Landwirt aus den Ergebnissen der Klimabilanz ziehen und wo stößt TEKLa an seine Grenzen?
- IV. Inwiefern ist TEKLa ein hilfreiches Tool für den Klimaschutz?

## 2 Landwirtschaft und Klima

### 2.1 Klimapolitik

Mittlerweile ist auch in der Politik erkannt worden, dass dem vom Menschen verursachten Klimawandel entgegengewirkt werden muss. Mit der Aufnahme der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change) im Jahr 1994 und dem Beschluss des Kyoto-Protokolls 1997 haben sich Deutschland und die Europäische Union (EU) verpflichtet jährlich Nationale Treibhausgas-Inventar Berichte (NIRs) einzureichen sowie festgelegte Treibhausgas-Reduktionsziele zu erreichen. Die Berichterstattung der Treibhausgase basiert dabei auf einem Gemeinsamen Berichtsformat (CRF – Common Reporting Format) sowie Richtlinien des IPCC (UMWELTBUNDESAMT, 2021). Dafür müssen jegliche Treibhausgasemissionen, deren Quellen, Senken und Transportwege bekannt sein.

In 2015 haben nahezu alle Staaten das Übereinkommen von Paris unterzeichnet und ratifiziert. Mit diesem ersten, weltweit gültigen und wirksamen Klimaübereinkommen haben sich sowohl Industrienationen als auch Entwicklungsländer verpflichtet einen Beitrag zum internationalen Klimaschutz zu leisten. Die zentralen Ziele des Pariser Übereinkommens sind die Beschränkung der Erderwärmung auf 2 °C, am besten 1,5 °C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau sowie das Erreichen einer globalen Treibhausgasneutralität, einer Balance zwischen anthropogenen Treibhausgasquellen und –senken, in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts. Um diese Ziele zu erreichen, müssen alle Vertragspartner Nationale Klima-Aktions-Pläne, sogenannte Nationally Determined Contributions (NDCs), im Fünf-Jahres-Rhythmus einreichen. In den NDCs sollen die nationalen Vorhaben zur Reduktion von Treibhausgasemissionen sowie zur Anpassung an den Klimawandel dargelegt werden (ÜBEREINKOMMEN VON PARIS, 2015).

Mit ihrem zweiten NDC hat die EU eine Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen um 55 % bis 2030 verglichen zu 1990 und Klimaneutralität bis 2050 festgelegt. Mit dem European Green Deal verkündete die EU zudem, ihre Klimaschutz-Ziele mit einer nachhaltigen und starken Wirtschaft zu verbinden.

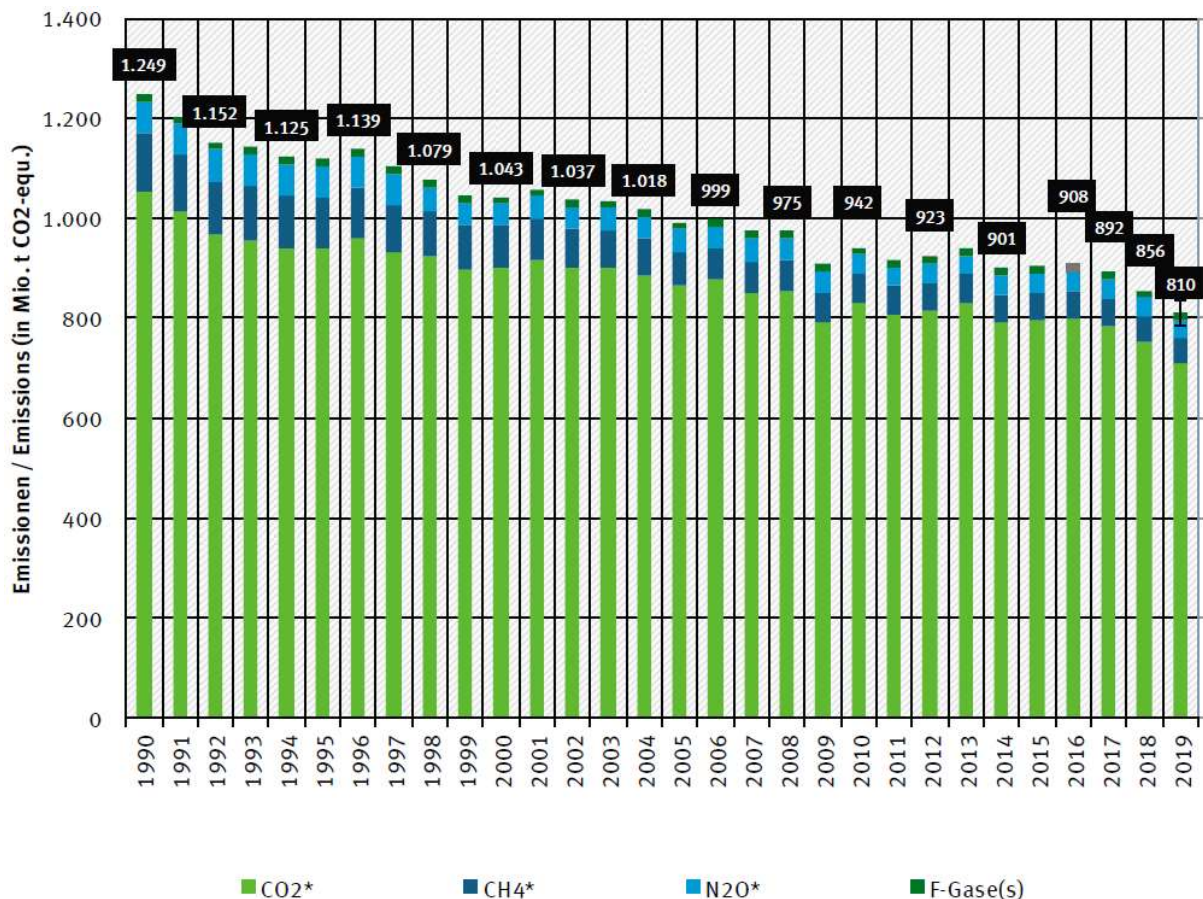
Auf nationaler Ebene wurden mit der neuesten Version des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) von 2021 die Ziele zur Minderung der Treibhausgasemissionen von Deutschland erneut angepasst. Das aktuelle KSG fordert eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 65 % bis 2030 sowie um 88 % bis 2040 (jeweils verglichen mit 1990). Die angestrebte Netto-Treibhausgasneutralität wurde vorgezogen auf das Jahr 2045. Nach 2050 strebt Deutschland mit dem KSG negative Emissionen an.

Zusammen mit den Reduktionszielen der deutschen Gesamtemissionen wurden zusätzlich spezifische Ziele für verschiedene Sektoren festgelegt. Diese Sektoren umfassen die Bereiche: Energie, Industrie, Gebäude, Abfall und Landwirtschaft. Die Ziele schreiben maximal erlaubte jährliche Emissionen vor. Der landwirtschaftliche Sektor darf nach dem KSG 2030 56 Mt Kohlenstoffdioxid-Äquivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) emittieren. Verglichen mit 1990 bedeutet dies eine Reduktion der Emissionen um 26,8 %. Zusätzlich wird erwartet, dass die momentan negativen Netto-Emissionen aus dem Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forst“ (LULUCF – Land Use, Land-Use Change and Forestry) weiterhin sinken und als Kohlenstoff-Senke dienen. Die vorgeschlagenen Beiträge aus LULUCF werden im 2021 neu hinzugefügten §3a des KSGs separat adressiert.

## 2.2 Treibhausgasemissionen in Deutschland

Die dem deutschen NIR zugrunde gelegten Datentabellen nach dem CRF (DEUTSCHLAND, 2021) legen die Emissionen aller Sektoren seit 1990 offen (UMWELTBUNDESAMT, 2021). Demnach sind die totalen Netto-Treibhausgasemissionen (inkl. LULUCF) Deutschlands von 1.273 Mt  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  in 1990 auf 793 Mt  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  in 2019 gesunken. Ohne die Inklusion der Treibhausgasemissionen und –bindungen in der Landnutzung, Landnutzungsänderung und im Forst (LULUCF) liegen die Gesamtemissionen 2019 mit 810 Mt  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  etwa 35,1 % unter den Emissionen von 1990 (vgl. Abb. 2). Dieser generelle Trend variiert jedoch für die verschiedenen Treibhausgase.  $\text{CO}_2$ , welches 87,9 % (in 2019) aller Emissionen ausmacht, zeigt eine Reduktion von 32,4 % gegenüber 1990,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  jeweils von 58,2 % und 45,9 % (UMWELTBUNDESAMT, 2021).





**Abb. 2:** Vom NIR berichtete Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2019 (exkl. LULUCF) mit den Anteilen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und fluorierter Treibhausgase (F-Gase), angegeben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (UMWELTBUNDESAMT, 2021).

Dem Landwirtschaftssektor werden 7,8 % (61,8 Mt CO<sub>2eq</sub> in 2019) der deutschen Gesamtemissionen (inkl. LULUCF) zugeschrieben (Umweltbundesamt, 2021). Die landwirtschaftlichen Emissionen sind dem NIR zufolge um 19,2 % von 1990 bis 2019 gesunken, wobei die bei weitem größte Reduktion in den frühen 90er Jahren beobachtet werden konnte (UMWELTBUNDESAMT, 2021). Diese Entwicklung ging einher mit einer drastischen Abnahme im Viehbestand der neuen Bundesländer nach der deutschen Wiedervereinigung. Nach diesen Veränderungen sanken die Emissionen von 1995 bis 2019 nur noch um insgesamt 6,3 % – im Mittel also jährlich um 0,26 % (UMWELTBUNDESAMT, 2021). Die Berichterstattung des NIR umfasst dabei für den Landwirtschaftssektor die Emissionen der Kategorie 3 nach dem CRF des UNFCCC. Im KSG (2021) hingegen werden auch die Emissionen der CRF Kategorie 1.A.4.c „Kraftstoffverbrennungen in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft“ dem Landwirtschaftssektor zugeordnet.

Im Allgemeinen sollten die Anteile der landwirtschaftlichen Emissionen nicht als gesetzt angesehen werden, da diese immer abhängig von der Definition des Sektors sind. Vor allem für den landwirtschaftlichen Sektor ist die Zuordnung einzelner Emissionskategorien in unterschiedliche Sektoren entscheidend für die Menge an „in Rechnung gestellter“ Emissionen und deren Anteil an den

Gesamtemissionen. So werden große Mengen an Emissionen nicht der Landwirtschaft zugeordnet, sondern dem LULUCF-Sektor oder auch, wie oben erwähnt, dem Energie-Sektor. Die Landnutzung, also unter anderem auch die Bewirtschaftung von Ackerland und Grünland, und die daraus entstehenden Emissionen sind jedoch grundsätzlich verbunden mit der Landwirtschaft. Diese Separation der Emissionen in unterschiedliche Sektoren ist für die Berichterstattung vorgegeben, erschwert aber in vielen Bereichen, wie der Landwirtschaft, eine ganzheitliche Betrachtung und Minderung von Treibhausgasemissionen. Während der LULUCF-Sektor insgesamt aktuell mehr Treibhausgase bindet als emittiert, verursacht die Landnutzung allein von Acker- und Grünland hohe Emissionen und trägt damit zur Klimaerwärmung bei. Einzig der Forst stellt in Deutschland eine Netto-Treibhausgas-Senke dar. Die Netto-Bindung durch den LULUCF-Sektor verzeichnete aber vor allem in den letzten drei Jahren deutliche Verluste.

Insgesamt ist der landwirtschaftliche Sektor (CRF 3) die größte Quelle für CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Etwa 60 % des gesamten Methans und 77 % des Lachgases wurden 2019 aufgrund von Aktivitäten in der Landwirtschaft emittiert (DEUTSCHLAND, 2021). Die größten Emissionsminderungen wurden jedoch seit 1990 für N<sub>2</sub>O durch Innovationen in der Chemieindustrie und für CH<sub>4</sub> in Folge neuer Umweltrichtlinien im Abfallmanagement erreicht (UMWELTBUNDESAMT, 2021). CO<sub>2</sub>-Emissionen werden dem Landwirtschaftssektor hingegen nur in sehr geringen Mengen – knapp 0,5 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands – zugeschrieben. Die Nutzung von Grünland und Ackerland (CRF 4) verursachte 2019 jedoch knapp 5 % (DEUTSCHLAND, 2021).

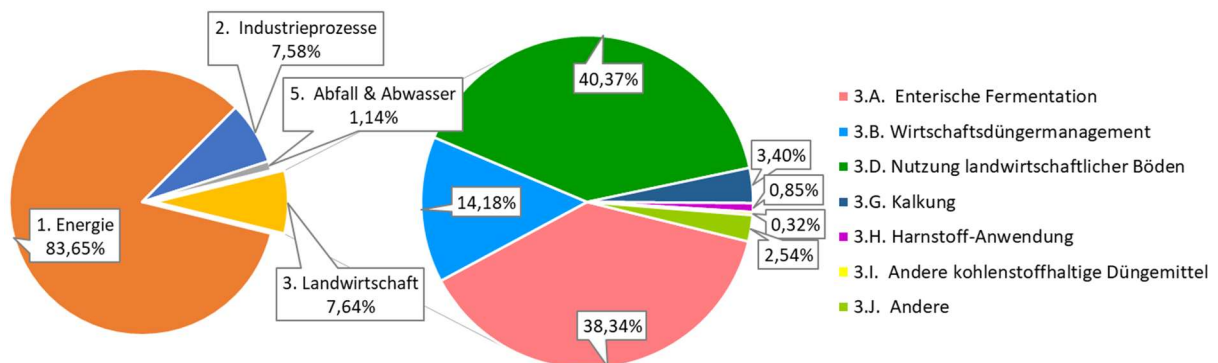
Obwohl der Energiesektor bei weitem den größten Anteil (83,65 % in 2019) an den Treibhausgasemissionen (UMWELTBUNDESAMT, 2021) und damit deren Entwicklung auch den größten absoluten Effekt auf die Gesamtemissionen hat, sind Minderungen in allen Sektoren notwendig, um eine Netto-Treibhausgas-Neutralität erreichen und damit auch nationale und internationale Klimaschutzvereinbarungen einhalten zu können.

## 2.3 Treibhausgasquellen und -senken in der Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Emissionen lassen sich grob untergliedern in Emissionen, die in der Tierhaltung, im Düngemanagement, durch die Land- bzw. Bodennutzung sowie den Einsatz von Betriebsmitteln entstehen. Die Tierhaltung ist dabei letztlich Hauptverursacher sowohl der CH<sub>4</sub>- als auch bedingt der N<sub>2</sub>O-Emissionen in Deutschland. Die größte Quelle für N<sub>2</sub>O stellen in Deutschland allerdings landwirtschaftlich genutzte Böden dar. CO<sub>2</sub>-Emissionen selbst entstehen vor allem in der Landnutzung. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die von Deutschland berichteten Emissionsquellen nach der CRF-Kategorisierung, die für die Betrachtung landwirtschaftlicher Emissionen vorrangig relevant sind. Hinzu



kommen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Kraftstoffverbrennung und Energieverbrauch sowie die Emissionen der Ackerland- und Grünlandnutzung (CRF 4.B und 4.C) aus dem Sektor LULUCF.



**Abb. 3:** Anteile der Treibhausgas-Emissionsquellen nach dem NATIONALEN INVENTARBERICHT (2021) für das Jahr 2019. Links: Anteile der Sektoren an den deutschen Gesamtemissionen (exkl. LULUCF); Rechts: Anteile der zu berichtenden Emissionsquellen für den Sektor Landwirtschaft (CRF 3) (DEUTSCHLAND, 2021; UMWELTBUNDESAMT, 2021).

### Methan (CH<sub>4</sub>)

Die Fermentation bei der Verdauung ist die größte Quelle für CH<sub>4</sub>-Emissionen. Hinzu kommen zu kleineren Anteilen Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement und der Abfall-Verbrennung (IPCC, 2019a). Andere Quellen, wie etwa der Anbau von Reis, sind in Deutschland nicht relevant. In Deutschland verursacht die enterische Fermentation hingegen 46 % aller und fast 77 % der landwirtschaftlichen CH<sub>4</sub>-Emissionen. Der Großteil der Emissionen kann hier zurückgeführt werden auf die Rinderhaltung - einerseits aufgrund des hohen Viehbestands, andererseits wegen der hohen CH<sub>4</sub>-Emissionsraten ihres Verdauungssystems und der Art der Fütterung der Tiere. Allgemein ist die Viehwirtschaft verantwortlich für etwa ein Drittel der globalen Gesamtemissionen seit 2000 (IPCC, 2019a).

CH<sub>4</sub> entsteht bei der enterischen Fermentation als Nebenprodukt bei der Verdauung seitens der Pflanzenfresser. Die Art des Verdauungssystems, das Vieh-Gewicht sowie die Qualität und Quantität des Futters beeinflussen die Menge des entstehenden Treibhausgases. Die Rate der enterischen Fermentation und der CH<sub>4</sub>-Emissionen ist bei Wiederkäuern (u.a. Rinder, Ziegen, Schafe) besonders hoch. Generell steigt die CH<sub>4</sub>-Produktion linear zur Futtermenge, ist aber auch, wie bereits angerissen, abhängig von dessen Zusammensetzung (IPCC, 2019b).

Die Entstehung von CH<sub>4</sub> im Wirtschaftsdüngermanagement hängt zum einen ab von dessen Menge, aber auch von der Lagerungs- und Behandlungsart. CH<sub>4</sub> entsteht bei der Zersetzung der organischen Dünger unter anaeroben Bedingungen, also z. B. wenn flüssige Dünger, wie Gülle, in Lagunen oder Tanks gelagert werden. Dabei beeinflusst die Lagerungszeit und die Temperatur die Menge des

gebildeten Gases. Feste Wirtschaftsdünger, die direkt auf der Weide ausgeschieden oder als Haufen gelagert werden, zersetzen sich hingegen unter aeroben Bedingungen und produzieren deutlich weniger CH<sub>4</sub> (IPCC, 2019b).

Emissionen von CH<sub>4</sub> haben vor allem kurzfristig einen großen Einfluss auf die globale Erwärmung. Das kurzlebige CH<sub>4</sub> hat mit einer Verweildauer von nur 12 Jahren einen vergleichsweise geringen kumulativen Effekt im Vergleich zu anderen Treibhausgasen, allerdings trotzdem ein 25-mal (für 100 Jahre) größeres Erwärmungspotential (GWP – Global Warming Potential) als CO<sub>2</sub>. Das GWP dient dabei als Index zur Messung des Strahlungsantriebs eines Treibhausgases über einen bestimmten Zeitraum in Relation zu CO<sub>2</sub>. Damit können die Effekte der unterschiedlichen atmosphärischen Verweilzeiten und die Absorptions-Effektivität von ausgehender Wärmestrahlung der Gase vereint und damit deren potentielle Klimawirkung miteinander verglichen werden (IPCC, 2007). Je höher das GWP, desto größer der Effekt des Gases auf die Klimaerwärmung (das GWP von CO<sub>2</sub> ist 1). Insgesamt hat der extreme Anstieg an Emissionen zu einem Anstieg der atmosphärischen CH<sub>4</sub>-Konzentration um 150 % seit Beginn der industriellen Zeit geführt (UMWELTBUNDESAMT, 2021).

### **Lachgas (N<sub>2</sub>O)**

Auch die atmosphärische Konzentration von N<sub>2</sub>O, dem sogenannten Lachgas, ist seit vorindustrieller Zeit von 270 ppbv auf 330 ppbv, mit einer besonders hohen Rate in den letzten Jahrzehnten, gestiegen. Lachgas ist ein langlebiges Treibhausgas (Verweilzeit 114 Jahre) mit einem GWP von 298 (IPCC, 2007). Allgemein entsteht Lachgas als Zwischen- oder Nebenprodukt bei mikrobiologischen Prozessen der Nitrifikation und Denitrifikation. Diese sind für mehr als 80 % der weltweiten N<sub>2</sub>O-Emission verantwortlich (IPCC, 2019a). Dazu zählen Emissionen aus der Landwirtschaft, aus natürlichen Böden und der Ozeane. Insgesamt ist die Landwirtschaft bei weitem der größte Verursacher von N<sub>2</sub>O-Emissionen und global verantwortlich für etwa zwei Drittel aller Emissionen (IPCC, 2019a) – in Deutschland sogar für mehr als 75 % (DEUTSCHLAND, 2021).

Landwirtschaftlich genutzte Böden stellen in Deutschland die größte Quelle für N<sub>2</sub>O dar. Dabei sind gut 80 % direkte und ein kleiner Teil indirekte Emissionen (DEUTSCHLAND, 2021). Die meisten direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen entstehen durch das Ausbringen von (i) anorganischen oder (ii) organischen (Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung, Klärschlamm, etc.) Stickstoffdüngern auf Acker- oder Grünland. Weitere Stickstoff (N)-Quellen sind: (iii) Ausscheidungen in der Weidetierhaltung, (iv) auf dem Acker verbleibende (und eingearbeitete) Pflanzenreste, (v) Mineralisierung von organischem Material im Boden und (vi) die Kultivierung/Drainage von organischen Böden (IPCC, 2019b). Letzteres verursacht in Deutschland nach dem Ausbringen von N-Düngern die höchsten N<sub>2</sub>O-Emissionen (DEUTSCHLAND, 2021).

Zudem verursacht die N-Zufuhr auf landwirtschaftlichen Böden indirekte Emissionen. Diese entstehen einerseits durch Verflüchtigung und atmosphärischer Deposition und andererseits durch Auswaschung und Abfluss (IPCC, 2019b). Diese indirekten Emissionen beeinflussen auch Böden und Wasserkörper außerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Allgemein lässt sich sagen, dass die N-Zufuhr die Nitrifikations- und Denitrifikationsraten und damit die Bildung von  $N_2O$  erhöht. Zudem führt ein hoher N-Überschuss, also die Differenz zwischen N-Zufuhr und N-Verbrauch der Pflanzen, zu hohen Emissionen. Auch Veränderungen in der Landnutzung (z. B. Umwandlung von Wald oder Grünland zu Ackerland) führen zu erhöhten  $N_2O$ -Emissionen – unabhängig von weiteren Steigerungen durch N-Dünger-Ausbringungen (IPCC, 2019a). Daneben wurde in aktuellen Studien ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen der Rate der N-Zufuhr und den  $N_2O$ -Emissionen festgestellt, was bedeutet, dass Veränderungen in der N-Zufuhr einen größeren Effekt in N-Überschuss-Regionen bewirken als in Regionen mit allgemein geringer N-Zufuhr (IPCC, 2019a).

Zusätzlich zu den Feldemissionen entsteht  $N_2O$  auch bereits beim Wirtschaftsdüngermanagement, also während der Lagerung und Behandlung der Wirtschaftsdünger bevor es als Düngemittel ausgebracht oder anderweitig verwendet wird. Direkte  $N_2O$ -Emissionen entstehen dabei durch Nitrifikation und Denitrifikation des Stickstoffs in der Gülle oder dem Mist. Wichtig ist die Kombination beider Prozesse: bei der Nitrifikation werden unter aeroben Bedingungen Nitrite und Nitrate gebildet, welche bei der Denitrifikation unter anaeroben Bedingungen zu  $N_2O$  und  $N_2$  umgewandelt werden. Dabei bedingen ein niedriger pH-Wert und geringe Feuchtigkeit eine verstärkte Reduktion von  $N_2O$  zu  $N_2$ . Ähnlich wie bei der Entstehung von  $CH_4$ -Emissionen im Wirtschaftsdüngermanagement ist auch die Menge an gebildetem  $N_2O$  abhängig von der Dauer der Lagerung, der Art der Behandlung und dessen Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt (IPCC, 2019b).

Indirekte  $N_2O$ -Emissionen entstehen in Folge der Verflüchtigung und anschließender Deposition von Stickstoff, vorrangig in Form von Ammoniak oder Stickoxiden, und sind vor allem abhängig von der Zeit, der Temperatur und der Sauerstoffversorgung während der Lagerung. Ammoniak, welches stark volatil ist, entsteht besonders leicht aus Harnstoff-Verbindungen. Bei der offenen Lagerung von festen Düngern in Außenbereichen ist zudem auch ein Abfließen und Auswaschen von Stickstoff in den Boden oder in Wasserkörper möglich (IPCC, 2019b).

### **Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ )**

$CO_2$ , das mengenmäßig wichtigste und bekannteste Treibhausgas, spielt in den landwirtschaftlichen Emissionen nach CRF-Kategorisierung lediglich eine untergeordnete Rolle.  $CO_2$ -Emissionen entstehen hier aufgrund der Kalkung von Böden sowie durch den Einsatz von Harnstoff und anderen kalk- bzw. kohlenstoffhaltigen Düngemitteln (3.G-I). In der Tierhaltung wird angenommen, dass das ausgeatmete

CO<sub>2</sub> jenem entspricht, das bei der Photosynthese der als Futter verwendeten Pflanzen zuvor gebunden wurde und damit in Netto keine CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen (IPCC, 2019b).

Der Landwirtschaft im NIR und KSG nicht zugeordnet, aber mit ihr unweigerlich verbunden, sind die Emissionen durch die Landnutzung, welche im Sektor LULUCF berücksichtigt werden. Diese Emissionen entstehen durch die Nutzung von Land und in Folge von Landnutzungsänderungen. Besonders relevant für die Betrachtung der landwirtschaftlichen Emissionen ist die Nutzung von Ackerland und Grünland. Allgemein treten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Landnutzung dann auf, wenn Veränderungen im Humushaushalt des Bodens stattfinden. Eine Abnahme im Vorrat an organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) im Boden bedeutet immer eine Freisetzung von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre. Durch Humusaufbau hingegen kann CO<sub>2</sub> bzw. Kohlenstoff im Boden festgelegt und damit letztlich der Atmosphäre entzogen werden (JACOBS ET AL., 2018). Änderungen im C<sub>org</sub>-Bodenvorrat können verursacht werden durch Landnutzungsänderungen, z. B. dem Umbruch von Grünland in Ackerland (oder umgekehrt) oder durch Bewirtschaftungsmaßnahmen. Beeinflusst wird der Humusgehalt eines Bodens zum einen durch Standortfaktoren, wie dem Klima, dem Relief, der Bodenart und Bodeneigenschaften (Textur, pH-Wert, Wassersättigung, (mikro)biologische Aktivität), aber auch durch die Art der Landnutzung, welche unweigerlich verbunden ist mit den gegebenen Standortfaktoren (DREXLER ET AL., 2020). Während auch die historische Landnutzung großen Einfluss auf den Humusgehalt hat, sind die Einflüsse durch die Bewirtschaftung häufig weniger eindeutig (DREXLER ET AL., 2020). Allgemein ist der Humusgehalt eines Bodens das Ergebnis von Eintrag und Austrag organischer Substanz bzw. Kohlenstoffs, wobei dessen Umsetzung, Abbau und Stabilisierung durch die zahlreichen Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren bestimmt wird (DREXLER ET AL., 2020; JACOBS ET AL., 2018; POEPLAU & DON, 2015). Der C<sub>org</sub>-Eintrag ist abhängig von der Landnutzungsart und Bewirtschaftungsweise und den damit verbundenen Mengen an eingetragenen organischen Material, wie Wurzel- und Pflanzenreste oder Gülle, Mist und Kompost sowie der Fruchtfolgestaltung (DREXLER ET AL., 2020; JACOBS ET AL., 2018).

Die meisten Ackerböden in Deutschland haben einen Humusgehalt von 2 bis <4 %, wobei eine ackerbauliche Nutzung eines Bodens allgemein mit einer Verringerung des C<sub>org</sub>-Vorrats von 30-40 % einhergeht, verglichen zur Fläche mit natürlicher Vegetation (JACOBS ET AL., 2018; POEPLAU & DON, 2015). Zudem hat sich gezeigt, dass der C<sub>org</sub>-Vorrat (0-30 cm) von Mineralböden im Mittel bei einer Grünlandnutzung um etwa ein Drittel höher ist als beim Acker (JACOBS ET AL., 2018). Diese Unterschiede sind begründet sowohl durch Nutzungs- als auch Boden- und Standortfaktoren.

Eine besonders hohe Klimawirkung haben landwirtschaftlich genutzte Moorböden oder organische Böden (TIEMEYER ET AL., 2016). Trotz ihres flächenmäßig geringen Anteils (6 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche) sind sie verantwortlich für 37 % der deutschen Gesamtemissionen aus Landwirtschaft und LULUC (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT [BMEL], 2018). Die Emissionen aus Moorböden sind dabei vor allem abhängig von der Tiefe ihrer Entwässerung, wobei für eine

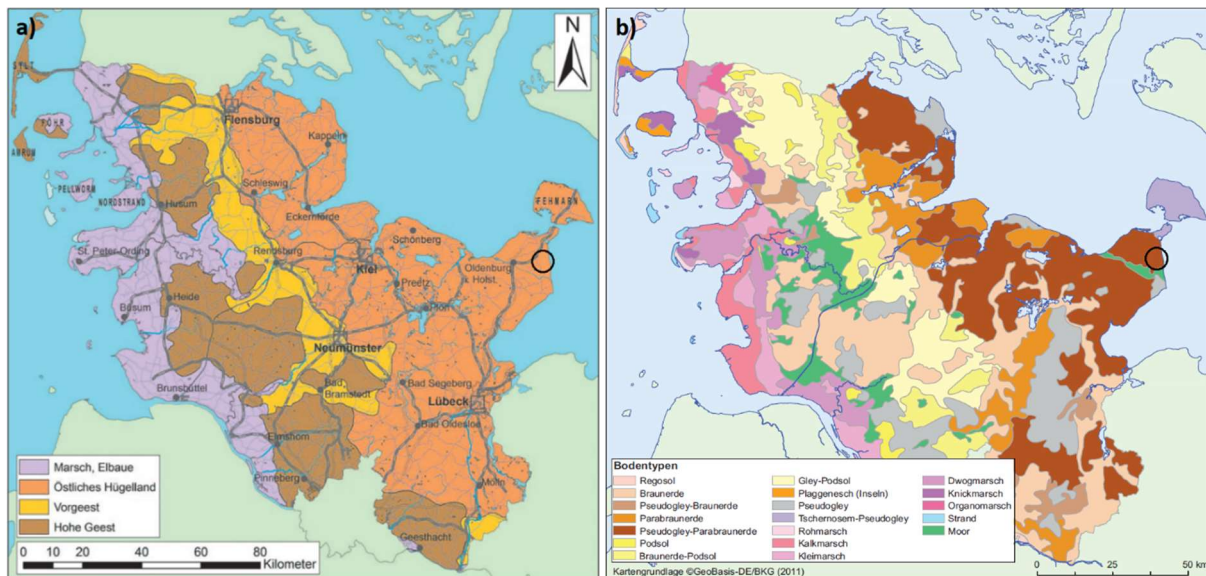
Ackernutzung meist ein tieferer Grundwasserstand benötigt wird als für die Bewirtschaftung von Grünland. Durch die mit der Entwässerung einhergehende Belüftung der hydromorphen Bodenhorizonte wird die Mineralisation, also der Abbau der organischen Substanz erheblich beschleunigt (DREXLER ET AL., 2020). Generell sind jedoch der  $C_{org}$ -Verlust und die Höhe der  $CO_2$ -Emissionen sehr variabel und standortabhängig und damit nur schwer zu erfassen (TIEMEYER ET AL., 2016).

Insgesamt sind die Form der Landnutzung sowie die Tiefe der Entwässerung von Mooren entscheidend für die Humus- und damit Emissionsbilanz landwirtschaftlich genutzter Böden. Mit einer humusaufbauenden Bewirtschaftung könnten Böden generell als Kohlenstoffsенke dienen. Die Erhaltung des bestehenden  $C_{org}$ -Vorrats in den Böden und Torfkörpern kann weitere hohe Emissionen verhindern.

### 3 Hintergründe zum hier herangezogenen Betrieb

Im Zuge dieser Arbeit wurde mit einem konventionell wirtschaftenden Ackerbau-Betrieb an der südlichen Ostseeküste Schleswig-Holsteins zusammengearbeitet. Der Betrieb umfasst eine Gesamtbetriebsfläche von mehr als tausend Hektar (ha), wovon knapp 900 ha landwirtschaftliche Nutzfläche sind. Damit zählt der Betrieb zu den größten 1,5 % aller Landwirtschaftsbetriebe in Deutschland (in 2021) (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2021). Der Großteil der Landfläche ist dabei arrondiert um den Betrieb gelegen. Nach seiner historischen Entwicklung konnte sich der Betrieb in den letzten 25 Jahren nochmal zur heutigen Größe hin verdoppeln.

Im Erntejahr 2020/21 wurden etwa 43 % Winterweizen, knapp 13 % Wintergerste, 7,5 % Sommerhafer, 5 % Sommerweizen und 23,5 % Raps angebaut. Die Erträge waren in den letzten Jahren beim Getreide durchweg überdurchschnittlich hoch, beim Raps lagen diese auf mittlerem Ertragsniveau. Brachliegende Flächen und Schonstreifen bilden den restlichen Teil der Ackerfläche. Hinzu kommen knapp 30 ha Grünland, wovon ein Teil als Moorwiesen unter Vertragsnaturschutz steht und ein Teil zur Haltung von aktuell 12 Mutterkühen plus Nachzucht genutzt wird. Zusätzlich zur landwirtschaftlich genutzten Fläche gehören gut 110 ha Wald, welcher forstwirtschaftlich genutzt wird, zum Betrieb. Dazu kommen mehrere Wirtschaftsgebäude, darunter Lagerungen für Dünger, Pflanzenschutzmittel und Getreide sowie eine Trocknungsanlage, Maschinenhalle und –park und mehrere Wohngebäude.



**Abb. 4:** (a) Bodenkundliche Hauptnaturräume Schleswig-Holsteins und (b) vereinfachte Karte zur Verteilung der vorwiegenden Bodentypen (LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN [LLUR], 2019); der schwarze Kreis kennzeichnet die ungefähre Lage des Partnerbetriebes.

Der gesamte Betrieb befindet sich im Naturraum des Östlichen Hügellands (Abb. 4a), welcher zur Jungmoränenlandschaft Norddeutschlands gehört. Parabraunerden, Fahlerden und Pseudogley-Parabraunerden sind die dominierenden Böden der Region (Abb. 4b; LLUR, 2019). Grundlage dafür bilden die Geschiebemergel aus weichselkaltzeitlichen Ablagerungen. Niedermoore können kleinräumig in Senken vorkommen, wo die Böden stark grundwasserbeeinflusst sind. Allgemein ist das Östliche Hügelland aufgrund seiner glazialen Prägung und geringen post-glazialen Relieflieferung geprägt durch einen kleinräumigen Wechsel von Kuppen und Senken und sowohl konkav als auch konvex geformten Hängen. Diese Kleinräumigkeit spiegelt sich in weiten Teilen auch im Wechsel der Bodentypen wieder. Gleichzeitig kommen im Gebiet der Wagrigen Halbinsel auch schwach reliefierte und ausgedehnte Grundmoränen-Strukturen vor. Im weltweiten Vergleich sind die Böden der Region sehr jung (LLUR, 2019).

Geschiebemergel und Geschiebelehme, welche das Ausgangsmaterial der Böden bilden, zeichnen sich durch eine ausgeglichene Körnungsstruktur aus. Die vorwiegende Bodenart auf den Betriebsflächen bilden Sandlehme (Bodenanalysen). Untersuchungen der Bodenzustandserhebung (POEPLAU ET AL., 2020) an einem nahegelegenen Standort zeigen das Bodenprofil einer Parabraunerde mit einem Sandgehalt im Oberboden von knapp 50 %. Allgemein führt das kuppige Relief und die flächenhafte Dominanz von Geschiebelehmen mit geringmächtigen sandigen bis lehmigen Decken zur flächig wechselnden Ausbildung von Pseudogleyen, Parabraunerden und Niedermooren sowie deren fließenden Übergangsformen (LLUR, 2019). In Senken- und Unterhanglagen, vor allem unter küstennäheren Äckern, können zudem Kolluvisole infolge von Wassererosion entstehen. Im

niederschlagsarmen nordöstlichsten Teil der Wagrigen Halbinsel kommen außerdem Pseudogley-Tschernosem vor. Diese schwarzerde-artigen Böden gehören zu den fruchtbarsten und ertragsreichsten Böden Schleswig-Holsteins. Besonders vorteilhaft ist das hohe Wasserhaltevermögen der Böden, vor allem während der trockenen Sommer. Hohe Tonanteile der stark lehmigen Sande verringern allerdings die Durchwurzelbarkeit. Die in der Region und auf dem hier betrachteten Betriebs flächenmäßig dominierenden Pseudogley-Parabraunerden weisen im Oberboden weniger tonreiche lehmige Sande auf. Die Nährstoff- und Wasserversorgung dieser Böden ist eher hoch einzustufen und erlaubt generell mittlere bis hohe Ertragspotenziale. Übergänge zu Pseudogleyen und Parabraunerden sind häufig und kommen auf kleinstem Raum vor (LLUR, 2019).

Wie die meisten grundwasserfernen Mineralböden unter ackerwirtschaftlicher Nutzung in Deutschland (BMEL, 2018), sind die Böden der Betriebsflächen mittel-humos (2-<3 % Humusgehalt). Der Bodenvorrat an organischem Kohlenstoff liegt bei bis zu 100 t C<sub>org</sub>/ha (0-100 cm) (POEPLAU ET AL., 2020).

Die Jahresniederschläge auf der Wagrigen Halbinsel sind mit einem langjährigen Mittel von 600 bis 700 mm nach Fehmarn die niedrigsten in Schleswig-Holstein. Die Region weist aber auch die meisten Sonnenscheinstunden auf (LLUR, 2019).

Allgemein schaffen die naturräumlichen Gegebenheiten in der Region gute Voraussetzungen für den Acker- und vor allem Getreideanbau mit hohen Ertragspotentialen. Diese konnten in der Vergangenheit auch vom Partnerbetrieb dieser Arbeit erzielt werden.

## 4 Treibhausgasbilanzierungstools in der Landwirtschaft

Aufgrund der allgemein anerkannten Dringlichkeit, den aktuell fortschreitenden Klimawandel sowie seine Folgen abzuschwächen und die nationalen und internationalen Klimaschutzziele zu erreichen, müssen jegliche Treibhausgasemissionen minimiert werden. Das beinhaltet auch die Emissionen aus der Landwirtschaft. Zur Entwicklung geeigneter sowie wirtschaftlich tragbarer Lösungen für Emissionsreduzierungen jedes einzelnen Agrarbetriebes, müssen zunächst deren Emissionen bekannt sein. Das Wissen über die Treibhausgasquellen und deren Größen kann als Basis für angepasste konsekutive Veränderungen in der Bewirtschaftung und der Umsetzung von Mitigationsmaßnahmen dienen.

Klimarechner sind als Treibhausgasbilanzierungstool nach der Definition von DENEFF ET AL. (2012) „automatisierte Web-, Excel-, oder andere Software-basierte Berechnungswerkzeuge zur Quantifizierung von Treibhausgasemissionen oder von Emissionsreduzierungen in der Land- und Forstwirtschaft“ (COLOMB ET AL., 2012). Dabei sind Klimarechner allgemein von begrenztem Umfang und arbeiten entweder auf Betriebs- oder Regionsebene. Nach COLOMB ET AL. (2012; 2013) können



Klimarechner basierend auf ihrem Anwendungszweck und Anspruch an den Nutzer klassifiziert werden:

- I. Bewusstseinsbildung
- II. Berichterstattung
- III. Projektauswertung
- IV. Produktbewertung

Das Ziel der einfachsten Rechner ist also die „Bewusstseinsbildung“ über Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft und deren Hauptursachen. Die „Berichterstattung“ ist das Hauptziel der zweiten Klasse. Die aktuelle Situation bezüglich stattfindender Treibhausgasemissionen wird hier z. B. auf Betriebsebene beschrieben und detailliert analysiert. Zudem sollen alle Bewirtschaftungsaktivitäten eines Betriebes oder einer Region in die Berechnung einbezogen werden. Bei Verwendung einer gemeinsamen Rechengrundlage sind auch Vergleiche etwa zwischen Betrieben und/oder Regionen möglich. Klimarechner der dritten Klasse werden für „Projektauswertungen“ verwendet. Hierbei können verschiedene Szenarien verglichen werden, um z. B. Effekte von Mitigationsmaßnahmen zu bewerten. Der Hauptzweck der vierten Klasse ist die „Produktbewertung“. Die Treibhausgasemissionen werden hier pro produziertem Produkt (oder Produktionslevel) berechnet, um Bilanzierungslücken zu vermeiden und den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Produkte vergleichbar zu machen. Die Studien von DENEFF ET AL. (2012), COLOMB ET AL. (2012; 2013) und KÄTSCH & OSTERBURG (2016) geben eine detaillierte Übersicht zu vorhandenen Klimarechnern für die Anwendung in der Landwirtschaft. Demnach wurden die meisten vorgestellten Rechner für einzelne Länder wie z. B. Australien, den USA, Großbritannien, oder Frankreich entwickelt. Generell basieren alle auf den Richtlinien und der Methodenklassifikation des IPCC. Danach werden die meisten Treibhausgasemissionen berechnet, indem der Emissionsfaktor, spezifiziert für ein gegebenes Treibhausgas und seiner Quellkategorie, mit den Aktivitätsdaten dieser Emissionsquelle multipliziert wird (COLOMB ET AL., 2013). Die Emissionsfaktoren variieren je nach verwendeter Methode. In der ersten Stufe (IPCC Tier 1, vgl. IPCC, 2019b) sind die Emissionsfaktoren bezogen auf internationale Ökoregionen und damit vor allem für großräumige Ansätze geeignet bzw. weniger genau. In der zweiten Stufe (IPCC Tier 2) werden präzisere Emissionsfaktoren für einzelne Staaten oder Regionen verwendet. In der dritten Stufe (IPCC Tier 3) werden den Berechnungen zudem prozess-basierte biophysikalische Modelle zugrunde gelegt, was bisher jedoch nur limitiert möglich ist. Die meisten regionalen Klimarechner kombinieren die methodischen Ansätze der Stufen 1 und 2, wenige verwenden auch die der Stufe 3. Allen Rechnern gemein ist die Eingabe der betriebs- oder regionsspezifischen Daten zur Bewirtschaftung, also den Emissionsquellen, wobei die abgefragten Daten variieren können (COLOMB ET AL., 2013).

Da die Ziele, die Komplexität und damit auch das benötigte Benutzerwissen sowie die geographische Anwendbarkeit und Verfügbarkeit abhängig sind vom einzelnen Klimarechner, ist die Auswahl für interessierte Nutzer oft sehr limitiert. Peer-review Artikel zu Klimarechnern für die Anwendung in der deutschen Landwirtschaft konnten hier nicht ausfindig gemacht werden und auch die zu findenden Informationen im Internet sind eher spärlich. Die momentan bekanntesten, aktuellsten und wissenschaftlich fundierten Tools sind die Rechner „IDB.THG Klima-Check Tool“ der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und „TEKLa“ von der LWK Niedersachsen.

Der Klimarechner der LfL ist als Web-basiertes Tool frei verfügbar. Es wurde zunächst für ökonomische Analysen entwickelt und zuletzt durch die Erfassung der Treibhausgasemissionen erweitert. Berechnet werden die Emissionen einzelner Produktionszweige, wie z. B. für den Anbau von Weizen, Mais, Raps oder Hopfen oder der Milchkuhhaltung. Eine gesamtbetriebliche Bilanz kann der Klimarechner nicht geben. Vorrangiges Ziel der Entwickler ist zum einen die Bereitstellung eines einfach anzuwendenden Tools, mit dem der Landwirt selbst seine CO<sub>2</sub>-Bilanz berechnen kann sowie zum anderen auch die Teilung der Kenntnisse über die Berechnungsmethoden und über die auftretenden Emissionen in den verschiedenen Produktionsbereichen. Die Kalkulationen der LfL basieren dabei auf den aktuellsten Methoden des NIRs und decken sowohl direkte als auch indirekte CO<sub>2</sub>-, N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Ackerbau und der Viehhaltung ab. Zudem werden die Emissionen aus der Energieversorgung und der Betriebsmittelbereitstellung berücksichtigt. Nicht betrachtet werden unter anderem Emissionen durch den Humusabbau oder -aufbau (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT [LfL], 2021).

Im Gegensatz zum LfL-Tool, ist der Treibhausgas-Emissions-Kalkulator-Landwirtschaft, kurz „TEKLa“, nicht für die Eigenanwendung verfügbar. Die Treibhausgasbilanzierung kann hier als kostenpflichtige Dienstleistung bei der LWK Niedersachsen selbst oder bei lizenzierten Beratern beauftragt werden. TEKLa wurde 2017 entwickelt und wird seitdem für die Beratung von Landwirten, zunächst vor allem in Niedersachsen, verwendet. Heute bieten auch Landwirtschaftskammern und Beratungsunternehmen in anderen Bundesländern (z. B. Hessen und Rheinland-Pfalz) die Klimabilanzierung mit TEKLa an.

Allgemein ist TEKLa so konzipiert, dass mit möglichst wenigen Eingangsdaten ein solides Ergebnis berechnet werden kann. Der „Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft“ (ARBEITSGRUPPE BEK, 2021) ist dabei Grundlage der Bilanzierung. Der BEK umfasst eine Sammlung wissenschaftlich erfasster Parameter und Emissionsfaktoren sowie einen Vorschlag für das methodische Vorgehen bei der Berechnung. Dieser Standard wurde 2016 in Zusammenarbeit verschiedener Forschungsinstitute, darunter auch der LWK Niedersachsen, unter Leitung des KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) erarbeitet und 2021 novelliert. Zeitgleich wurde auch TEKLa dem neuen Standard angepasst und verbessert.

Ähnlich wie beim IDB.THG Klima-Check Tool findet auch bei TEKLa die Erfassung der Treibhausgasemissionen je Produkt statt. Das Excel-basierte Tool ist zudem unterteilt in Arbeitspakete orientiert an den Hauptproduktionszweigen: Pflanzenbau, Tierhaltung und Biogasanlagen. Die Emissionen werden dabei pro Produkteinheit als sogenannter CO<sub>2</sub>-Fußabdruck dargestellt, um einen Vergleich mit anderen Betrieben oder Durchschnittswerten zu ermöglichen. Abbildung 5 zeigt die generelle Systematik der Treibhausgasbilanzierung nach dem BEK. Die erzeugten Emissionen eines Produktes setzen sich demnach zusammen aus dem sogenannten „THG-Rucksack“ – den anzurechnenden Emissionen aus der Betriebsmittelherstellung, sowie den Emissionen, die direkt bei der Produktion z. B. auf dem Feld oder im Stall entstehen.



**Abb. 5:** Systematik der Treibhausgasbilanzierung nach dem BEK; THG – Treibhausgase (aus ARBEITSGRUPPE BEK, 2021).

## 5 Methodik

Diese Arbeit ist im Umfeld der Forschungsbegleitung zu „klimagerechtes Handeln in der Landwirtschaft“ entstanden (vgl. [www.unter-2-grad.de](http://www.unter-2-grad.de)), beruht selbst aber auch auf den Zielen der Begleitforschung. Angelehnt an DEFILA & DI GIULIO (2016) kann die Arbeit als komplementärer Teil der Begleitforschung betrachtet werden, ist also ein eigenständiges Projekt innerhalb eines thematischen Forschungsprogramms, um dessen inhaltliche Abdeckung zu vervollständigen. Die Bundeszentrale für politische Bildung definiert die Begleitforschung als „wissenschaftliche Arbeit mit dem Ziel, Daten und Informationen zu gewinnen, die es erlauben, die Wirksamkeit und den Nutzen wirtschaftlicher, technischer oder politischer Maßnahmen und Programme abzuschätzen, um diese ggf. zu ändern oder

zu beenden“ (SCHUBERT & KLEIN, 2020). Diesem Ansatz folgt diese Arbeit. Untersuchungsgegenstand stellt dabei das Treibhausgasbilanzierungstool „TEKLa“ dar, welches auf seine Praxistauglichkeit, Vollständigkeit und seine Wirksamkeit als Tool im Rahmen „klimagerechtes Handeln in der Landwirtschaft“ analysiert wurde.

Insgesamt verfolgt die Arbeit vor allem Ansätze aus der qualitativen Forschung (vgl. LETTAU & BREUER, 2007), sodass der Forschungsprozess im Voraus nicht genau planbar war und sich im Laufe der Beschäftigung mit dem Thema methodisch angepasst und weiterentwickelt hat. Hierbei blieb der Forschungsgegenstand derselbe, der Fokus unterlag jedoch Veränderungen. Durch die Begleitung der Anwendung von TEKLa im Partnerbetrieb konnten Einblicke in die Perspektiven der Untersuchungspartner, des Landwirts und des Unternehmensberaters gewonnen werden. Die Arbeit ist stark am Einzelfall orientiert, erlaubt dadurch jedoch einen detaillierten Einblick in die Praxis und bestmöglich auch allgemeine Folgerungen, vor allem für Betriebe mit ähnlichen Voraussetzungen. Zudem muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass die qualitative Forschung generell von der Subjektivität der Forschenden geprägt ist. Persönliche Sichtweisen und die Interaktion mit den Untersuchungspartnern im Forschungsprozess beeinflussen den Prozess selbst und die gewonnenen Erkenntnisse. Diese Tatsache ist zentraler Bestandteil dieser Arbeit, welche aus der Idee entstand einen Klimarechner, entwickelt von und für die Landwirtschaft, aus umweltwissenschaftlicher Perspektive zu analysieren und zu hinterfragen. Das Vorhandensein gewisser (Vor-)Urteile ist dadurch nicht auszuschließen, aber auch durch den fachlichen Hintergrund begründet und damit Ansatzpunkt für die kritische Analyse des Forschungsgegenstandes.

Zur Erhebung von Informationen wurden im Verlauf des Forschungsprozesses mehrere jeweils vorstrukturierte<sup>i</sup> Interviews mit dem Landwirt und dem Berater geführt. Zudem wurde seitens der Verfasserin dieser Arbeit der Umsetzungsprozess von TEKLa in der Praxis interaktiv begleitet, wobei mehrere Gruppendiskussionen (Landwirt, Berater, Wissenschaftler:innen) zur Planung, Durchführung und den Ergebnissen stattfanden. Zudem wurde immer wieder der Entwickler des Klimarechners kontaktiert und ggf. einbezogen. Neben der begleitenden und qualitativen Forschung wurde parallel eine Literaturrecherche zur Thematik „Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft“ und eine inhaltliche Analyse des Klimarechners durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse flossen sukzessive in den Forschungsprozess ein und lenkten diesen mit.

In der Arbeit finden ein naturwissenschaftlicher Forschungshintergrund, sozialwissenschaftlich geprägte Forschungsmethoden und ein interdisziplinärer, praxisnaher Forschungsgegenstand zueinander.

## 6 Ergebnisse

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der interaktiven Begleitung des Arbeitsprozesses von Landwirt und Berater sowie aus der Auseinandersetzung mit dem Untersuchungsgegenstand TEKLa werden im Folgenden dargelegt. Dabei stehen die drei Blöcke „Praxistauglichkeit“, „der Klimarechner selbst“ sowie das „Bilanzierungsergebnis“ im Fokus.

### 6.1 Praxistauglichkeit von Klimarechnern

#### **Äußere Zwänge führen zum Handeln durch den Landwirt**

Die gesellschaftliche und politische Entwicklung der letzten Jahre und Jahrzehnte, sowie die Rolle der Landwirtschaft in den Klima- und Umweltdiskussionen führen dazu, dass die Landwirtschaft bzw. der Landwirt mit diesen äußeren Zwängen umgehen muss. Auch zeigt sich in der landwirtschaftlichen Praxis eine zunehmende Dringlichkeit auf die sich verändernden Umweltbedingungen und die globale Erwärmung zu reagieren, gegenzusteuern und sich anzupassen, um auch in Zukunft gewinnbringend und nachhaltig wirtschaften zu können. Den Erfahrungen des Beraters zufolge, sind viele Landwirte zudem aufgrund von Zwängen für den Abschluss von Pachtverträgen mit öffentlichen Eigentümern an einer Klimabilanzierung interessiert, teils gar dazu `gezwungen`. Hauptbeweggrund des Partnerbetriebs hier ist hingegen der Klimaaspekt selbst und das Interesse daran, eine effiziente und nachhaltige Landwirtschaft auszuüben.

#### **Dem Landwirt stehen Klimarechner zur Orientierung zur Verfügung**

Klimarechner können dem Landwirt als `Werkzeug` dienen, um sich den Herausforderungen des Klimawandels zu stellen. Sie können Orientierung geben, an welchen Stellen Treibhausgasemissionen entstehen und wo diese gemindert werden können. Im Fallbeispiel war der Landwirt bereits auf der Suche nach einer Nachfolgelösung für die DLG-Nachhaltigkeitszertifizierung, als er auf einer Veranstaltung vom Klimarechner TEKLa erfuhr. Daraufhin fand eine erste Kontaktaufnahme zu dem Entwickler des Tools bei der LWK Niedersachsen statt. Dieser verwies auf eine Beratungsorganisation mit Sitz in Schleswig-Holstein, die auch die Klimabilanzierung mit TEKLa anbietet. Es folgte ein erstes Sondierungsgespräch mit einem Berater des Unternehmens und eine kurze Betriebsbesichtigung. Nach diesem Startschuss pausierte das Projekt zunächst nahezu, da die Auswertung mit einer angekündigten neuen Version von TEKLa stattfinden sollte, dessen Veröffentlichung sich letztlich um zwei Monate hinauszögerte. An dieser Stelle hätte eine Auswertung, um den Prozess zu beschleunigen, auch mit der alten TEKLa-Version stattfinden können. Trotz aller aufkommenden Ungeduld waren sich jedoch alle Beteiligten einig, dass sowohl für diese Begleitarbeit als auch für den

Landwirtschaftsbetrieb selbst die neueste Version angewandt werden sollte. Bei dieser Entscheidung gilt es die psychologischen Momente nicht zu unterschätzen. Die Aussage, die neueste Version verwandt zu haben, ist für eine Außendarstellung enorm wichtig.

### **Klimarechner TEKLa verwendet verfügbare Betriebsdaten**

Für die Bilanzierung mit dem Klimarechner TEKLa werden zahlreiche verschiedene Betriebsdaten benötigt (vgl. Tab. 1). Diese müssen dafür vom Landwirt zur Verfügung gestellt werden. Der überwiegende Teil der benötigten Daten ist gewöhnlich in Form einer Schlagkartei des Betriebes verfügbar. Dazu zählen unter anderem die Ertragsmengen, die eingesetzten Düngemengen und die Fruchtfolgengestaltung selbst. Daneben fließen weitere betriebs- oder fruchtartspezifische Werte in die Kalkulationen ein, die auf der Düngerverordnung (DüV) oder den Regeln des Verbandes deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) basieren, aber an die Gegebenheiten vor Ort angepasst verwendet werden.

Die Zusammenstellung und Aufbereitung der Daten aus den Betriebsdokumenten gehörte zur Leistung des Beraters. Aufgrund der Größe des Betriebes und der damit verbundenen großen Datenmenge hat dies in diesem Fall ungewöhnlich viel Arbeitszeit beansprucht. Lägen die notwendigen Daten bei einem Betrieb durchschnittlicher Größe idealerweise sortiert je angebauter Kultur vor, gehe dieser Arbeitsschritt laut Berater deutlich schneller. Zudem ergaben sich im Laufe der Bearbeitung auch immer wieder Fragen zu Ungenauigkeiten oder fehlenden Informationen in den Betriebsdaten, sodass weitere Auskünfte vom Landwirt notwendig waren.

Die meisten Fragen für die TEKLa-Anwendung konnten mithilfe der verfügbaren Betriebsdaten ausreichend genau beantwortet werden (vgl. Tab. 1, Spalte 3). Für den Großteil ist eine schlagspezifische Dokumentation gemäß der Düngerverordnung und des Pflanzenschutzgesetzes generell verpflichtend. Dies betrifft die Informationen zu den ausgebrachten Mengen an Mineral- und Wirtschaftsdüngerstickstoff sowie deren stoffliche Zusammensetzung. Bei der Datenaufbereitung zeigte sich, dass vor allem die Dokumentation des Ammonium-Anteils im Wirtschaftsdünger nicht genügend genau und damit wenig zufriedenstellend war.

Weiterhin lagen, gemäß der Vorschriften, genaue Dokumentationen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln vor.

Der Verbrauch von Diesel, Heizöl und Strom wurde hingegen nur jährlich für den gesamten Betrieb erfasst, wodurch eine genaue Angabe pro Kultur nicht möglich war und nur ein Durchschnittswert für den Betrieb in die Berechnungen einfließen konnte. Laut Berater werden für eine genauere Zuordnung der Dieselmengen auf die Kulturen in anderen Fällen teils je Schlag dokumentierte Treckerstunden herangezogen, die aber für diesen Betrieb nicht vorlagen. Hier zeigte die Auswertung, dass einzelne zusätzliche Erhebungen für eine genauere Bilanzierung notwendig wären/sind.

**Tab. 1:**

**TEKLa-Fragenkatalog zu den erforderlichen Betriebsdaten für die Klimabilanzierung je Kultur**

Abgefragte Betriebsdaten je Kultur und Erntejahr		
Wie viel Hektar werden angebaut?	ha Anbaufläche	↑
Wie hoch ist der Ertrag (Frischmasse (FM) nach Abzug der Ernte- und Trocknungsverluste)?	kg FM/ha	↑*** ↓*
Wie hoch ist der Trockenmasse (TM) -Gehalt?	% TM	↑*** ↓*
Wie viel Mineraldüngerstickstoff wird ausgebracht?	kg Mineral-N/ha	↑
Zu welchem Anteil ist es Ammoniumnitrat (z. B. KAS)?	% des Mineral-N	↑
Zu welchem Anteil stammt er aus klimaschonenden Fabriken?	% des Ammoniumnitrat-N	↓
Wie viel Wirtschaftsdüngerstickstoff (WD-N) wird ausgebracht?	kg WD-N/ha	↑
Zu welchem Anteil ist es Ammoniumstickstoff?	% des WD-N	→
Zu welchem Anteil wird der Wirtschaftsdünger sofort eingearbeitet? (eingeschlitzt? *)	% des WD-N	↑
Wie viel Stickstoff wird aus der Vorfrucht nachgeliefert? **	kg N/ha	~
Wie viel Stickstoff wird bei der Beweidung ausgeschieden? *	kg N/ha	~
Wie viel Stickstoff wird aus in Vorjahren ausgebrachten org. Dünger nachgeliefert?	kg N/ha	→
Wie viel Diesel/Heizöl wird verbraucht einschl. Ernten und Trocknen?	l/ha	→
Zu welchem Anteil ist es reiner Biodiesel?	%	↑
Wie viel Strom wird verbraucht?	kWh/ha	→
Zu welchem Anteil ist es reiner Ökostrom?	%	↑
Wie viel Pflanzenschutzmittel werden verbraucht?	l bzw. kg/ha	↑
Wie ist das Frischmasseverhältnis von Korn zu Stroh? **	1 zu ...	↑
Zu welchem Anteil der Anbaufläche erfolgt eine Untersaat? **	% der Anbaufläche	↑
Zu welchem Anteil handelt es sich bei der Anbaufläche um ehemaliges Dauergrünland? **	% der Anbaufläche	↑ / ~
Zu welchem Anteil handelt es sich bei den Grünlandflächen um ehemaliges Ackerland? *	% der Anbaufläche	↑ / ~
Im Boden verfügbare Stickstoffmenge (N <sub>min</sub> )	kg N/ha	↑

\* nur für die Graserzeugung (Grünland); \*\* nicht bei Graserzeugung. Spalte 3 zeigt eine Übersicht zur Datenverfügbarkeit am Beispiel des vorgestellten Partnerbetriebes: Grüne Pfeile – gute Datendokumentation/-verfügbarkeit; Gelbe Pfeile – Daten liegen vor, sind aber z. B. nicht genügend genau; Rote Pfeile – keine Betriebsdaten verfügbar; Blaue Welle – Frage wurde nicht berücksichtigt.



Neben den teils nicht ganz zufriedenstellenden Betriebsdaten verhinderten auch Ungenauigkeiten in den Fragenstellungen von TEKLa teilweise eine genaue Beantwortung dieser. Beispielsweise seien die Formulierungen „Klimaschonende Fabrik“ und „sofort eingearbeitet“ genannt, die nicht genauer definiert werden. Gleiches gilt für den zu betrachtenden Zeitraum bei der Grünland- oder Ackerlandumwandlung (vgl. Tab. 1).

Unter den in TEKLa an den Betrieb anzupassenden Parametern ist z. B. der  $N_{\min}$ -Wert des Bodens gelistet. Eine Frühjahr  $N_{\min}$ -Untersuchung ist seit 2021 auf allen bewirtschafteten Flächen in sogenannten „Roten Gebieten“ Pflicht (§13 DüV). Auf Flächen außerhalb dieser Gebiete dürfen, wenn vorhanden, auch  $N_{\min}$ -Richtwerte der Landwirtschaftskammer bei der Düngebedarfsermittlung verwendet werden. Dem Partnerbetrieb lagen jährliche  $N_{\min}$ -Werte für alle Ackerflächen vor.

Obwohl TEKLa darauf ausgerichtet ist mit Betriebsdaten zu arbeiten, die generell verfügbar sein sollten, zeigen sich in der Umsetzung immer wieder Schwierigkeiten, weil einige Daten nicht oder nicht genügend genau dokumentiert waren oder sich in TEKLa selbst Ungenauigkeiten durch mangelnde Erklärungen aufgetan haben.

### **Klimarechner müssen auf den Betrieb zugeschnitten werden**

Da in der Landwirtschaft jeder Betrieb unterschiedlich ist, ist die Anwendung eines Klimarechners „1 zu 1 von der Stange“ für alle Betriebe nicht möglich. Der Klimarechner muss sich an die Spezifika des Betriebes anpassen und so z. B. einen Ackerbaubetrieb, einen Milchviehbetrieb oder Mischbetriebe darstellen können. Um diese allgemeine Bedingung zu erfüllen, gibt es verschiedene Arbeitspakete von TEKLa für: „Pflanzenbau“, „Tierhaltung“ und „Biogasanlagen“. Im Pflanzenbau gibt es angepasste Fragenkataloge für die gängigen Kulturen. Das gilt auch für die Graserzeugung auf Grünland. Zur Abbildung des gesamten Betriebes müssen die verschiedenen Bilanzierungsergebnisse der Produktionszweige letztlich zusammengeführt werden.

Da nicht jeder Landwirtin/jedem Landwirt zuzumuten ist, sich die detaillierten Berechnungshintergründe der Klimarechner zu vergegenwärtigen, wird es als Dienstleistung angeboten, die Klimarechner auf die jeweiligen Betriebe mit ihren Spezifika zuzuschneiden.

### **Klimarechner lässt gewisse Handlungsstränge ableiten**

Die Anwendung des Klimarechners bzw. das Bilanzierungsergebnis erlaubte eine Ableitung von gewissen Handlungssträngen. Bei Betrachtung mehrerer Jahre und damit einhergehenden Veränderungen in der Fruchtfolge ließen sich die Einflüsse und Wirkungen auf die Emissionen erfassen. So zeigten sich im Partnerbetrieb Klimaeffekte durch eine Ausweitung des Haferanbaus sowie von Zwischenfrüchten. Diese Effekte auf die Gesamtbilanz des Betriebes zeigten sich vor allem durch die Langzeitbilanzierung.

### **Landwirt kann Klimaleistung nach- und vorweisen**

Die Klimabilanzierung mit TEKLa bietet dem Landwirt einen offiziellen Nachweis über die Klimaleistungen des Betriebes. So kann der Landwirt gegenüber Verpächtern, Käufern oder auch der Gesellschaft vorweisen, inwieweit eine nachhaltige Bewirtschaftung stattfindet, wie hoch die Treibhausgasemissionen sind und wo Maßnahmen getroffen werden, um diese zu reduzieren. So können über mehrjährige Bilanzierungen die Effekte von Klimaschutzmaßnahmen abgebildet und nachgewiesen werden.

### **Die Rolle der Beratung**

Die Durchführung der Klimabilanzierung und die Anwendung von TEKLa selbst sind abhängig vom Berater bzw. dem Beratungsunternehmen. Berater wie Landwirte haben sich gleichermaßen der `neuen` Aufgabe zu stellen, über einen Klimarechner die Klimafreundlichkeit eines landwirtschaftlichen Betriebes aufzuzeigen und somit einen wichtigen Baustein des nachhaltigen Wirtschaftens nachzuweisen. Bei der Aufbereitung der Betriebsdaten zeigte sich, dass ggf. auch der Berater zum Teil nur über nicht genügende Kenntnisse zu einigen Parametern verfügt. Auch durch die noch neue Version von TEKLa kamen einige Fragen auf. Grund dieser Wissenslücken war zum Teil die bisher ausgebliebene, aber bereits angekündigte Fortbildung zum neuen Tool von Seiten der LWK Niedersachsen. Gleichzeitig zeigte sich, dass auch einem engagierten Berater im `normalen Tagesgeschäft` nur geringe Kapazitäten für eine detaillierte Auseinandersetzung mit einem solchen Tool zur Verfügung stehen und dieser bloßer Anwender des Klimarechners ist. Im Zuge dieses Projektes hat sich so auch der Berater viel tiefergehend als sonst mit dem Tool beschäftigt. Dabei stand er für Rückfragen auch immer wieder in Kontakt mit dem Entwickler von der LWK Niedersachsen. Zudem waren in der Vergangenheit die meisten Betriebe, laut Berater, lediglich an einer Klimabilanz als Bescheinigung für den Markt oder Verpächter interessiert, wodurch die Nachfrage nach Erklärungen zum Berechnungsansatz und den Ergebnissen bisher nahezu ausblieb. Entsprechend kann hier ein Qualitätswandel in der Beratung erkannt werden, da der Nachweis von klimafreundlichem Wirtschaften in Bezug auf die Erfüllung von Nachhaltigkeitskriterien eben auch eine andere Qualität erfordert, vor allem wenn es zu einer Steuerung zukünftigen Handelns verwendet werden soll.

## **6.2 Der Klimarechner**

### **Verfügbarkeit von Klimarechnern**

Die Auseinandersetzung mit der Thematik „Klimabilanzierung in der Landwirtschaft“ hat gezeigt, dass es verschiedene verfügbare Klimarechner auf dem Markt gibt. Dabei ist neben dem in dieser Arbeit geprüften Tool TEKLa auch der bereits weiter oben angeführte Klimarechner des LfL's zu nennen.

Dieser ist für die Eigenanwendung und damit selbsterschließend entwickelt worden. Die Klimabilanzierung mit TEKLa hingegen wird als Dienstleistung der LWK Niedersachsen und weiteren Beratungsorganisation angeboten und kann damit auch als 'offizieller' Nachweis dienen. Das Tool selbst ist nicht öffentlich verfügbar, ist aber angelehnt an die frei verfügbaren Standards vom BEK und hält somit ggf. auch rechtlichen Überprüfungen stand.

Da der Klimarechner TEKLa nur über einen Dienstleister anzuwenden ist, erhält der Landwirt selbst keinen Zugriff auf das Tool, sondern erhält im Abschluss die Ergebnisse der Bilanzierung. Damit ist die Erstellung der Klimabilanz nur mit einem geringen Arbeitsaufwand seitens des Landwirts verbunden. Es bleibt dem Landwirt allerdings vorbehalten, die jeweiligen Berechnungen zu hinterfragen. Diese gilt es dann seitens der Berater transparent zu machen. Dies stellte sich allerdings durchaus als besondere Herausforderung mit zusätzlichem Aufwand heraus.

So wie die Aufbereitung der Betriebsdaten, die Anwendung des Tools und die Interpretation der Daten durch die Beratung erfolgt, wird diese auch gegenüber dem beauftragenden Landwirt transparent gemacht, wenn – wie hier im Partnerbetrieb – ein weiterreichendes Arbeiten mit den Ergebnissen und eine Steuerung der zukünftigen betrieblichen Vorgehensweisen intendiert ist.

### **TEKLa berechnet eine produktbezogene Bilanz**

Mit TEKLa können konkrete Klimabilanzen für einzelne Betriebs- wie Produktionszweige erstellt werden. Die produktbezogenen CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke geben die Netto-Treibhausgasbilanz pro Produkteinheit, also z. B. pro Kilogramm Getreide an. Dieser Fußabdruck bietet die Möglichkeit Stellschrauben ausfindig zu machen, um einzelne Produkte möglichst effizient herstellen zu können. In diesem Zusammenhang wird von TEKLa die Schlussfolgerung aufgestellt, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Produkts mit steigenden Erträgen allgemein kleiner werde. Während die anzurechnenden Emissionen somit z. B. pro Kilogramm Getreide mit besagten steigenden Erträgen, aber gleichbleibenden Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie den Einsatz von Düngern, sinken, sinken die absolut verursachten Emissionen durch die Produkterzeugung wiederum nicht. Im Gegenteil. Es ist möglich, mit angepassten Maßnahmen den von TEKLa definierten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu senken, während die Gesamtemissionen steigen. Würden alle landwirtschaftlichen Betriebe nach diesem Ansatz wirtschaften, würden die Emissionen in der Landwirtschaft insgesamt deutlich ansteigen. Eine Ertragssteigerung würde nach dieser Rechnung nur für eine Abnahme der Emissionen sorgen, wenn gleichzeitig keine Produktionssteigerung verfolgt wird.

Für das Gesamtziel einer Minderung von Treibhausgasemissionen ist also eine Bilanz notwendig, die auf den gesamten Betrieb bezogen ist bzw. die absoluten Emissionen betrachtet. Diese gesamtbetriebliche Bilanz kann aus den Ergebnissen von TEKLa vom Berater erstellt werden und wurde im hier betrachteten Fall nachträglich eingefordert.

### **Der Klimarechner muss aufgrund mangelnder Transparenz hinterfragt werden**

Die mangelnde Transparenz von TEKLa hat zu einer kritischen Hinterfragung der Berechnungen und des Tools selbst geführt. Aufkommende Fragen in Gesprächen mit Landwirt und Berater konnten häufig aufgrund der fehlenden Einsicht in die Berechnungen hinter der Bilanzierung nicht beantwortet werden. Auch dem Berater als Anwender des Tools fehlten viele Informationen und vor allem Einblicke in die Berechnungen, um diese detailliert erklären zu können. Durch diese Intransparenz ist auch die Zuordnung von Treibhausgasemissionen und deren Quellen erschwert, was letztlich dem Landwirt die gewünschten Steuerungsmöglichkeiten zukünftiger Produktionsweisen verwehrt.

### **Der Klimarechner lässt noch ganze Bearbeitungsfelder offen**

Ein Vergleich mit dem zu Grunde liegendem BEK zeigte, dass die meisten vom BEK aufgeführten Emissionsquellen im Pflanzenbau auch in TEKLa integriert sind. Die einzige, potentiell jedoch große Emissionsquelle, die TEKLa gänzlich außer Acht lässt, ist die Bewirtschaftung von Moorböden. Nach Auskunft des Entwicklers wurden diese Emissionen aus der Bilanz ausgeschlossen, da der Wert nicht zuverlässig zu bestimmen sei. Die Parameterdatei des BEK erfasst für die Berechnung von Emissionen in Folge des Abbaus organisch gebundenen Kohlenstoffs und Stickstoffs verschiedene Emissionsfaktoren. Diese sind vor allem abhängig vom Moortyp sowie dem Grundwasserstand auf der bewirtschafteten Fläche. Im Partnerbetrieb ist bekannt, bei welchen Flächen es sich um Moorböden handelt. Entsprechend besteht auch die Erwartung, diese zukünftig in die Berechnungen mit einbeziehen zu können.

### **TEKLa rechnet Gutschriften für Treibhausgasbindungen an**

Weiterhin wurde die Bilanzierung der Nebenernteprodukte kritisch hinterfragt: Bei TEKLa wird die Tatsache, ob Nebenernteprodukte wie Stroh auf dem Feld verbleiben oder abgefahren werden, um zum Beispiel in der Tierhaltung oder als Rohstoff zu dienen, nicht berücksichtigt. Über eine fruchtartspezifische Strohmenge wird eine potentielle CO<sub>2</sub>-Bindung durch Humusaufbau für die Nebenernteprodukte berechnet, die dem Hauptprodukt gutgeschrieben wird, unabhängig davon ob überhaupt ein Eintrag des organischen Materials auf der Fläche stattfindet oder nicht. In einer alten Version des Tools wurde hingegen abgefragt, zu welchem Anteil das Stroh abgefahren wird.

Daneben werden bei TEKLa Gutschriften durch den Anbau von Zwischenfrüchten und durch Brachen berechnet, die dem Hauptprodukt zu Gute kommen. Diese anrechenbaren Gutschriften werden im BEK nicht behandelt. Gründüngungszwischenfrüchte und auch brachliegende Flächen werden bei TEKLa zunächst als separate Kulturen bilanziert. Die Fragenkataloge weichen hierbei jedoch deutlich von denen der Hauptkulturen ab. Das berechnete Potential zur CO<sub>2</sub>-Bindung der Zwischenfrüchte und

der Brachen wird letztlich den Hauptfrüchten (exkl. Grünland) anteilig gutgeschrieben, sodass deren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verringert werden kann.

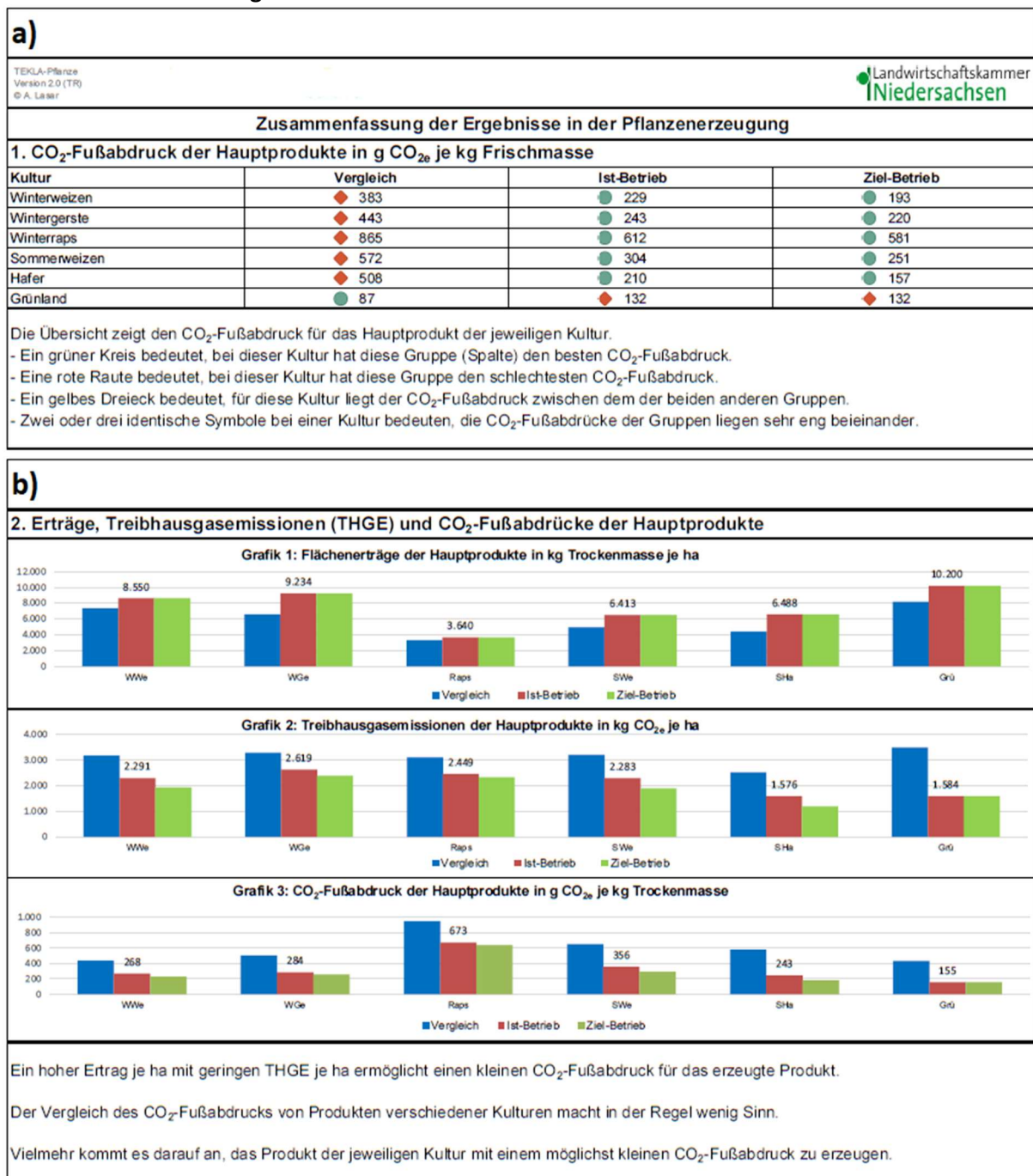
### **Der Klimarechner geht stark mit Annahmen um**

Anstelle von konkreten Betriebs- oder Messdaten vom Feld verwendet TEKLa viele Annahmen in der Bilanzierung. So wurden Betriebsdaten zu verwendeten Phosphat-, Kalium-, Kalk- und Saatgutmengen, die zu großen Teilen sogar bereits dokumentiert vorlagen, nicht in die Berechnungen integriert, sondern durch Annahmen oder über den Ertrag geschätzte Mengen ersetzt. Auch der Bilanzierungsansatz für die Nebenernteprodukte beruht auf der Annahme, dass diese der Humusreproduktion im Boden zur Verfügung stehen.

Dies wird Außenstehenden, auch dem Landwirt, erst gegenwärtig, wenn Einblicke in die Berechnungshintergründe gegeben werden. Entsprechend ist hier als Ergebnis des begleitenden Prozesses festzuhalten, dass der Landwirt, der das Tool anwendet, dezidiert aufgeklärt werden muss, wie die Berechnungsergebnisse zustande gekommen sind.

## 6.3 Die Klimabilanz des Betriebes

### TEKLa stellt konkrete Ergebnisse dar



**Abb. 6:** Auszug aus der Ergebnisübersicht von TEKLa für die Klimabilanzierung des Partnerbetriebes für das Erntejahr 2021. In a) dargestellt werden die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke, also die Treibhausgasemissionen je Kilogramm (kg) Frischmasse des Ernteprodukts, für alle angebauten Hauptkulturen. b) zeigt die Ernteerträge je Hektar (ha), die Treibhausgasemissionen je ha sowie die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke je kg Trockenmasse; für Winterweizen (WWe), Wintergerste (WGe), Winterraps (Raps), Sommerweizen (SWe), Sommerhafer (SHa) und Grünland (Grü). Daten der LWK Niedersachsen stellen hier den „Vergleich“ dar.

Mit dem Klimarechner TEKLa erhält der Landwirt eine konkrete Klimabilanz je angebaute Kultur. Für den Pflanzenbau werden CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke je Kilogramm der angebauten Frucht errechnet (Abb. 6a). In der Darstellung steht der Vergleich zwischen der Bilanz des Ist-Betriebes, also den im betrachteten

Wirtschaftszeitraum angefallenen Emissionen, mit einem Vergleichswert je Kultur im Vordergrund. Die Spalte des Ziel-Betriebs kann genutzt werden, um Emissionseinsparungen, die durch Veränderungen in der Bewirtschaftung potentiell erreicht werden könnten, aufzuzeigen. Abbildung 6b zeigt den Flächenertrag, die Emissionen je Hektar sowie die Emissionen je Kilogramm des Produkts. Letzteres ist definiert als CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Während die Endergebnisse und Eingangsdaten der Bilanzierung in Tabellen und Diagrammen aufgezeigt werden (Abb. 6 und 7), sind die Berechnungen dahinter nicht einsehbar. Neben den einfließenden Betriebsdaten (Abb. 7a) gibt TEKLa eine Darstellung der Emissionen in kategorisierten Emissionsquellen (Abb. 7b) heraus. Lediglich diese erlaubt Rückschlüsse darüber, durch welche Betriebsmittel oder Bewirtschaftungsmaßnahmen wie viele Emissionen entstanden sind. Diese Darstellung ist jedoch sehr „grob“ gehalten und enthält auch keine weiteren Erläuterungen.

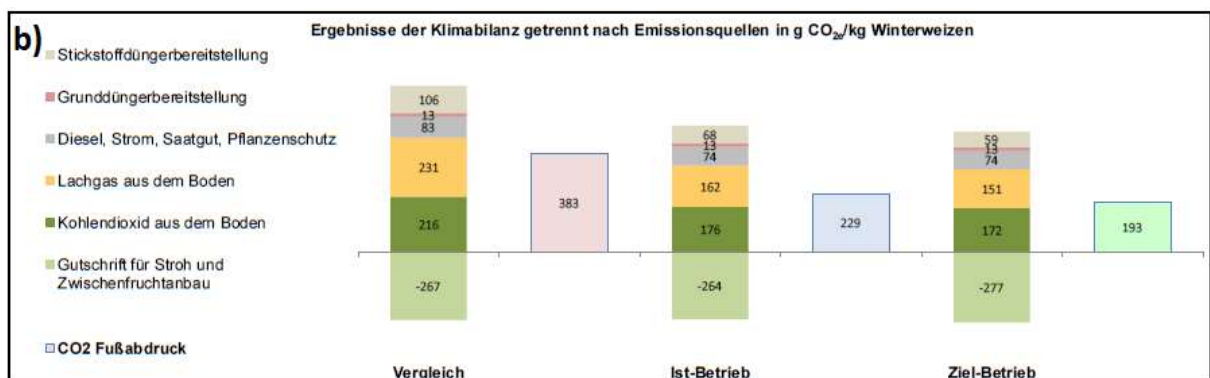
**a)**

TEKLa<sup>®</sup> Pflanze  
Version 2.0 (TR)  
© A. Lasar

Landwirtschaftskammer  
Niedersachsen

**Einzelbetriebliche Klimabilanz in der Winterweizenerzeugung**

Ihre Betriebsdaten im letzten Erntejahr	Ernte 2021	Vergleich	Ist-Betrieb	Ziel-Betrieb
Wie viel Hektar werden angebaut?	ha Anbaufläche	379	379	379
Wie hoch ist der Ertrag (Frischmasse nach Abzug der Ernte- und Trocknungsverluste)?	kg FM/ha	8278	10000	10000
Wie hoch ist der Trockenmassegehalt?	% TM	88	86	86
Wie viel Mineraldüngerstickstoff wird ausgebracht?	kg Mineral-N/ha	118	147	105
Zu welchem Anteil ist es Ammoniumnitrat (z.B. KAS)?	% des Mineral-N	68	43	43
Zu welchem Anteil stammt er aus klimaschonenden Fabriken?	% des Ammo-nitr.-N	60	60	60
Wie viel Wirtschaftsdüngerstickstoff wird ausgebracht?	kg WD-N/ha	140	8	50
Zu welchem Anteil ist es Ammoniumstickstoff?	% des WD-N	56	25	25
Zu welchem Anteil wird der Wirtschaftsdünger sofort eingearbeitet?	% des WD-N	20	100	100
Wie viel Stickstoff wird aus der Vorfrucht nachgeliefert?	kg N/ha	0	0	0
Wie viel Stickstoff wird aus in Vorjahren ausgebrachten org. Dünger nachgeliefert?	kg N/ha	14	15	15
Wie viel Diesel/Heizöl wird verbraucht einschl. Ernten und Trocknen?	l/ha	130	139	139
Zu welchem Anteil ist es reiner Biodiesel?	%	0	4,5	5
Wie viel Strom wird verbraucht?	kWh/ha	0	21	21
Zu welchem Anteil ist es reiner Ökostrom?	%	0	0	0
Wie viel Pflanzenschutzmittel werden verbraucht?	l bzw. kg/ha	6	7,7	8
Wie ist das Frischmasseverhältnis von Korn zu Stroh?	1 zu ...	0,8	0,8	1
Zu welchem Anteil der Anbaufläche erfolgt eine Untersaat?	% der Anbaufläche	0	0	0
Zu welchem Anteil handelt es sich bei der Anbaufläche um ehemaliges Dauergrünland?	% der Anbaufläche	2	0	0
Treibhausgasemissionen der Winterweizenerzeugung	kg CO <sub>2e</sub> /ha	3.171	2.291	1.932
CO <sub>2</sub> -Fußabdruck der Winterweizenerzeugung	g CO <sub>2e</sub> /kg Korn	383	229	193
CO <sub>2</sub> -Fußabdruck der Winterweizenerzeugung	g CO <sub>2e</sub> /kg TM Korn	435	268	226
CO <sub>2</sub> -Fußabdruckveränderung Ziel- zu Ist-Betrieb	%			-16
Gewinnveränderung Ziel- zu Ist-Betrieb	€/ha			34



**Abb. 7:** Auszug aus den Ergebnissen der TEKLa-Klimabilanzierung des Partnerbetriebs für das Erntejahr 2021. a) Fragenkatalog für die Winterweizenerzeugung mit Betriebsdaten; b) Darstellung der Emissionsquellen und deren Anteile für die Winterweizenerzeugung. Daten der LWK Niedersachsen stellen hier den „Vergleich“ dar.



### **Die Ergebnisdarstellung ist nicht zufriedenstellend**

Die Darstellung der Ergebnisse von TEKLa verursachte bei erster Betrachtung zunächst mehr Fragen als Aufklärung. Dabei gaben die zur Veranschaulichung der Ergebnisse dargestellten Diagramme allein optisch den Anschein miteinander vergleichbar zu sein, wobei sich die Bezüge, Einheiten und Skalen unterscheiden (vgl. Abb. 6b). Insgesamt scheint es so, als ob die Ergebnisse möglichst einfach und kompakt dargestellt werden sollten, worunter jedoch die Lesbarkeit und Aussagekraft stark leidet.

### **Der Vergleich von und zu Betrieben ist unbefriedigend**

Die Bilanzierung der Emissionen als CO<sub>2</sub>-Fußabdruck je Produkt soll einen Vergleich unter Betrieben ermöglichen. Dafür werden die Ergebnisse und Betriebsdaten immer neben Vergleichsdaten angegeben. Diese Vergleichsdaten stammen, nach Angabe des Beraters, aus Daten der LWK Niedersachsen und stellen Durchschnittswerte aus Erhebungen aus Niedersachsen dar. Ein geeigneter Vergleichsdatensatz aus Schleswig-Holstein oder für eingegrenzte Regionen steht nicht zur Verfügung. Eine Vergleichbarkeit zu anderen Betrieben ist damit nur bedingt möglich. Zur Lösung dieses Problems wurde für den Partnerbetrieb beschlossen, die Vergleichswerte für die Auswertung mit dem eigenen 3-Jahres-Durchschnitt zu ersetzen und damit eine eigene Referenz zu schaffen, um die Betriebsentwicklung über den zeitlichen Verlauf ins Verhältnis setzen zu können.

### **Der Berater liefert einen zusätzlichen gesamtbetrieblichen Ergebnisbericht**

Von der Unternehmensberatung wurde als Zusatzleistung zum Abschluss der Auswertung mit TEKLa ein Ergebnisprotokoll erstellt. Dieses enthält neben einer schriftlichen Ausführung zum Hintergrund der Treibhausgasbilanzierung und einer Beschreibung sowie Einschätzung der Ergebnisse auch eine Berechnung der Gesamtemissionen des Betriebes. Zusätzlich wurden Übersichten zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen und zum Einsatz einzelner Betriebsmittel über die untersuchten drei Jahre hinweg vom Berater zur Verfügung gestellt. Diese beinhalten auch die Bilanzen für die Mutterkuhhaltung und der Lagerung von Gärresten sowie eine Schätzung für den Wald/Forst-Betriebsbereich. Zu betonen gilt, dass diese gesamtbetriebliche Zusammenfassung nicht direkt Teil der Ergebnisse von TEKLa selbst war. Der Klimarechner betrachtet die verschiedenen Produkte bzw. Produktionszweige immer getrennt, um einen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck je Produkteinheit berechnen zu können. Für den Gesamtbetrieb ist diese Betrachtung nicht vorgesehen. Die entstehenden Treibhausgasemissionen wurden hier vom Berater als absolute Gesamtemissionen angegeben.

Im Ergebnisprotokoll wurde vom Berater hervorgehoben, dass der Ackerbaubetrieb in den bilanzierten letzten drei Jahren bereits eine positive Entwicklung zu geringeren Treibhausgasemissionen erreicht hat. So konnten diese im betrachteten Zeitraum von 2019 bis 2021 um 18 % gesenkt werden. Hierbei

wird vor allem die Reduktion des Mineraldüngerstickstoffeinsatzes um 25 % als größter Einflussfaktor auf die Gesamtentwicklungen hervorgehoben. Gleichzeitig ist der Mineraldüngereinsatz jedoch weiterhin höher als bei den niedersächsischen Vergleichsdaten. Wirtschaftsdünger werden hingegen bei dem Ackerbaubetrieb nur zu sehr geringen Mengen eingesetzt. Zudem wird ein Anstieg im Dieserverbrauch aufgezeigt, der vermutlich mit dem Anbau von Zwischenfrüchten und damit zusätzlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen einhergeht. Dem wäre noch dezidiert nachzugehen.

Im Weiteren vergleicht der Berater, entgegen den Ansätzen von TEKLa, die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke der verschiedenen Kulturen miteinander, aber stellt auch heraus, dass die CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke für alle Früchte reduziert werden konnten. Veränderungen in der Fruchtfolge und ein flächenmäßig größerer Anbau von Kulturen mit allgemein geringerem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck begünstigen die Gesamtbilanz des Betriebes. Daneben erlaube eine Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus eine Anrechnung höherer Gutschriften. Für eine zukünftige Verbesserung der Klimabilanz des Betriebes wurden vom Berater folgende Veränderungen empfohlen:

- i. eine breitere Aufstellung der Fruchtfolge mit mehr Sommerungen
- ii. mehr Zwischenfruchtanbau
- iii. eine Integration von Leguminosen in die Fruchtfolge zur Reduktion des Stickstoffdüngereinsatzes sowie
- iv. eine Steigerung des Wirtschaftsdüngereinsatzes anstelle von Mineraldüngern.
- v. Betont wurden hier auch die damit einhergehenden Vorteile für den Boden und die Bodenfruchtbarkeit.

### **Handlungsoptionen können nicht durchgespielt werden**

Mit der Anwendung des Klimarechners konnten konkrete Handlungsoptionen nicht durchgespielt werden. TEKLa ist vor allem dazu geeignet die Ist-Situation eines Betriebes bzw. die der vorangegangenen Jahre mit vorliegenden Betriebsdaten darzustellen. Im Tool wurde eine Spalte für die Bilanzierung eines Ziel-Betriebs angelegt. Hier können zwar durch Eingabe veränderter Betriebsdaten, z. B. verringerte Düngemengen, die Effekte auf die Treibhausgasemissionen aufgezeigt werden. Diese Möglichkeit Effekte von Handlungsänderungen aufzuzeigen ist jedoch stark eingeschränkt. Zum einen, werden auch hier nur die Endergebnisse der Berechnungen hinter TEKLa dargestellt, sodass z. B. bei kombinierten Maßnahmen deren Einzelwirkungen nicht nachvollzogen werden können. Bereits die Emissionen des Ist-Betriebes können durch die vereinfachte Darstellung und Intransparenz nicht eindeutig ihren Quellen zugeordnet werden. Zum anderen, kann nur der Anwender von TEKLa, also der Berater, die Eingaben verändern. Für die Ergebnisse konnte also lediglich eine Variante von Handlungsänderungen dargestellt werden. Somit bekam der Landwirt mit

dem Tool nicht die Möglichkeit selbst als „Klima-Landwirt“ zu agieren und die Effekte einzelner Handlungsoptionen durchzuspielen.

Um dennoch stärker Handlungsoptionen zu erarbeiten, wurde für den begleiteten Betrieb im Zuge der gesondert angesetzten Ergebnisdiskussion vom Landwirt und Berater vereinbart, eine Hochrechnung bzw. eine eigene Zielsetzung für das Jahr 2030 zu erarbeiten und so die Möglichkeiten zur Annäherung einer Treibhausgas-Neutralität auszutesten.

### **Die Auswertung ist stark abhängig vom Berater**

Da sowohl die Berechnung als auch die Interpretation der Daten nicht vom Landwirt selbst sondern vom Berater durchgeführt wurde, ist die Auswertung der Klimabilanzierung stark abhängig vom Berater. Durch die wissenschaftliche Begleitung hat sich gezeigt, dass Ungenauigkeiten in der Datenverarbeitung, mangelhafte Anpassungen von Parametern oder auch teils die Vernachlässigung von Informationen große Unterschiede in den Endergebnissen mit sich bringen können. Da im Tool häufig Erklärungen fehlen, ist eine einheitliche Anwendung durch verschiedene Dienstleister nicht unbedingt gegeben. Insgesamt zeigte sich, dass ein hohes Maß an Transparenz des Klimarechners sowohl für den Berater als auch den Landwirt wichtig ist, diese aber hier große Mängel aufweist.

## **7 Diskussion**

### **Praxistauglichkeit**

Die Ergebnisse aus dieser Arbeit zeigen, dass der Klimarechner TEKLa ein durchaus praxistaugliches Tool zur Klimabilanzierung in der Landwirtschaft darstellt. Aufgezeigte Hürden und Schwierigkeiten in der Anwendung des Tools ergeben sich vor allem durch fehlende Erläuterungen und Informationen zum Fragenkatalog und den Bilanzierungen von TEKLa selbst. Die notwendige Zwischenschaltung eines Beratungsunternehmens zeigte deutlich auf, dass an der Schnittstelle zwischen diesem und der LWK Niedersachsen eine lückenlose Informationsweitergabe und/oder Einführung notwendig ist, um eine korrekte Anwendung des Tools und letztlich eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicher ermöglichen zu können. Um Fehler in der Bilanzierung zu vermeiden, sollte das Tool durch Hinweise und Erläuterungen erweitert werden, so dass es theoretisch auch durch ungeschulte Interessierte selbsterklärend anzuwenden ist. Mit einer verbesserten Aufbereitung des Tools können mit einfachen Mitteln Anwendungsschwierigkeiten und Fehler bzw. Ungenauigkeiten in der Bilanzierung deutlich verringert werden.

Für Landwirt:innen ist die Klimabilanzierung als Dienstleistung bestmöglich nicht mit zusätzlichem Arbeitsaufwand verbunden. Bei guter Dokumentation der Betriebsdaten müssen diese lediglich für die Bilanzierung bereitgestellt werden. Um das Fehlen notwendiger Informationen vorzubeugen und

sowohl die Arbeit von Landwirt:innen als auch Berater:innen zu erleichtern, ist die Bereitstellung eines Musters bzw. einer Vorlage zur Betriebsdatendokumentation für die Klimabilanzierung, ähnlich denen für die DüV<sup>iii</sup>, empfehlenswert. Auch eine Integration zusätzlicher Parameter in bestehende Dokumentationssysteme wäre hier zielführend.

Mit einer verbesserten und vereinheitlichten Form der Datendokumentation könnten betriebliche Klimabilanzierungen mit nur sehr geringem Arbeitsaufwand jährlich und flächendeckend erfasst werden.

### **Humus und Moore**

Die kritische Hinterfragung des Klimarechners selbst hat gezeigt, dass die meisten, auch vom BEK aufgeführten, Emissionsquellen im Pflanzenbau von TEKLa abgedeckt werden.

Eine große Schwachstelle des Tools ist jedoch die mangelhafte Einbeziehung des Bodens und dessen Humusbilanz. Dies schließt sowohl die Nicht-Berücksichtigung von Emissionen aus Moorböden als auch die kritisch zu betrachtende aktuelle Humusbilanzmethode von TEKLa mit ein. Letztere beruht vor allem auf kalkulatorischen Werten und stellt den theoretisch zu erwartenden Humusabbau und –aufbau, je nach angebauter Frucht, dar. Einige dabei zugrunde gelegte Werte stammen hierbei aus dem 2004 veröffentlichten VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“, der überwiegend auf Forschungsarbeiten der 80er Jahre in Ostdeutschland beruht (ENGELS ET AL., 2010) und damit durchaus als veraltet gelten kann. Zudem sollte hier berücksichtigt werden, dass die Kennwerte der VDLUFA „dazu dienen sollen, die optimale Versorgung [der Feldfrüchte] mit organischer Substanz zu bemessen und nicht dazu geeignet sind, die Veränderung der Bodenhumusvorräte zu errechnen“ (VDLUFA, 2014). Die hier von TEKLa und vom BEK aufgegriffenen Werte sind demnach in ihrer Verwendung zur Bilanzierung von Humusaufbau und –abbau kritisch zu betrachten.

Weiterhin muss auch hier erwähnt werden, dass eine Humusbilanzierung immer über mehrere Jahre hinweg betrachtet werden muss, um die Entwicklung des Bodens beobachten zu können. Eine Momentaufnahme erlaubt keine Aussage darüber, ob eine Degradation oder Regeneration von Humus am Standort stattfindet, oder dieser sich im Gleichgewicht befindet.

Obschon die Bewirtschaftung von Moorböden eine sehr wichtige Rolle bei der Betrachtung landwirtschaftlicher Emissionen in Deutschland – und besonders in Niedersachsen, dem Entwicklungsland von TEKLa – spielt, werden bei der aktuellen Version von TEKLa große Mengen an Emissionen nicht bilanziert. Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Emissionen aus Moorböden sehr variabel sind und die für die Bilanzierung notwendigen Emissionsfaktoren nicht genügend genau zur Verfügung stehen, ist ein gänzlicher Ausschluss aus der Klimabilanzierung als Fehlstelle zu werten. Genauso wie Emissionsfaktoren anderer Treibhausgasquellen laufend erneuert und dem Stand der Wissenschaft angepasst werden, müssen die Emissionen aus bewirtschafteten

Mooren so genau wie möglich berechnet werden, um eine ganzheitliche Betrachtung der stattfindenden Emissionen zu ermöglichen.

Weiterhin ist hier neben der generellen Nicht-Berücksichtigung der Mooremissionen die fehlende Sichtbarkeit von Klimaeffekten durch Bewirtschaftungsveränderungen problematisch. Die Klimabilanz einer Moorfläche ist TEKLa zufolge die gleiche, unabhängig der Tiefe der Entwässerung. Diese Tatsache spiegelt ein falsches Bild wider und zudem werden Klimaeffekte von Handlungsänderungen, wie verringerter Drainage, nicht erfasst und aufgezeigt. Damit verpasst das Tool hier eine große Chance zur Bewusstseinsbildung bei Landwirt:innen selbst. Auch beim Partnerbetrieb dieser Arbeit werden die Effekte der Extensivierung von Niedermoorflächen in der Klimabilanzierung nicht widerspiegelt, was fälschlicherweise den Anschein vermittelt, dass die Bewirtschaftungsweise keinen Einfluss auf die Höhe der Emissionen hat. Tatsächlich ist die Drainage organischer Böden neben der Stickstoffdüngung die Hauptursache für N<sub>2</sub>O-Emissionen in der deutschen Landwirtschaft, die wiederum 75 % der N<sub>2</sub>O-Emissionen insgesamt verursacht (DEUTSCHLAND, 2021).

### **Zwischenfrüchte und Brachen**

Im Gegensatz zum BEK berechnet TEKLa Gutschriften für den Anbau von Gründüngungszwischenfrüchten und brachliegende Flächen. Unabhängig von den Berechnungsschritten ist der Ansatz, das Klimaschutzpotential dieser Maßnahmen in die Bilanzierung zu integrieren, positiv zu bewerten. Die Arbeiten von SEITZ ET AL. (2022) und POEPLAU & DON (2015) zeigen, dass der Anbau von Winterzwischenfrüchten zur Steigerung des Humusgehalts von Ackerböden beitragen kann. Dabei wurden in beiden Studien jährliche Anreicherungen des C<sub>org</sub>-Vorrats im Bereich von 0,28-0,33 Mg C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> über einen Zeitraum von 50 Jahren ermittelt. Eine Netto-Kohlenstoff-Sequestrierung der Böden allein durch Zwischenfruchtanbau ist jedoch innerhalb von 50 Jahren nicht möglich (SEITZ ET AL., 2022). Dennoch stellt der Anbau von Winterzwischenfrüchten eine „Verlust-freie“ Maßnahme dar. Die Ausnutzung von Brachezeiten führt im Gegensatz zu anderen Mitigationsmaßnahmen nicht zu Einbußen in der Agrarproduktion, sondern bringt zusätzlich weitere Vorteile mit sich. Der Zwischenfruchtanbau wirkt sich positiv aus auf die Biodiversität, reduziert Erosion, verringert als Mulch den Trockenstress für Folgefrüchte und verbessert allgemein die Bodenqualität und damit folgende Ernteerträge (POEPLAU & DON, 2015). Neben dem Mitigationpotential durch die Kohlenstoff-Sequestrierung ermöglicht der Zwischenfruchtanbau weitere Reduktionen von Emissionen durch Einsparungen in der Düngemittelproduktion sowie von indirekten Emissionen aufgrund von N-Auswaschungen. Auch die Erhöhung der Albedo trägt einen erheblichen Teil zur Klimaschutzwirkung bei (SEITZ ET AL., 2022).

Vor diesem Hintergrund ist die Beratungsempfehlung den Anbau von Gründüngungszwischenfrüchten in den nächsten Jahren weiter auszubauen gut begründet. Dennoch beruht die Bilanzierung in TEKLa

selbst lediglich auf Schätzungen zur Aufwuchsmenge und den kritisch zu betrachtenden Werten der VDLUFA zum Humusaufbaupotential. Aufgrund der Aktualität dieses Forschungsfeldes sind hier zukünftig weitere Erkenntnisse zu erwarten, die es dann auch in den Klimarechner zu integrieren gilt. Ähnliches gilt auch für die Berechnung von brachliegenden Flächen. Hier zeigte sich jedoch deutlicher, dass nicht nur die Verfügbarkeit von aktuellen Kennwerten zum Humusaufbaupotential, sondern auch dessen Auswahl in der Anwendung einen großen Einfluss auf die Bilanzergebnisse hat. Für den Partnerbetrieb wurden Stilllegungsflächen, Ackerrandstreifen, als auch Brachen zur Aussaat von Bienenweiden vom Berater als gleichwertig betrachtet. Dabei umfasst der Standpunkt der VDLUFA (2014) für die Humusreproduktionsleistung von Brachen Werte zwischen 80 und 700 Humusäquivalenten (Häq)  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  je nachdem, ob diese z. B. gezielt begrünt werden oder nicht. In der Bilanzierung mit TEKLa wurde hier einheitlich der Wert von 700 Häq  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  für gezielte Begrünung angewendet. Würde man beim Partnerbetrieb beispielhaft die Ackerrandstreifen, die ein Fünftel der Brachefläche ausmachen, als Selbstbegrünungsflächen mit der von der VDLUFA tabellierten Humusreproduktionsleistung von 180 Häq  $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  bewerten, würde die Treibhausgasgutschrift insgesamt knapp 25 % niedriger ausfallen.

Zudem sollte die anteilige Anrechnung der Gutschriften durch Brachen und Zwischenfruchtanbau auf die Hauptkulturen hinterfragt werden. Hier gilt es zu überlegen, dass brachliegende Flächen nur bei einer gesamtbetrieblichen Bilanzierung einbezogen werden, denn sie verbessern die Klimabilanz des Betriebes, aber nicht die einzelner Früchte. Bei der Anrechnung von Winterzwischenfrüchten wäre es sinnvoll die gesamte Fruchtfolge eines Erntejahres auf einer Fläche zu betrachten. So könnten das Humusaufbaupotential der Zwischenfrüchte und dessen Einsparpotential für die Düngung zusammen mit den stattfindenden Emissionen durch den Anbau der Hauptkultur für eine Fläche bilanziert werden. Aufwand und Vorteile würden gemeinsam betrachtet und damit besser vergleichbar mit anderen Bewirtschaftungsmaßnahmen sein. Zudem wäre so z. B. auch ein Vergleich der Klimabilanzen von Winterungen und Sommerungen<sup>iv</sup> möglich, letztere mit der Option zum Winterzwischenfruchtanbau. Die anteilige Gutschrift für alle Hauptkulturen ist so in ihrer aktuellen Form nicht glücklich gewählt, um die tatsächlichen Emissionen der verschiedenen Früchte und damit geeignete Handlungsoptionen für dessen Reduktion aufzuzeigen.

### **Nebenernteprodukte**

Ebenso relevant für die Humus- und Klimabilanz ist die Anrechnung von Humusreproduktionspotentialen für Nebenernteprodukte, wie etwa Stroh. Das Potential zum Humusaufbau durch den Eintrag organischer Substanz wird hier von TEKLa für die Hauptkultur angerechnet, unabhängig davon, ob das Stroh auf der Fläche verbleibt und eingearbeitet wird oder

weggeführt wird. Die Berechnungen beruhen zudem auch hier auf tabellarischen Werten der VDLUFA und der DüV.

Zur Untersuchung der Auswirkungen dieser „pauschalen“ Anrechnung der Nebenernteprodukte wurde eine Vergleichsbilanz berechnet, bei der die Hälfte des Stroh für weitere Verwendungszwecke abgefahren wird. Die anzurechnende Strohmenge wurde hier halbiert. Die damit einhergehende Verminderung der Humusproduktion führte zu einem über 50 % höheren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Weizens. Damit zeigt sich, wie entscheidend der Verbleib von Ernteresten für die Klimabilanz einer Ackerfläche ist und dass Stroh oder organisches Material nur dann einberechnet werden darf, wenn es tatsächlich auf der Fläche eingetragen wird. Die Bilanzierung von N<sub>2</sub>O-Emissionen durch den Abbau der Erntereste ist hier natürlich genauso zu handhaben.

Auch vom BEK wird die Anrechnung von Gutschriften für Stroh und Wirtschaftsdünger im Pflanzenbau oder der Tierhaltung unabhängig vom eigentlichen Verbleib des Materials empfohlen. Hier wird jedoch darauf hingewiesen, dass der Humussaldo des Bodens bei allen Bilanzierungen im Pflanzenbau zusätzlich ausgewiesen werden sollte, um die Nachhaltigkeit des Produktionsverfahrens darzustellen (ARBEITSGRUPPE BEK, 2021). In TEKLa findet eine zusätzliche Bilanzierung des Bodens nicht statt, weshalb die pauschale Anrechnung dieser Gutschriften kritisch zu betrachten ist. Außerdem empfiehlt der BEK einen Sicherheitsabschlag von 20 % von den VDLUFA-Werten zur Humusproduktionsleistung von Nebenernteprodukten. Damit soll eine Überbewertung des Humusaufbaus vermieden werden (ARBEITSGRUPPE BEK, 2021).

Insgesamt ist das Heranziehen der o. g. Daten der VDLUFA oder der DüV nur so lange ein legitimes Hilfsmittel, solange keine konkreten anderen Daten zur Verfügung stehen. Grundsätzlich gilt es hier verfügbare Forschungs- oder betriebsspezifisch erhobene Daten zu nutzen.

Die Ergebnisse der Klimabilanzierung mit TEKLa zeigen (vgl. Abb. 7b), dass Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Boden sowie zur Steigerung des Humusaufbaus durch den Eintrag organischer Substanz großes Potential haben die Treibhausgasemissionen in der landwirtschaftlichen Produktion insgesamt zu senken. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Ackerbau sind entscheidend von der Wahl der Fruchtfolge, also dem „Kohlenstoff-Bedarf“ der angebauten Fruchtart, abhängig. Wenn ein solcher Anbau gewünscht ist, sind also immer Treibhausgasemissionen in Kauf zu nehmen. Hingegen können, ja müssen Treibhausgasemissionen aus Moorböden durch eine angepasste Bewirtschaftung reduziert und möglichst vermieden werden, um die nationalen und internationalen Klimaziele erreichen zu können. Die große Rolle, die organische Böden bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen in Deutschland spielen, sollte von einem Klimarechner nicht ignoriert werden. Gleichzeitig hat TEKLa einen guten Grundstein zur Anrechnung von Maßnahmen zum Humusaufbau gelegt. Die Vorteilswirkung von humusaufbauenden Maßnahmen sollte in einer betrieblichen Klimabilanz



aufgezeigt werden, um diese einerseits sichtbar zu machen und Bewusstsein dafür zu schaffen und schließlich auch, um Landwirt:innen für die Umsetzung zu „belohnen“.

### **N-Düngung**

Neben dem System „Boden“ stellt das Düngemanagement die zweite große Stellschraube zur Reduktion von Treibhausgasemissionen im Pflanzenbau dar, wie dies auch durch die Anwendung von TEKLa deutlich herausgearbeitet wird. Die mehrjährige Bilanzierung des Partnerbetriebs hat gezeigt, dass Einsparungen in den ausgebrachten Düngemengen allgemein eine hohe Emissionsminderung mit sich bringen. Wie zuvor beschrieben, ist der Zusammenhang zwischen der N-Zufuhr und den N<sub>2</sub>O-Emissionen jedoch nicht linear (IPCC, 2019a). Besonders hohe Effekte lassen sich dort erzielen, wo der N-Überschuss hoch ist. Eine weitere Reduktion der N-Düngemengen wird demnach weiterhin mit Verringerungen der N<sub>2</sub>O-Emissionen einhergehen, der Effekt könnte aber womöglich abnehmen. Diese dynamische Entwicklung wird in TEKLa nicht abgebildet, sollte aber bei der Wahl von Handlungsänderungen berücksichtigt werden.

Neben einer allgemeinen Reduktion der Düngemengen wird die Reduktion von Mineraldüngern zugunsten von Wirtschaftsdüngern empfohlen. Dies lässt sich unter anderem damit begründen, dass bereits die Produktion von Mineraldüngern hohe Treibhausgasemissionen verursacht. Dieser Unterschied zu den Wirtschaftsdüngern wird auch in den Ergebnissen von TEKLa gut aufgezeigt. Zudem wird mit Wirtschaftsdüngern auch organisches Material auf die Fläche ausgebracht, welches zur Humusreproduktion und damit zur Bodenfruchtbarkeit beitragen kann (POEPLAU & DON, 2015). An dieser Stelle sei zu erwähnen, dass TEKLa den Kohlenstoff-Eintrag durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Pflanzenbau nicht bilanziert, sondern die Gutschrift direkt in der Tierhaltung verrechnet. Dies gilt es zu hinterfragen. Allerdings sei zu beachten, dass die Gutschrift keinesfalls zweifach berechnet werden darf und damit Klimabilanzen geschönt werden. Analog zum Humusaufbaupotential von Stroh sollte jedoch die Verrechnung auch für Wirtschaftsdünger dort stattfinden, wo das Material in den Boden eingetragen wird, um die Klimabilanz bezogen auf die Fläche und den Betrieb besser abbilden zu können. Bei Mischbetrieben, bei denen betriebseigene Wirtschaftsdünger auch direkt im Pflanzenbau Verwendung finden, schließt sich der Kreis in beiden Fällen. Die Agrarstruktur in Deutschland mit teils deutlichen räumlichen Trennungen von Pflanzenbau und Tierhaltung erschwert eine direkte (Stoff)Kreislaufwirtschaft. Zur Reduktion der Mineraldünger-Produktion ist eine verstärkte Umverteilung von Wirtschaftsdüngern aus Regionen mit intensiver Tierhaltung in Ackerbau-Regionen notwendig. Diese Umverteilung kann auch zur Verbesserung der Nährstoffhaushalte und damit zum Naturschutz beitragen. Aufbereitungsmaßnahmen und Transporte verursachen jedoch wiederum neue Emissionen. An dieser Stelle sei auch auf die Umsetzung einer

‘ehrlichen’ Flächenbindung in der Nutztierhaltung hinzuweisen. So könnten sich z. B. auf regionaler Ebene Nutztierhaltung und Ackerbau ergänzen und verbesserte Stoffkreisläufe ermöglichen.

### **Ausblick für den Betrieb**

Für den hier herangezogenen Betrieb hat die Klimabilanzierung mit TEKLa gezeigt, dass umgesetzte Maßnahmen in den letzten Jahren bereits eine positive Klimaschutzwirkung erzielt haben. Die Reduktion von Düngemitteln spiegelte sich hier deutlich in den berechneten CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken der angebauten Kulturen wider. Auch mit der Entscheidung zum vermehrten Anbau von Winterzwischenfrüchten und einer breiteren Aufstellung der Fruchtfolge sieht sich der Landwirt, bestätigt durch die TEKLa-Ergebnisse, auf dem richtigen Weg um zukünftig klimaschonender zu wirtschaften. Gleichzeitig hätte sich der Landwirt jedoch gewünscht, dass auch die Potentiale durch die Anlage von Knicks oder Agroforst-Systemen, sowie die Extensivierung von Grünlandflächen auf Moorstandorten in der Klimabilanz abgebildet werden. Hier kann festgehalten werden, dass TEKLa für die Anwendung auf den Partnerbetrieb mit seinen Spezifika und der Erwartungshaltung eine gesamtbetriebliche Betrachtung anzustellen deutlich nachgebessert werden muss. Ziel der Klimabilanzierung sollte es also nicht nur sein, herauszustellen, wie der Betrieb bzw. der Anbau einer einzelnen Kultur im Vergleich dasteht, sondern die Möglichkeiten zu erfassen, wo und wie der Betrieb als Ganzes Emissionen einsparen kann. Die Schaffung einer Zielsetzung für den Betrieb sollte hier intendiert sein, um nachhaltig einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

### **Potential für den Klimaschutz**

Zur Erreichung der deutschen Klimaziele müssen die Treibhausgasemissionen des Landwirtschaftssektors bis 2030 auf 56 Mt CO<sub>2eq</sub> gesenkt werden (KSG, 2021). Verglichen mit 2019 bedeutet dies eine Reduktion von knapp 10 %. Im Vergleich konnte der hier betrachtete Ackerbau-Betrieb seine von TEKLa erfassten Treibhausgasemissionen von 2019 bis 2021 bereits um 18 % senken, vor allem durch Reduktionen im Düngemittel-Einsatz. Die Anwendung des Klimarechners zeigt hier auf, dass auch in der Landwirtschaft große Potentiale bestehen, um Emissionen zu reduzieren. Diese Möglichkeit sollte genutzt werden, um zum einen aufzuzeigen, dass Emissionen reduziert werden können, auch ohne Verluste in der Produktion oder der Wirtschaftlichkeit und zum anderen, um aufzuzeigen an welchen Stellschrauben ein einzelner Betrieb arbeiten kann, um die eigene Klimabilanz zu verbessern.

Die Fokussierung von TEKLa auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einzelner Kulturen verhindert jedoch eine ganzheitliche Betrachtung der landwirtschaftlichen Systeme. Zur Ermittlung von Einsparmöglichkeiten der absoluten Treibhausgasemissionen sollte die von TEKLa angestrebte Betrachtung je Produkteinheit, also bezogen auf die Ertragsmengen, vermieden werden. Wie zuvor beschrieben,

ermöglicht die Art der Bilanzierung des Klimarechners eine Verbesserung des definierten CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, obwohl die Gesamtemissionen des Betriebes steigen. Gleichwohl insgesamt eine hohe Effizienz in der landwirtschaftlichen Produktion anzustreben ist, um zum einen Ressourcen zu sparen, als auch aus Gründen der Ernährungssicherung, ist diese Betrachtungsweise zu kurz gedacht. Um durch Effizienzsteigerung in der Landwirtschaft Treibhausgasemissionen einzusparen, ist gleichzeitig eine Transformation der Landwirtschaft notwendig. Dabei gilt es die Nutztier- und Ackerbauproduktion, betrachtet von der Ernährungsseite, neu auszubalancieren. Für den Ackerbau hätte eine effizientere, aber mengenmäßig gleichbleibende Produktion damit großes Potential für den Klimaschutz. Die Steigerung der Effizienz sollte dabei jedoch nie zu Lasten von z. B. dem Nährstoff- und Wasserhaushalt oder der Biodiversität erzielt werden. Hier zeigt sich die Bedeutung der ganzheitlichen Betrachtung der Systeme. Etwaige Flächen, die nicht mehr für die Agrarproduktion benötigt werden, könnten zudem für weitere Klima- und Umweltschutz-Maßnahmen herangezogen werden. Andersherum würde auch der Flächenverbrauch durch die Anlage von z. B. Knicks nicht zwingend mit Verlusten in den Ernteerträgen einhergehen, da diese nachweislich zur Steigerung der Erträge auf dem Rest der jeweiligen Fläche beitragen können (vgl. DON ET AL., 2018; DREXLER ET AL., 2021).

## 8 Schlussfolgerung

Durch die beispielhafte Anwendung des Klimarechners TEKLa sowie die damit verbundene Begleitung von Landwirt und Berater konnten wertvolle Einblicke in das Tool selbst, zu dessen Praxistauglichkeit und Wirksamkeit gewonnen werden. Während das Tool nah an der landwirtschaftlichen Praxis arbeitet und vor allem Betriebsdaten verwendet, die bereits aufgrund anderer Richtlinien verpflichtend dokumentiert werden müssen, wurden aber auch Hürden sichtbar, welche durch mangelnde Transparenz und Informationslücken des Tools selbst begründet sind. Eine Aufbereitung des Tools mit Erläuterungen und Hinweisen für den Anwender könnte deutlich zur Qualitätsverbesserung der Klimabilanzierung beitragen.

Gleichzeitig zeigte die Auseinandersetzung mit dem Tool selbst, dass die Bilanzierung für den Bereich „Boden“ verbessert werden muss. Hierzu zählt die Integration von potentiell hohen Emissionen durch Moorbewirtschaftung sowie die Humusbilanzierung. Für eine ganzheitliche Betrachtung von Betrieben sollten hier auch Klima- bzw. Naturschutzmaßnahmen, wie die Anlage von Knicks und Agroforstsystemen, zukünftig Berücksichtigung finden. Gleichzeitig sei bei der Anrechnung von Gutschriften für den Eintrag organischer Materialien in den Boden Vorsicht geboten, um dessen Humusaufbaupotential nicht zu überschätzen und nur tatsächlich stattfindende Einträge einzukalkulieren. Für eine `faire` Anrechnung von Gutschriften für den Zwischenfruchtanbau sollte der

Fokus zudem verstärkt auf die Fruchtfolge gelegt werden, vor allem auch wenn mit einem Zwischenfruchtanbau einhergehende Vorteile für die Folgefrucht erkennbar werden sollen.

Weiterhin zeigte sich, dass der Grundansatz von TEKLa, die Treibhausgasemissionen je Ertrag zu betrachten, einem Klimaschutzeffekt des Tools womöglich entgegenwirkt. Der von TEKLa definierte CO<sub>2</sub>-Fußabdruck stellt vielmehr die Emissionseffizienz der Produktion und nicht die Emissionen selbst dar. Während eine ressourceneffiziente Landwirtschaft durchaus Emissionen einsparen kann, funktioniert dies nur wenn Emissionsminderungen nicht gleich wieder durch Produktionssteigerungen kompensiert werden. Etwaige 'freie' (ggf. marginale) Flächen sollten vielmehr z. B. für Naturschutzmaßnahmen Verwendung finden.

Letztlich sollte festgehalten werden, dass die alleinige Betrachtung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, keine Rückschlüsse darüber erlaubt, wie viele Treibhausgasemissionen ein Betrieb insgesamt verursacht.

## Zusammenfassung

### Klimarechner in der Landwirtschaft – ein Treibhausgasbilanzierungstool auf dem Prüfstand

In der Landwirtschaft werden sogenannte Klimarechner als Hilfsmittel eingesetzt, um stattfindende Treibhausgasemissionen zu erfassen und zu erkennen, an welcher Stelle Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen ansetzen können. In dieser Arbeit wird der Klimarechner „TEKLa“ auf den Prüfstand gestellt, wofür Landwirt und Berater bei der Klimabilanzierung eines Ackerbau-Betriebes wissenschaftlich begleitet wurden.

Durch die Verwendung vorhandener Betriebsdaten orientiert sich das Tool nah an der landwirtschaftlichen Praxis. Unzureichende Informationen und Intransparenz des Rechners erschweren teils die Anwendung. Während Emissionen und deren Einsparpotentiale durch das Düngemanagement gut abgedeckt werden, ist die Humusbilanzierung kritisch zu betrachten. Potentiell hohe Emissionen durch die Bewirtschaftung von Moorböden werden gar nicht erfasst. Zudem gilt es die Ansätze zur Anrechnung von Gutschriften für die Humusaufbaupotentiale von z. B. Zwischenfrüchten und Nebenernteprodukten zu hinterfragen und zu verbessern.

Der von „TEKLa“ definierte CO<sub>2</sub>-Fußabdruck gibt Auskunft über die Klima-Effizienz einzelner Produktionszweige, jedoch nicht über die absoluten Treibhausgasemissionen eines Betriebes. Somit kann eine Steigerung der Produktionseffizienz gleichzeitig mit einer Senkung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks sowie mit einer Steigerung der absoluten Emissionen einhergehen, wodurch eine Klimaschutzwirkung verfehlt wird.

Grundsätzlich zeigt sich aber, dass Klimarechner in der Landwirtschaft ein hilfreiches Tool darstellen können, um das Reduktionspotential von Emissionen aufzuzeigen und die Stellschrauben für die Treibhausgasminderung sichtbar zu machen. Die ganzheitliche Betrachtung des Betriebes sollte dabei im Fokus stehen.

## Summary

# Climate Calculators in Agriculture – A Greenhouse Gas Assessment Tool on Trial

In agriculture, so-called climate calculators are used to assess greenhouse gas emissions and to identify where measures to reduce emissions can be applied. In this work, the calculator “TEKLa” is on trial. Therefore an arable farmer and a consultant have been scientifically accompanied in the process of calculating the climate balance.

By using existing operating data of the farm, the tool is closely based on agricultural practice. Insufficient information and a lack of transparency lead to some difficulties in its application. Whereas the emissions and potentials of reduction are well covered for the fertilizer management, the approach of accounting humus must be viewed critically. Potentially high emissions from the cultivation of peatlands are not recorded at all. Further, the approaches of accounting credits for the potential of humus formation of e. g. catch crops and by-products need to be questioned and improved.

The CO<sub>2</sub>-footprint defined by „TEKLa” provides information about the climate efficiency of individual agricultural products, but not about the absolute greenhouse gas emissions of the farm. Thus, an increase in production efficiency can go hand in hand with a reduction in the CO<sub>2</sub>-footprint and an increase in the absolute emission, which means there is no climate protection effect.

However, climate calculators could be an effective tool in agriculture to show the reduction potential of greenhouse gas emissions and to make their adjustment screws visible. Therefore a farm needs to be seen as a whole system.

## Literatur

1. ARBEITSGRUPPE BEK (2021). Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft. Handbuch, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 2. Aufl.. Zugriff am 27.04.2022 unter <https://www.ktbl.de/themen/bek>
2. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT [LfL] (Hrsg.) (2021). Klima-Check Landwirtschaft - IDB.THG Tool. Zugriff am 27.04.2022 unter [https://www.stmelf.bayern.de/idb/images/Klimacheck\\_Landwirtschaft\\_Moeglichkeiten\\_und\\_Grenzen.pdf](https://www.stmelf.bayern.de/idb/images/Klimacheck_Landwirtschaft_Moeglichkeiten_und_Grenzen.pdf)
3. BUNDES-KLIMASCHUTZGESETZ [KSG] (2021). Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist. Zugriff am 16.05.2022 unter <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf>  
BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT [BMEL] (Hrsg.) (2018). Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Zugriff am 27.04.2022 unter [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.pdf?__blob=publicationFile&v=4)
5. COLOMB, V., BERNOUX, M., BOCKEL, L., CHOTTE, J.-L., MARTIN, S., MARTIN-PHIPPS, C., MOUSSET, J., TINLOT, M. & TOUCHEMOULIN, O. (2012). Review of GHG Calculators in Agriculture and Forestry Sectors: A Guideline for Appropriate Choice and Use of Landscape Based Tools. Zugriff am 27.04.2022 unter [https://www.fao.org/fileadmin/templates/ex\\_act/pdf/ADEME/Review\\_existingGHGtool\\_VF\\_UK4.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/ADEME/Review_existingGHGtool_VF_UK4.pdf)
6. COLOMB, V., TOUCHEMOULIN, O., BOCKEL, L., CHOTTE, J.-L., MARTIN, S., TINLOT, M. & BERNOUX, M. (2013). Selection of appropriate calculators for landscape-scale greenhouse gas assessment for agriculture and forestry. *Environmental Research Letters*, 8(1), 15029. Doi: 10.1088/1748-9326/8/1/015029
7. DEFILA, R. & DI GIULIO, A. (2016). Wie es begann – Vom Begleiten und vom Beschreiten gemeinsamer Wege. In Defila R. & Di Giulio A. (Hrsg.), *Transdisziplinär forschen - zwischen Ideal und gelebter Praxis: Hotspots, Geschichten, Wirkungen* (S. 9–23). Campus Verlag, Frankfurt, New York. Doi: 10.13140/RG.2.1.1252.2005
8. DENEFF, K., PAUSTIAN, K., ARCHIBEQUE, S., BIGGAR, S. & PAPE, D. (2012). Report of Greenhouse Gas Accounting Tools for Agriculture and Forestry Sectors. Interim report to USDA under Contract No. GS-23F-8182H
9. DEUTSCHLAND (2021). Common Reporting Format (CRF) Table. Zugriff am 27.04.2022 unter <https://unfccc.int/documents/271972>
10. DON, A., FLESSA, H., MARX, K., POEPLAU, C., TIEMEYER, B. & OSTERBURG, B. (2018). Die 4-Promille-Initiative "Böden für Ernährungssicherung und Klima" - Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland. Thünen Working Paper, 112. Braunschweig. Zugriff am 09.05.2022 unter [https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper\\_112.pdf](https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_112.pdf)
11. DREXLER, S., BROLL, G., DON, A. & FLESSA, H. (2020). Standorttypische Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands. Thünen Report, 75. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. Doi: 10.3220/REP1583152694000
12. DREXLER, S., GENSIOR, A. & DON, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Regional Environmental Change*, 21(74). Doi: 10.1007/s10113-021-01798-8

13. DÜNGEVERORDNUNG [DüV] (2021). Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Zugriff am 02.05.2022 unter [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_v\\_2017/BJNR130510017.html](https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html)
14. ENGELS, C., REINHOLD, J., EBERTSEDER, T. & HEYN, J. (2010). Schlussbericht zum F&E-Vorhaben "Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden - Einflussfaktoren und deren Auswirkungen". VDLUFA, Speyer. Zugriff am 04.05.2022 unter <http://vdlufa.org/Dokumente/SchlussberichtGesamt201010.pdf>
15. IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA.  
IPCC (2019a). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. [Shukla, P.R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Portugal Pereira, J. Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M. & Malley, J. (Hrsg.)]. In press.
17. IPCC (2019b). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. & Federici, S. (Hrsg.)]. IPCC, Schweiz.
18. IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (Hrsg.)]. Cambridge University Press. In Press.
19. JACOBS, A., FLESSA, H. UND DON, A., HEIDKAMP, A., PRIETZ, R., DECHOW, R., GENSIOR, A., POEPLAU, C., RIGGERS, C., SCHNEIDER, F., TIEMEYER, B., VOS, C., WITTNEBEL, M., MÜLLER, T., SÄURICH, A., FAHRION-NITSCHKE, A., GEBBERT, S., JACONI, A., KOLATA, H., LAGGNER, A., ET AL. (2018). Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Thünen-Report, 64. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. Doi: 10.3220/REP1542818391000
20. KÄTSCH, S. & OSTERBURG, B. (2016). Treibhausgasrechner in der Landwirtschaft - Erfahrungen und Perspektiven. Landbauforschung, 66(1), 29–44. Doi: 10.3220/LBF1456905354000
21. LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN [LLUR] (Hrsg.) (2019). Die Böden Schleswig-Holsteins: mit Erläuterungen zur Bodenübersichtskarte 1:250.000. LLUR SH-GB, 23. Zugriff am 27.04.2022 unter [http://umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/bodenbroschuere\\_2019.pdf](http://umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/bodenbroschuere_2019.pdf)
22. LETTAU, A. & BREUER, F. (2007). Kurze Einführung in den qualitativ-sozialwissenschaftlichen Forschungsstil. Zugriff am 27.04.2022 unter <https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/psyifp/aebreuer/alfb.pdf>
23. POEPLAU, C. & DON, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment, 200, 30-41. Doi: 10.1016/j.agee.2014.10.024
24. POEPLAU, C., DON, A., FLESSA, H., HEIDKAMP, A., JACOBS, A. & PRIETZ, R. (2020). Erste Bodenzustandserhebung Landwirtschaft - Kerndatensatz. Open Agrar Repository, Göttingen. Doi: 10.3220/DATA2020020315113
25. SCHUBERT, K. & KLEIN, M. (2020). Das Politlexikon (7. Aufl.). Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. Dietz. Zugriff am 27.04.2022 unter <https://www.bpb.de/kurzknapp/lexika/politiklexikon/17165/begleitforschung/>

26. SEITZ, D., FISCHER, L.M., DECHOW, R., WIESMEIER, M. & DON, A. (2022). The potential of cover crops to increase soil organic carbon storage in German croplands. *Plant Soil*. Doi: 10.1007/s11104-022-05438-w
27. SMITH, P., MARTINO, D., CAI, Z., GWARY, D., JANZEN, H., KUMAR, P., MCCARL, B., OGLE, S., O'MARA, F., RICE, C., SCHOLLES, B. & SIROTENKO, O. (2007). Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. & Meyer, L.A. (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA.
28. STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (2021). Betriebsgrößenstruktur landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern. Zugriff am 27.04.2022 unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/betriebsgroessenstruktur-landwirtschaftliche-betriebe.html>
29. TUBIELLO, F.N., SALVATORE, M., ROSSI, S., FERRARA, A., FITTON, N. & SMITH, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8, 015009. Doi: 10.1088/1748-9326/8/1/015009
30. TIEMEYER, B., ALBIAC BORRAZ, E., AUGUSTIN, J., BECHTOLD, M., BEETZ, S., BEYER, C., DRÖSLER, M., EBLI, M., EICKENSCHIEDT, T., FIEDLER, S., FÖRSTER, C., FREIBAUER, A., GIEBELS, M., GLATZEL, S., HEINICHEN, J., HOFFMANN, M., HÖPER, H., JURASINSKI, G., LEIBER-SAUHEITL, K., PEICHL-BRAK, M., ROßKOPF, N., SOMMER, M. & ZEITZ, J. (2016). High emissions of greenhouse gases from grassland on peat and other organic soils. *Global Change Biology*, 22, 4134-4149. Doi: 10.1111/gcb.13303
31. ÜBEREINKOMMEN VON PARIS (2015). Zugriff am 16.05.2022 unter [https://www.bmu.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/paris\\_abkommen\\_bf.pdf](https://www.bmu.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf)
32. UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2021). Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2019. *Climate Change*, 43/2021. Umweltbundesamt. Zugriff am 27.04.2022 unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-6>
33. VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN [VDLUFA] (Hrsg.) (2014). Humusbilanzierung – Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA-Standpunkt, VDLUFA, Speyer. Zugriff am 04.05.2022 unter <https://vdlufa.org/Dokumente/Veroeffentlichungen/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>

---

<sup>i</sup> Dies war ein stetiger Prozess i.R. der Forschungsbegleitungsaktivitäten der AG Landwissenschaften an der Universität Potsdam (s.a. [www.unter-2-grad.de](http://www.unter-2-grad.de))

<sup>ii</sup> mit Nitrat oder Phosphor belastete Gebiete nach §13a der Düngeverordnung (DüV, 2021): [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_v\\_2017/BJNR130510017.html](https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html); aufgerufen am 09.05.2022

<sup>iii</sup> Aufzeichnungspflichten gemäß §10 DüV (2021); s.a. [https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/35715\\_Dokumentation\\_der\\_Düngungsmaßnahmen\\_gemäß\\_§\\_10\\_Absatz\\_2\\_DüV](https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/35715_Dokumentation_der_Düngungsmaßnahmen_gemäß_§_10_Absatz_2_DüV)

<sup>iv</sup> Sommerungen bzw. Sommerfrüchte sind Nutzpflanzen die im Frühling gesät/gepflanzt und im Herbst des gleichen Jahres geerntet werden. Winterungen bzw. Winterfrüchte werden hingegen im Herbst gesät/gepflanzt und überwintern auf dem Feld (s. a. <https://de.wikipedia.org/wiki/Sommerfrucht> und <https://de.wikipedia.org/wiki/Winterkultur>; aufgerufen am 09.05.2022)



---

## Anschrift der Autoren

Maret Ellinghausen (M. Sc.)

E-Mail: [maret.ellinghausen@ewetel.net](mailto:maret.ellinghausen@ewetel.net)

Prof. Dr. Hubert Wiggering

E-Mail: [hubert.wiggering@uni-potsdam.de](mailto:hubert.wiggering@uni-potsdam.de)

Institut für Umweltwissenschaften und Geographie

AG Landwissenschaften

Campus Golm

Haus 24, Raum 0.10

Karl-Liebnecht-Str. 24-25

14476 Potsdam-Golm