

# Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft

Handbuch



Handbuch

# Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft

Mathias Effenberger | Lisa Fröhlich | Katja Gödeke | Sven Grebe | Hans-Dieter Haenel |  
Anja Hansen | Uwe Häußermann | Stephanie Kätsch | Caroline Labonte | Ansgar Lasar |  
Aurelia Nyfeler-Brunner | Bernhard Osterburg | Petra Paffrath | Eike Poddey | Meike Schmehl |  
Harald Schmid | Martine Schraml | Sebastian Wulf | Bianca Zerhusen

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt



Bitte zitieren Sie diese Publikation bzw. Teile daraus wie folgt:

Arbeitsgruppe BEK (2021): Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft. Handbuch, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 2. Auflage. In: [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de).

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text das generische Maskulinum verwendet.

© KTBL 2021, 2., aktualisierte Auflage

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Telefon +49 6151 7001-0 | E-Mail [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de)

[vertrieb@ktbl.de](mailto:vertrieb@ktbl.de) | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189

[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

**Titelfoto**

© [www.landpixel.eu](http://www.landpixel.eu)



## Inhalt

1	Einleitung. . . . .	5
2	Betrachtungsrahmen. . . . .	6
3	Berücksichtigte Treibhausgasquellen . . . . .	8
3.1	Treibhausgasquellen im Pflanzenbau. . . . .	8
3.2	Treibhausgasquellen in der Tierhaltung. . . . .	11
3.3	Treibhausgasquellen in der Energiegewinnung aus Biogas . . . . .	14
4	Aufteilung der entstandenen Treibhausgasemissionen auf Haupt- und Nebenprodukte . . . . .	17
5	Treibhausgasflüsse zwischen Produktionsverfahren, Umgang mit Nebenprodukten und Bewertung von Humus-C-Veränderungen . . . . .	19
6	Ermittlung des produktbezogenen CO <sub>2</sub> -Fußabdrucks . . . . .	22
7	Anleitung zum Gebrauch der Parameterdatei. . . . .	24
8	Anleitung zum Gebrauch der Berechnungsbeispiele. . . . .	26
9	Zusammenfassung . . . . .	31
	Literatur. . . . .	32
	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>34</b>
	Erläuterungen zu den Treibhausgasquellen im Pflanzenbau . . . . .	34
	Erläuterungen zu den Treibhausgasquellen in der Tierhaltung. . . . .	37
	Erläuterungen zu den Treibhausgasquellen bei der Energiegewinnung aus Biogas . . . . .	41
	Erläuterungen zu Gutschriften für Nebenprodukte. . . . .	43
	Abkürzungen. . . . .	44
	Mitwirkende. . . . .	46
	Beteiligte Organisationen. . . . .	47



## 1 Einleitung

Um landwirtschaftliche Betriebe hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen zu beurteilen oder Potenziale zur Minderung von Emissionen deutlich zu machen, werden zunehmend einzelbetriebliche Bilanzierungsmodelle genutzt. Diese werden in unterschiedlicher Komplexität angeboten und verwendet. Die methodischen Ansätze in den grundlegenden Berechnungen, aber auch unterschiedliche Parameter in der Bewertung von Emissionsquellen können einen großen Einfluss auf das Berechnungsergebnis haben.

Mit dem Ziel, die Berechnungen einzelbetrieblicher Treibhausgasemissionen transparent und vergleichbar zu machen und dadurch ihre Akzeptanz zu verbessern, wird in dieser Veröffentlichung sowohl ein Standard für das methodische Vorgehen bei der Berechnung als auch der zu verwendenden Emissionsfaktoren und Parameter vorgeschlagen.

Entwickelt wurde der „Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen“ (BEK) von einer Arbeitsgruppe, zusammengestellt aus verschiedenen Organisationen mit Erfahrung in der Treibhausgasbilanzierung.

Der BEK umfasst dieses Handbuch, eine Parameterdatei als Web-Anwendung und eine Excel-Anwendung mit Berechnungsbeispielen (Tab. 1). In der Parameterdatei sind die Emissionsfaktoren (EF) und Begleitwerte hinterlegt, die für die Berechnungen benötigt werden. Ein Datenexport der Parameter in Excel ist möglich. Anhand von Berechnungsbeispielen für die Erzeugung von Mais-silage, Milch und Biogas können die notwendigen Rechenschritte nachvollzogen werden. Alle drei Module werden über die KTBL-Webseite ([www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)) zur Verfügung gestellt.

Der BEK versetzt Interessenten in die Lage, selbst Treibhausgasberechnungen durchzuführen, eigene EDV-Programme nach dem BEK zu entwickeln oder bestehende EDV-Programme mit dem BEK abzugleichen. Damit können Klimaschutzberatungen auf landwirtschaftlichen Betrieben unterstützt werden.

Die erste Version des BEK ist 2016 erschienen. In der vorliegenden aktualisierten Version sind der Stand der Emissionsfaktoren überprüft, aktualisiert und Anpassungen in der Methodik vorgenommen worden. Kernpunkte der methodischen Anpassungen sind die Aufteilung der Lachgasemissionen zwischen Pflanzenbau, Tierhaltung und Biogaserzeugung (siehe Ausführungen zu den Emissionen  $P_{F3}$ ,  $P_{F7}$ ,  $T_{W5}$ ,  $T_{W6}$  und  $BG_A9$ ) und die Anrechnung der Vorratsänderung von Humuskohlenstoff von Grünland (siehe Ausführung zur Emission  $P_{F11}$ ). Die Berechnungsbeispiele und die Parameterdatei wurden ebenfalls entsprechend aktualisiert.

Tab. 1: Module des „Berechnungsstandard einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK)“

Modul	Online
Handbuch mit Beschreibung des Vorgehens und der Berechnungsmethodik	<a href="https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Handbuch.pdf">https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Handbuch.pdf</a>
Parameterdatei als Web-Anwendung (Emissionsfaktoren und Begleitwerte)	<a href="https://daten.ktbl.de/bek/">https://daten.ktbl.de/bek/</a>
Excel-Dateien mit Berechnungsbeispielen für die Produktion von Milch, Silomais und Biogas	<a href="https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Rechenbeispiel-Milchvieh.xls">https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Rechenbeispiel-Milchvieh.xls</a>
	<a href="https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Rechenbeispiel-Silomais.xls">https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Rechenbeispiel-Silomais.xls</a>
	<a href="https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Rechenbeispiel-Biogas.xls">https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Rechenbeispiel-Biogas.xls</a>



## 2 Betrachtungsrahmen

In der Landwirtschaft werden folgende klimawirksame Gase direkt oder indirekt emittiert und in die vorliegende Betrachtung mit eingeschlossen: Methan ( $\text{CH}_4$ ), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ). Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) wirkt nicht direkt als Treibhausgas (THG), kann jedoch nach Deposition indirekt zu Lachgasemissionen führen.

Für die Berechnung von Treibhausgasemissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion unterscheidet man zwischen sogenannten direkten Emissionen, die unmittelbar in einem Prozess anfallen, indirekten Emissionen, die durch Umsetzungen von emittierten Substanzen entstehen, und vorgelagerten Emissionen aus der Herstellung von Betriebsmitteln. In dem hier vorgelegten Standard werden folgende Emissionsquellen erfasst:

Direkte Emissionen:

- $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen, z.B. aus N-Einträgen durch die Düngung
- $\text{CH}_4$ -Emissionen, z.B. aus enterischer Fermentation (Verdauung der Tiere), Güllelagerung
- $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger
- $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Freisetzung langfristig gespeicherter organischer Substanz, z.B. Humusabbau bei Grünlandumbruch
- $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Anwendung von Kalk und harnstoffhaltigen Mineraldüngern

Indirekte Emissionen:

- $\text{N}_2\text{O}$  aus der Deposition von  $\text{NH}_3$ . Ammoniak verbleibt in der Regel nur kurze Zeit in der Atmosphäre. Die Deposition von  $\text{NH}_3$  führt zu N-Einträgen in Ökosysteme und somit zu  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen.
- $\text{N}_2\text{O}$  aus N-Auswaschung. Die Auswaschung von Stickstoff als Nitrat führt zu N-Einträgen in die wassergesättigte Bodenzone und in der Folge zu  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen.

Vorgelagerte Emissionen (auch: „THG-Rucksack“):

- THG-Emissionen aus der Bereitstellung von Betriebsmitteln (einschließlich Maschinen) werden in der Regel als  $\text{CO}_2$ -Äquivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) zusammengefasst. Zum Großteil resultieren diese aus dem Energiebedarf für die Herstellung, können aber auch produktionsbedingte Emissionen anderer Treibhausgase enthalten, wie  $\text{N}_2\text{O}$  aus der Herstellung nitrathaltiger Düngemittel.

Nicht berücksichtigt werden  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Umsetzung kurzfristig gespeicherter organischer Substanzen, beispielsweise  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Atmung von Tieren oder aus der Verbrennung von Biogas. Hier wird davon ausgegangen, dass die freigesetzte Menge  $\text{CO}_2$  derjenigen Menge entspricht, die beim Wachstum der Futter- bzw. Energiepflanzen aus der Atmosphäre aufgenommen wurde.

Die bei der landwirtschaftlichen Erzeugung freigesetzten Mengen an klimawirksamen Gasen werden – wie auch für andere Wirtschaftssektoren üblich – in  $\text{CO}_2$ -Äquivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) umgerechnet.  $\text{CO}_2\text{e}$  dienen als Maßeinheit, die den unterschiedlichen Einfluss der verschiedenen Treibhausgase auf die Erderwärmung berücksichtigt. Dies erfolgt mittels des sogenannten Treibhauspotenzials (engl. global warming potential, GWP) in Relation zu  $\text{CO}_2$ . BEK stützt sich auf die Treibhauspotenziale aus IPCC (2007) mit einem Zeithorizont von 100 Jahren ( $\text{GWP}_{100}$ ), die auch in der aktuellen offiziellen Treibhausgas-Berichterstattung verwendet werden (Haenel et al. 2020, S. 6,

UBA 2020, S. 89). Wegen ihrer atmosphärischen Verweilzeit und physikalischen Eigenschaften gelten  $N_2O$  als 298- und  $CH_4$  als 25-mal so klimawirksam wie  $CO_2$  innerhalb eines Zeitraums von 100 Jahren (IPCC 2007, S. 33).

Für die Treibhausgasbilanzierung kann man einen landwirtschaftlichen Betrieb als eine Einheit betrachten. Häufig ist es jedoch sinnvoll, die Bilanzierung auf die einzelnen Betriebszweige zu beziehen. Diese Trennung in Betriebszweige erleichtert es, einzelbetriebliche Potenziale zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz konkret zu lokalisieren.

Im BEK wird daher zwischen Pflanzenbau, Tierhaltung und Energiegewinnung – Vergärung von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen zu Biogas – unterschieden. Andere erneuerbare Energieträger wie Photovoltaikstrom, Windstrom, Wasserkraftstrom und Biodiesel sind nicht Gegenstand des BEK.

Bei der Einzelbetrachtung der Betriebszweige müssen die Schnittstellen zwischen den Betriebszweigen klar definiert sein, und es ist sicherzustellen, dass keine Bilanzbrüche entstehen. Außerdem ist es nötig, die in den Betriebszweigen entstehenden Haupt- und Nebenprodukte deutlich voneinander abzugrenzen und zu bewerten. Nicht nur die Hauptprodukte, wie beispielsweise Milch oder Getreide, sondern auch die Nebenprodukte müssen mit in die Bilanz einbezogen werden. Diese Nebenprodukte können entweder den Betrieb verlassen, z.B. Schlachtkühe, oder in einen anderen Betriebszweig wechseln, z.B. Wirtschaftsdünger. Abbildung 1 veranschaulicht die Treibhausgasbilanzierung nach BEK in komprimierter Form.



Abb. 1: Systematik der Treibhausgasbilanzierung nach BEK (© Agru BEK)



### 3 Berücksichtigte Treibhausgasquellen

Für jede landwirtschaftliche Treibhausgasquelle werden im BEK die jeweils relevanten Gase (z.B.  $N_2O$ ) und die verursachenden Stoffmengen (z.B. kg N) identifiziert. Die Emissionen werden dann durch Multiplikation der Stoffmengen mit den entsprechenden Emissionsfaktoren ermittelt und in  $CO_2e$  umgerechnet. So führt zum Beispiel der im Mineraldünger enthaltene Stickstoff zu  $N_2O$ -Emissionen aus dem Boden. Die ausgebrachte Mineraldüngeremenge wird mit den Emissionsfaktoren und dem Treibhauspotenzial von  $N_2O$  ( $GWP_{100} = 298 \text{ kg } CO_2e/kg$ ) aus der Parameterdatei multipliziert und ergibt die Menge an  $CO_2e$  aus dieser Emissionsquelle.

Stehen mehrere Teilprozesse in einer direkten Abfolge, berücksichtigt die Berechnungsmethodik des BEK die Massenbilanz, d. h., eine Stoffmenge, die im vorhergehenden Teilprozess durch Emission verloren gegangen ist, kann im aktuellen Teilprozess nicht mehr zur Emission beitragen. So verringert sich in der Tierhaltung die Stickstoffmenge, aus der sich Emissionen von  $N_2O$  und  $NH_3$  speisen, und zwar von der tierischen Ausscheidung über die Teilprozesse „Stall“ und „Lager“ bis hin zur resultierenden Stickstoffmenge im auszubringenden Wirtschaftsdünger.

#### 3.1 Treibhausgasquellen im Pflanzenbau

Für Verfahren im Pflanzenbau (P) sind in Tabelle 2 die Quellen für direkte und indirekte Treibhausgasemission vom Feld (Index „F“) sowie für vorgelagerte Emissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz (Index „B“) aufgeführt. Die Zahlen kennzeichnen die laufende Nummer der Emissionsquelle.

Tab. 2: Treibhausgasquellen im Pflanzenbau

Lfd. Nr.	Emissionsart und -quelle
<b>Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen von Feld und Grünland</b>	
P <sub>F</sub> 1	$N_2O$ -Emissionen aus $NH_3$ -Verlusten bei Düngung mit Wirtschaftsdüngern <sup>1)</sup>
P <sub>F</sub> 2	$N_2O$ -Emissionen aus $NH_3$ -Verlusten bei Düngung mit Mineraldüngern
P <sub>F</sub> 3	$N_2O$ -Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern <sup>1)</sup>
P <sub>F</sub> 4	$N_2O$ -Emissionen aus der Düngung mit Mineraldüngern
P <sub>F</sub> 5	$N_2O$ -Emissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen sowie aus Stroh- und Gründüngung
P <sub>F</sub> 6	$N_2O$ -Emissionen aus anzurechnendem Stickstoff aus organischer Düngung des Vorjahres
P <sub>F</sub> 7	$N_2O$ -Emissionen aus mineraldüngerwirksamen N-Ausscheidungen aus Beweidung
P <sub>F</sub> 8	$CO_2$ -Emissionen aus Kalk- und Harnstoffdüngung
P <sub>F</sub> 9	$CO_2$ -Emissionen bzw. -Bindung aus Humusabbau bzw. -aufbau der angebauten Fruchtart
P <sub>F</sub> 10	$N_2O$ -Emissionen aus Humusabbau der angebauten Fruchtart
P <sub>F</sub> 11	$CO_2$ -Emissionen bzw. -Bindung aus Grünland- bzw. Ackerlandumwandlung
P <sub>F</sub> 12	$N_2O$ -Emissionen aus Grünlandumwandlung in Ackerland
P <sub>F</sub> 13	$CO_2e$ -Emissionen aus Humusabbau bei der Bewirtschaftung organischer Böden

Fortsetzung der Tabelle nächste Seite, Fußnoten am Ende der Tabelle

Lfd. Nr.	Emissionsart und -quelle
<b>Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz</b>	
P <sub>B</sub> 1	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Mineraldüngerbereitstellung
P <sub>B</sub> 2	CO <sub>2</sub> e-Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung aus Wirtschaftsdüngereinsatz <sup>1)</sup>
P <sub>B</sub> 3	CO <sub>2</sub> e-Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung der Vorfrucht und Ausscheidungen auf der Weide
P <sub>B</sub> 4	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Saatgutbereitstellung
P <sub>B</sub> 5	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Pflanzenschutzmittelbereitstellung
P <sub>B</sub> 6	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Energiebereitstellung und -konversion
P <sub>B</sub> 7	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Maschinenherstellung

P = Pflanzenbau; F = Feld; B = Betriebsmitteleinsatz

<sup>1)</sup> Innerhalb des BEK schließt der Begriff „Wirtschaftsdünger“ auch andere organische Dünger, z. B. Gärrest, Kompost und Klärschlamm, ein.

Für den Pflanzenbau können im Berechnungsbeispiel „Silomaisanbau“ für alle Treibhausgasquellen die einzelnen Rechenschritte nachvollzogen werden (siehe Tab. 1). Dort befinden sich auch weitere Hinweise zur Fundstelle der benötigten Daten und deren Anwendung. Tabelle 3 zeigt den detaillierten Rechenweg am Beispiel der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern (P<sub>F</sub>3). Neben dem Rechenweg wird in der rechten Spalte der Tabelle die Herkunft der Daten ausgewiesen. Für die ausgebrachte Güllemenge und deren Stickstoffgehalt nach Abzug der Stall- und Lagerverluste sollte ein betriebsspezifischer Wert verwendet werden. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen werden auf Basis der gesamten ausgebrachten Stickstoffmenge berechnet. Der Anteil der N<sub>2</sub>O-Emissionen, der sich auf den von der Pflanze im Jahr der Ausbringung genutzten Stickstoff bezieht, wird dem Pflanzenbau zugerechnet. Weitere 10 % der ausgebrachten Stickstoffmenge werden gemäß der Düngeverordnung – zuletzt geändert am 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) – der Folgefrucht zugewiesen. Der restliche Anteil der N<sub>2</sub>O-Emissionen wird der Tierhaltung (siehe Abschnitt 3.2) angelastet. Der von der Pflanze genutzte Gülle-N wird in Anlehnung an die Düngeverordnung (DüV 2020, §3 Absatz 5 Nummer 2) bestimmt. Hierfür gilt die in Anlage 3 der DüV ausgewiesene Mindestwirksamkeit, mindestens jedoch der ermittelte Gehalt an Ammonium-Stickstoff (engl. total ammonia nitrogen, TAN). Daraus ergeben sich für das in Tabelle 3 aufgeführte Beispiel bei einer Mindestwirksamkeit von 60 % je Hektar 102 kg N-Mineraldüngeräquivalent (N-MDÄ), die mit der Gülle ausgebracht werden. Für den mineraldüngerwirksamen Stickstoff wird der laut Parameterdatei vorgeschlagene Emissionsfaktor in Höhe von 0,01225 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N angesetzt. Dieser Emissionsfaktor fasst die direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen in die Luft und die indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen durch Auswaschung zusammen. Nach Umrechnung des N<sub>2</sub>O-N in N<sub>2</sub>O und Anwendung des Umrechnungsfaktors GWP<sub>100</sub> von N<sub>2</sub>O in CO<sub>2</sub>e werden in diesem Beispiel in P<sub>F</sub>3 585 kg CO<sub>2</sub>e/ha durch N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern verursacht.

Tab. 3: Berechnungsbeispiel für die Treibhausgasquelle P<sub>F3</sub> „N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern“ im Pflanzenbau (Beispiel Rindergülle)

Rechenschritt	Wert	Einheit	Datenherkunft
Ausgebrachte Wirtschaftsdüngeremenge	34,00	m <sup>3</sup> /ha	Betrieb
· Stickstoffgehalt des Wirtschaftsdüngers	5,00	kg N/m <sup>3</sup>	Betrieb
= Ausgebrachter Wirtschaftsdünger-N	170,00	kg N/ha	Ergebnis
· Mineraldüngerwirksamkeit des ausgebrachten Wirtschaftsdünger-N	60,00	%	DüV
= MDÄ des ausgebrachten Wirtschaftsdünger-N	102,00	kg N/ha	Ergebnis
N <sub>2</sub> O EF für düngewirksamen Wirtschaftsdünger-N	0,01225	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	Parameterdatei
· Umrechnungsfaktor	1,57	kg N <sub>2</sub> O/kg N <sub>2</sub> O-N	Parameterdatei
· Umrechnungsfaktor GWP <sub>100</sub>	298,00	kg CO <sub>2</sub> e/kg N <sub>2</sub> O	Parameterdatei
= CO <sub>2</sub> e	584,59	kg CO <sub>2</sub> e/ha	Ergebnis

DüV = Düngeverordnung; EF = Emissionsfaktor; GWP = Treibhausgaspotenzial; MDÄ = Mineraldüngeräquivalent

Auch bei der Düngung mit Gärrest, Kompost und Klärschlamm werden die N<sub>2</sub>O-Emissionen, die nicht auf den für die betrachtete Acker- und die Folgefrucht verfügbaren Stickstoff zurückzuführen sind, der liefernden Stelle angelastet. In diesem Fall sind dies die Biogas-, Klär- oder Kompostierungsanlage. Für die Biogasanlage gilt, dass bei der Vergärung von Wirtschaftsdünger ein Anteil dieser Emissionen bereits in der Tierhaltung aufgeführt ist und nicht in die Bilanz der Biogasanlage übernommen wird.

In der ersten Version des BEK wurden die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der organischen Düngung nicht zwischen dem Pflanzenbau und der liefernden Stelle aufgeteilt. In die Berechnung ging alleinig die mineraldüngerwirksame Stickstoffmenge ein. Dies hatte zur Folge, dass der organische Stickstoff, der nicht unmittelbar düngewirksam ist, nicht in die Ermittlung der N<sub>2</sub>O-Emissionen einfluss. Im aktualisierten Ansatz wurde dieser Mangel behoben.

Im Gegensatz zu den N<sub>2</sub>O-Emissionen werden die NH<sub>3</sub>-Emissionen bei der Ausbringung von organischem Dünger und die daraus entstehenden indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen vollständig dem Pflanzenbau zugerechnet.

In Tabelle 4 sind am Beispiel der Silomaiszerzeugung die berechneten Treibhausgasemissionen für die einzelnen Quellen aufgeführt. Die dazu vorgenommenen Rechenoperationen sind in dem Berechnungsbeispiel zum Silomaisanbau (siehe Tab. 1) einzusehen. Ergänzende Erläuterungen zu einzelnen Treibhausgasquellen des Pflanzenbaus finden sich im Anhang.

Tab. 4: Treibhausgasemissionen am Beispiel Silomaisanbau (13.500 kg/ha TM-Ertrag, 34 m<sup>3</sup>/ha Rindergülle)

Emissionsart und -quelle	Wert kg CO <sub>2</sub> e/ha
<b>Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen aus dem Feld</b>	
P <sub>F</sub> 1: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei der Düngung mit Wirtschaftsdüngern	95,13
P <sub>F</sub> 2: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei Düngung mit Mineraldüngern	3,37
P <sub>F</sub> 3: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern	584,59
P <sub>F</sub> 4: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Düngung mit Mineraldüngern	103,16
P <sub>F</sub> 5: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen sowie aus Stroh- und Gründüngung	119,15
P <sub>F</sub> 6: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus anzurechnendem Stickstoff aus organischer Düngung des Vorjahres	57,31
P <sub>F</sub> 7: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus mineraldüngerwirksamen N-Ausscheidungen aus Beweidung	0,00
P <sub>F</sub> 8: CO <sub>2</sub> -Feldemissionen aus Kalk- und Harnstoffdüngung	158,00
P <sub>F</sub> 9: CO <sub>2</sub> -Emissionen bzw. -Bindung aus Humusabbau bzw. -aufbau der angebauten Fruchtart	2.936,00
P <sub>F</sub> 10: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus dem Humusabbau der angebauten Fruchtart	416,82
P <sub>F</sub> 11: CO <sub>2</sub> -Emissionen bzw. -Bindung bei Grünland- bzw. Ackerlandumwandlung	0,00
P <sub>F</sub> 12: N <sub>2</sub> O-Emissionen bei Grünlandumwandlung in Ackerland	0,00
P <sub>F</sub> 13: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Humusabbau bei der Bewirtschaftung organischer Böden	0,00
<b>P<sub>F</sub>1 bis P<sub>F</sub>13: Summe Treibhausgasemissionen aus dem Feld</b>	<b>4.473,54</b>
<b>Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz</b>	
P <sub>B</sub> 1: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Mineraldüngerbereitstellung	92,20
P <sub>B</sub> 2: CO <sub>2</sub> e-Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung aus Wirtschaftsdüngereinsatz	517,48
P <sub>B</sub> 3: CO <sub>2</sub> e-Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung der Vorfrucht und Ausscheidungen auf der Weide	0,00
P <sub>B</sub> 4: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Saatgutbereitstellung	64,20
P <sub>B</sub> 5: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Pflanzenschutzmittelbereitstellung	11,64
P <sub>B</sub> 6: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Energiebereitstellung und -konversion	361,20
P <sub>B</sub> 7: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Maschinenherstellung	106,80
<b>P<sub>B</sub>1 bis P<sub>B</sub>7: Summe Treibhausgasemissionen aus Betriebsmitteleinsatz</b>	<b>1.153,52</b>

P = Pflanzenbau; F = Feld; B = Betriebsmitteleinsatz

### 3.2 Treibhausgasquellen in der Tierhaltung

Für die Tierhaltung (T) werden in Tabelle 5 die Quellen für die THG-Emissionen aus Verdauung (Index „V“), die direkten und indirekten Emissionen aus Wirtschaftsdüngern (Index „W“) sowie für die vorgelagerten Emissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz (Index „B“) aufgeführt. Die Zahlen kennzeichnen die laufende Nummer der Emissionsquelle.

Tab. 5: Treibhausgasquellen in der Tierhaltung

Lfd. Nr.	Emissionsart und -quelle
<b>Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen aus enterischer Fermentation und Wirtschaftsdünger inklusive treibhausgasrelevanter NH<sub>3</sub>-Emissionen</b>	
T <sub>V</sub> 1	CH <sub>4</sub> -Emissionen aus enterischer Fermentation
T <sub>W</sub> 1	NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Stall/befestigtem Auslauf
T <sub>W</sub> 2	NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlager
T <sub>W</sub> 3	NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Weidehaltung
T <sub>W</sub> 4	N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager
T <sub>W</sub> 5	N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Weidehaltung
T <sub>W</sub> 6	N <sub>2</sub> O-Emissionen des nicht mineraldüngerwirksamen Stickstoffs
T <sub>W</sub> 7	CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlager
T <sub>W</sub> 8	CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Ausscheidungen auf der Weide
<b>Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz</b>	
T <sub>B</sub> 1	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Tierzugängen
T <sub>B</sub> 2	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Kraftfuttermittelbereitstellung
T <sub>B</sub> 3	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Grundfuttermittelbereitstellung
T <sub>B</sub> 4	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Mineralfutterbereitstellung
T <sub>B</sub> 5	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Einstreubereitstellung
T <sub>B</sub> 6	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Wassereinsatz (Tränke, Reinigung)
T <sub>B</sub> 7	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Energiebereitstellung und -konversion
T <sub>B</sub> 8	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Maschinenherstellung

T = Tierhaltung; V = Verdauung (enterische Fermentation); W = Wirtschaftsdünger; B = Betriebsmitteleinsatz

Für die Tierhaltung sind im Berechnungsbeispiel zur Milchviehhaltung für alle Treibhausgasquellen die einzelnen Rechenschritte nachzuvollziehen (siehe Tab. 1). Dort befinden sich auch weitere Hinweise zur Fundstelle der benötigten Daten und deren Anwendung.

Tabelle 6 zeigt den detaillierten Rechenweg am Beispiel der CO<sub>2</sub>e-Emissionen aus dem Energieeinsatz (T<sub>B</sub>7). Neben dem Rechenweg wird in der rechten Spalte der Tabelle die Herkunft der Daten ausgewiesen. Den Stromverbrauch von 320 kWh/Kuh kann der Landwirt aus der Jahresstromabrechnung ermitteln. Beim Bezug von herkömmlichem Strom wird der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix aus der Parameterdatei verwendet. Für die Futtevorlage und Reinigungsarbeiten werden zusätzlich jährlich 30 l Diesel/Kuh benötigt. Der Dieselverbrauch für die Erzeugung des Grundfutters vom Anbau bis zur Einlagerung wird bereits beim Pflanzenbau berücksichtigt und darf hier nicht noch einmal eingerechnet werden. Der Emissionsfaktor für den Dieselverbrauch besteht aus zwei Komponenten: Erstens werden bei der Herstellung des Diesels Treibhausgasemissionen verursacht und zweitens entstehen Emissionen bei dessen Verbrennung. Aus praktischen Gründen werden im BEK beide Positionen zusammengefasst und dem Betriebsmitteleinsatz zugeschlagen. Beide Positionen zusammen betragen laut Emissionsfaktoren in der Parameterdatei 3 kg CO<sub>2</sub>e/l Dieselverbrauch. In der Summe betragen die Treibhausgasemissionen aus dem Energieeinsatz somit gerundet 242 kg CO<sub>2</sub>e/Kuh.

Tab. 6: Berechnungsbeispiel für die Treibhausgasquelle T<sub>B7</sub> „CO<sub>2</sub>e-Emissionen aus Energieeinsatz“

Rechenschritt	Wert	Einheit	Datenherkunft
<b>Strom</b>			
Stromverbrauch	320,00	kWh/Kuh	Betrieb
· Emissionsfaktor Strommix Deutschland	0,474	kg CO <sub>2</sub> e/kWh	Parameterdatei
= CO <sub>2</sub> e Strom	151,68	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh	Ergebnis
<b>Diesel</b>			
Dieserverbrauch	30,00	l Diesel/Kuh	Betrieb
· Emissionsfaktor Diesel	3,01	kg CO <sub>2</sub> e/l Diesel	Parameterdatei
= CO <sub>2</sub> e Diesel	90,39	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh	Ergebnis
= CO <sub>2</sub> e Energieeinsatz (Strom + Diesel)	242,07	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh	Ergebnis

In Tabelle 7 sind am Beispiel der Milcherzeugung die berechneten Treibhausgasemissionen für die einzelnen Quellen aufgeführt. Die Rechenschritte sind im entsprechenden Beispiel einzusehen. Ergänzende Erläuterungen zu einzelnen Treibhausgasquellen der Tierhaltung befinden sich im Anhang.

Tab. 7: Treibhausgasemissionen am Beispiel Milcherzeugung (9.200 kg ECM/(Kuh · a))

Emissionsart und -quelle	Wert kg CO <sub>2</sub> e/Kuh
<b>Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen aus enterischer Fermentation und Wirtschaftsdünger</b>	
T <sub>V1</sub> : CH <sub>4</sub> -Emissionen aus enterischer Fermentation	3.595,15
T <sub>W1</sub> : NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Stall/planbefestigtem Auslauf	48,29
T <sub>W2</sub> : NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlager	8,86
T <sub>W3</sub> : NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Weidehaltung	2,81
T <sub>W4</sub> : N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager	107,86
T <sub>W5</sub> : N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Weidehaltung	54,13
T <sub>W6</sub> : N <sub>2</sub> O-Emissionen des nicht mineraldüngerwirksamen Stickstoffs	173,79
T <sub>W7</sub> : CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlager	885,96
T <sub>W8</sub> : CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Ausscheidungen auf der Weide	5,97
T <sub>V1</sub> , T <sub>W1</sub> bis T <sub>W8</sub> : Summe THG aus enterischer Fermentation und Wirtschaftsdünger	4.882,82

Fortsetzung der Tabelle nächste Seite, Fußnoten am Ende der Tabelle



Emissionsart und -quelle	Wert kg CO <sub>2</sub> e/Kuh
<b>Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz</b>	
T <sub>B</sub> 1.1: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Tierzugängen	1.995,00
T <sub>B</sub> 1.2: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Bestandsveränderungen	0,00
T <sub>B</sub> 2.1: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Kraftfuttermittelbereitstellung (Selbsterzeugung)	0,00
T <sub>B</sub> 2.2: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Kraftfuttermittelbereitstellung (Zukauf)	2.101,40
T <sub>B</sub> 3.1: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Grundfuttermittelbereitstellung (Selbsterzeugung)	1.980,00
T <sub>B</sub> 3.2: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Grundfuttermittelbereitstellung (Zukauf)	235,00
T <sub>B</sub> 4: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Mineralfutterbereitstellung	75,00
T <sub>B</sub> 5: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Einstreubereitstellung	105,00
T <sub>B</sub> 6: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Wassereinsatz	8,00
T <sub>B</sub> 7: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Energiebereitstellung und Konversion	242,07
T <sub>B</sub> 8: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Maschinenherstellung	26,55
T <sub>B</sub> 1 bis T <sub>B</sub> 8: Summe THG aus Betriebsmitteleinsatz	6.768,02

T = Tierhaltung; V = Verdauung (enterische Fermentation); W = Wirtschaftsdünger; B = Betriebsmitteleinsatz

### 3.3 Treibhausgasquellen in der Energiegewinnung aus Biogas

In der Biogaserzeugung (BG) werden die in Tabelle 8 aufgeführten direkten und indirekten Treibhausgasemissionen der Anlage (Index „A“) sowie die vorgelagerten Emissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz (Index „B“) berücksichtigt. Die Zahlen kennzeichnen die laufende Nummer der Emissionsquellen.

Tab. 8: Treibhausgasquellen bei der Energiegewinnung aus Biogas

Lfd. Nr.	Emissionsart und -quelle
<b>Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen aus der Biogasanlage</b>	
BG <sub>A</sub> 1	CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngervorlagerung an der Biogasanlage
BG <sub>A</sub> 2	CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Gärbehältern
BG <sub>A</sub> 3	CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Gärrestlagerung
BG <sub>A</sub> 4	CH <sub>4</sub> -Emissionen aus BHKW-Schlupf oder Biomethanaufbereitung
BG <sub>A</sub> 5	N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Wirtschaftsdüngervorlagerung an der Biogasanlage
BG <sub>A</sub> 6	NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngervorlagerung an der Biogasanlage
BG <sub>A</sub> 7	N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Gärrestlagerung
BG <sub>A</sub> 8	NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Gärrestlagerung
BG <sub>A</sub> 9	N <sub>2</sub> O-Emissionen des nicht mineraldüngerwirksamen Stickstoffs aus der Vergärung nachwachsender Rohstoffe

Fortsetzung der Tabelle nächste Seite, Fußnoten am Ende der Tabelle

Lfd. Nr.	Emissionsart und -quelle
<b>Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz</b>	
BG <sub>B</sub> 1	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Maschinenherstellung
BG <sub>B</sub> 2	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Biogasanlagenherstellung
BG <sub>B</sub> 3	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Energiebereitstellung und -konversion
BG <sub>B</sub> 4	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Motorölverbrauch
BG <sub>B</sub> 5	CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Substratbereitstellung

BG = Biogaserzeugung; A = Anlage; B = Betriebsmitteleinsatz

Im Berechnungsbeispiel sind für alle Emissionsquellen der Energiegewinnung aus Biogas die einzelnen Rechenschritte nachvollziehbar aufgeführt (siehe Tab. 1). Dort befinden sich auch weitere Hinweise zur Fundstelle der benötigten Daten und deren Anwendung. Tabelle 9 zeigt den detaillierten Rechenweg am Beispiel der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem Gärrestlager (BG<sub>A</sub>7). Neben dem Rechenweg wird in der rechten Spalte der Tabelle die Datenherkunft ausgewiesen. Die mit den Substraten in die Anlage eingebrachte Stickstoffmenge bildet die Grundlage für die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Gärrestlagerung. Nach den Grundsätzen der Massenbilanz werden die in BG<sub>A</sub>5 und BG<sub>A</sub>6 ermittelten Stickstoffverluste von der eingebrachten Stickstoffmenge abgezogen. Es wird davon ausgegangen, dass im Zuge des Gärprozesses in der Biogasanlage keine Stickstoffverluste auftreten. Die verbleibende Stickstoffmenge wird mit dem Emissionsfaktor aus der Parameterdatei multipliziert. Im Beispiel wird der Gärrest in einem offenen Behälter gelagert, sodass der Emissionsfaktor laut Parameterdatei 0,005 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N beträgt. Die Treibhausgasbelastung durch die offene Gärrestlagerung beträgt in der Abrechnungsperiode also 83.509 kg CO<sub>2</sub>e.

Tab. 9: Berechnungsbeispiel für die Treibhausgasquelle BG<sub>A</sub>7 „N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Gärrestlagerung“

Rechenschritt	Wert	Einheit	Datenherkunft
N-Menge in Rindergülle bei Anlieferung	9.873,60	kg N	BG <sub>A</sub> 5
- N-Verluste durch N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Vorlager	4,94	kg N <sub>2</sub> O-N	BG <sub>A</sub> 5
- N-Verluste durch NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Vorlager	20,44	kg NH <sub>3</sub> -N	BG <sub>A</sub> 6
= N-Menge bei Eintritt der Gülle in den Gärbehälter	9.848,22	kg N	Ergebnis
Menge an Maissilage bei Anlieferung	5.500,00	t FM	Betrieb
· N-Gehalt in Maissilage	4,70	kg N/t FM	Betrieb, DüV
= N-Menge bei Eintritt in den Gärbehälter	25.850,00	kg N	Ergebnis
= Gesamt-N-Menge bei Eintritt ins Gärrestlager	35.698,22	kg N	Ergebnis
· N <sub>2</sub> O-N-Emissionsfaktor für Gärrestlagerung	0,005	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	Parameterdatei
= N <sub>2</sub> O-N-Emissionen aus Gärrestlagerung	178,49	kg N <sub>2</sub> O-N	Ergebnis
· Umrechnungsfaktor	1,57	kg N <sub>2</sub> O/kg N <sub>2</sub> O-N	Parameterdatei
· Umrechnungsfaktor GWP <sub>100</sub>	298,00	kg CO <sub>2</sub> e/kg N <sub>2</sub> O	Parameterdatei
= CO <sub>2</sub> e	83.508,86	kg CO <sub>2</sub> e	Ergebnis

GWP = Treibhauspotenzial

In Tabelle 10 sind für die Biogaserzeugung die berechneten Treibhausgasemissionen für die einzelnen Quellen aufgeführt. Die Rechenschritte sind der Beispielrechnung zu entnehmen. Ergänzende Erläuterungen zu einzelnen Treibhausgasquellen der Energiegewinnung aus Biogas finden sich im Anhang.

Tab. 10: Treibhausgasemissionen der Biogaserzeugung

Emissionsart und -quelle	Wert kg CO <sub>2</sub> e
BG <sub>A</sub> 1: CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngervorlagerung	11.757
BG <sub>A</sub> 2: CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Gärbehältern	113.148
BG <sub>A</sub> 3: CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Gärrestlagerung	54.558
BG <sub>A</sub> 4: CH <sub>4</sub> -Emissionen aus BHKW-Schlupf oder Biomethanaufbereitung	112.016
BG <sub>A</sub> 5: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Wirtschaftsdüngervorlagerung	2.310
BG <sub>A</sub> 6: NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngervorlagerung	96
BG <sub>A</sub> 7: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Gärrestlagerung	83.509
BG <sub>A</sub> 8: NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Gärrestlagerung	4.509
BG <sub>A</sub> 9: N <sub>2</sub> O-Emissionen des nicht mineraldüngerwirksamen Stickstoffs	43.024
<b>BG<sub>A</sub>1 bis BG<sub>A</sub>9: Summe THG aus Anlageemissionen</b>	<b>424.927</b>
BG <sub>B</sub> 1: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Maschinenherstellung	1.682
BG <sub>B</sub> 2: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Biogasanlagenherstellung	37.500
BG <sub>B</sub> 3: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Energiebereitstellung und Konversion	121.659
BG <sub>B</sub> 4: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Motorölverbrauch	3.612
BG <sub>B</sub> 5: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus der Substratbereitstellung	1.009.878
<b>BG<sub>B</sub>1 bis BG<sub>B</sub>5: Summe THG aus Betriebsmitteleinsatz</b>	<b>1.174.331</b>

BG = Biogaserzeugung; A = Anlage; B = Betriebsmitteleinsatz

#### 4 Aufteilung der entstandenen Treibhausgasemissionen auf Haupt- und Nebenprodukte

In der landwirtschaftlichen Erzeugung fallen neben dem Hauptprodukt in der Regel auch Nebenprodukte an. Beispielsweise wird im Getreideanbau neben dem Korn auch Stroh erzeugt und in der Milchkuhhaltung fallen neben der Milch zusätzlich Fleisch und Wirtschaftsdünger an. Die in der Produktion entstandenen Treibhausgasemissionen sind auf die Haupt- und Nebenprodukte aufzuteilen. Dazu gibt es unterschiedliche Herangehensweisen. Von Allokation spricht man, wenn die Emissionen des gesamten Prozesses nach einem bestimmten Schlüssel auf die Produkte aufgeteilt werden. Dies kann entsprechend der Produktmassen (physikalische Allokation, z.B. bei gleicher Produktionsmenge von A und B erhalten beide jeweils 50 % der Emissionen) oder auch anhand der am Markt erzielbaren Preise erfolgen (monetäre Allokation, z.B. Produkt A erzielt doppelt so hohe Erlöse wie B und erhält dementsprechend 2/3 der Emissionen).

Alternativ kann für das Nebenprodukt eine Emissionsgutschrift erteilt werden, und zwar in Höhe derjenigen Emissionen, die für die gleiche Menge des Nebenproduktes aus einem alternativen Produktionsverfahren anfallen würden (z.B. Emissionsgutschrift für Fleisch aus der Milchkuhhaltung entsprechend der Emissionen, die in der Fleischrinderhaltung entstehen würden). Die Treibhausgasbelastung für das Hauptprodukt errechnet sich bei dieser sogenannten Ersatzwertmethode aus der Differenz von verursachten Treibhausgasemissionen und Treibhausgasgutschriften für die Nebenprodukte. Dieser Ansatz wird im BEK angewendet. Er ist unabhängig von schwankenden Marktpreisen und reduziert zudem den Aufwand in der Datenerhebung.

In Tabelle 11 sind die Nebenprodukte (Index „N“) aufgeführt, für die im Pflanzenbau (P), in der Tierhaltung (T) und bei der Biogaserzeugung (BG) die Emissionsgutschriften angewendet werden. Die Zahlen kennzeichnen jeweils die laufende Nummer der Gutschrift.

Tab. 11: Treibhausgasgutschriften für Nebenprodukte (Beispiel Milcherzeugung)

Lfd. Nr.	Emissionsart und -quelle
<b>Pflanzenbau – Gutschriften bei der angebauten Fruchtart für</b>	
P <sub>N1</sub>	CO <sub>2</sub> -Bindung durch Humusaufbaupotenzial der Nebenernteprodukte (Stroh, Kraut)
P <sub>N2</sub>	CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert der Nährstofflieferung für die Folgefrucht (Stroh, Kraut, Vorfruchtwert)
<b>Tierhaltung – Gutschriften bei dem erzeugenden Betriebszweig für</b>	
T <sub>N1</sub>	CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert für die mineraldüngerwirksamen Nährstoffe im Wirtschaftsdünger
T <sub>N2</sub>	CO <sub>2</sub> -Bindung durch Humusaufbaupotenzial des Wirtschaftsdüngers
T <sub>N3</sub>	CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert für lebend geborene Kälber
T <sub>N4</sub>	CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert für Schlachtrinder
<b>Biogaserzeugung – Gutschriften für</b>	
BG <sub>N1</sub>	CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert für bereit gestellte und genutzte Wärme bei Stromerzeugung
BG <sub>N2</sub>	CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert für die mineraldüngerwirksamen Nährstoffe im Gärrest
BG <sub>N3</sub>	CO <sub>2</sub> -Bindung durch Humusaufbaupotenzial des Gärrestes

P = Pflanzenbau; N = Nebenprodukte; T = Tierhaltung; BG = Biogaserzeugung

Im Berechnungsbeispiel sind für alle Nebenprodukte die einzelnen Rechenschritte zur Ermittlung der Treibhausgasgutschriften nachvollziehbar dargestellt (siehe Tab. 1). Dort befinden sich auch weitere Hinweise zur Fundstelle der benötigten Daten und deren Anwendung. Tabelle 12 zeigt den detaillierten Rechenweg der Gutschrift für das Nebenprodukt „Schlachtkuh“ in der Milchherzeugung. Im Beispiel sind je durchschnittlich gehaltener Kuh 189,0 kg Lebendmasse (LM) in die Schlachtung gegeben worden (Ausschlachtung bei Schlachtkühen 51 % gegenüber 56 % beim Schlachtrind). Der Wert errechnet sich aus der Anzahl der geschlachteten Milchkühe multipliziert mit dem „Gewicht einer Schlachtkuh“ geteilt durch die Anzahl durchschnittlich gehaltener Milchkühe. Nach Abzug der Schlachtverluste verbleiben 96,4 kg Schlachtgewicht (SG) je Kuh. Nach LWK Niedersachsen (2021, S. 19) kann der Vorleistungswert – der THG-Rucksack – für die Mastrinderzeugung mit 8,6 kg CO<sub>2</sub>e/kg Lebendmasse festgelegt werden. Bei einer Ausschlachtung von 56 % ergibt sich daraus ein Emissionsersatzwert von 15,4 kg CO<sub>2</sub>e/kg Schlachtgewicht. Die Gutschrift für das Nebenprodukt Schlachtkuh beträgt im Beispiel demzufolge 1.482,48 kg CO<sub>2</sub>e/Kuh.

Tab. 12: Berechnungsbeispiel für die Treibhausgasgutschrift eines Nebenproduktes (Beispiel T<sub>N</sub>4 „THG-Gutschrift für Schlachtkühe“)

Rechenschritt	Wert	Einheit	Datenherkunft
Schlachtkühe (Lebendmasse)	189,00	kg LM/Kuh	Betrieb
· Ausschlachtung	0,51	kg SG/kg LM	Betrieb
= Schlachtkühe (Schlachtgewicht)	96,39	kg SG/Kuh	Ergebnis
· Gutschrift SG Rinder	15,38	kg CO <sub>2</sub> e/kg SG	Parameterdatei
= CO <sub>2</sub> e-Gutschrift	1.482,48	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh	Ergebnis

LM = Lebendmasse; SG = Schlachtgewicht

Ergänzende Erläuterungen zu einzelnen Treibhausgasgutschriften für Nebenprodukte finden sich im Anhang.

## 5 Treibhausgasflüsse zwischen Produktionsverfahren, Umgang mit Nebenprodukten und Bewertung von Humus-C-Veränderungen

Landwirtschaftliche Produkte werden häufig innerhalb eines Betriebes oder zwischen verschiedenen Betrieben von einem Betriebszweig an einen anderen weitergegeben. In diesen Fällen ist es wichtig, dass sie beim abgebenden und aufnehmenden Betriebszweig mit den gleichen Treibhausgasemissionen bewertet werden. Bei Hauptprodukten betrifft das zum Beispiel das Futter. Die ermittelten Treibhausgasemissionen je kg Weizen oder Maissilage müssen bei einer Verfütterung in der Tierhaltung dort in gleicher Höhe beim Betriebsmitteleinsatz einfließen, wie sie im Pflanzenbau veranschlagt werden.

Bei den Nebenprodukten treten ebenfalls eine Reihe solcher Verknüpfungen zwischen den Produktionsverfahren auf. Abbildung 2 gibt einen Überblick über relevante Treibhausgasverknüpfungen verschiedener Produktionsverfahren.

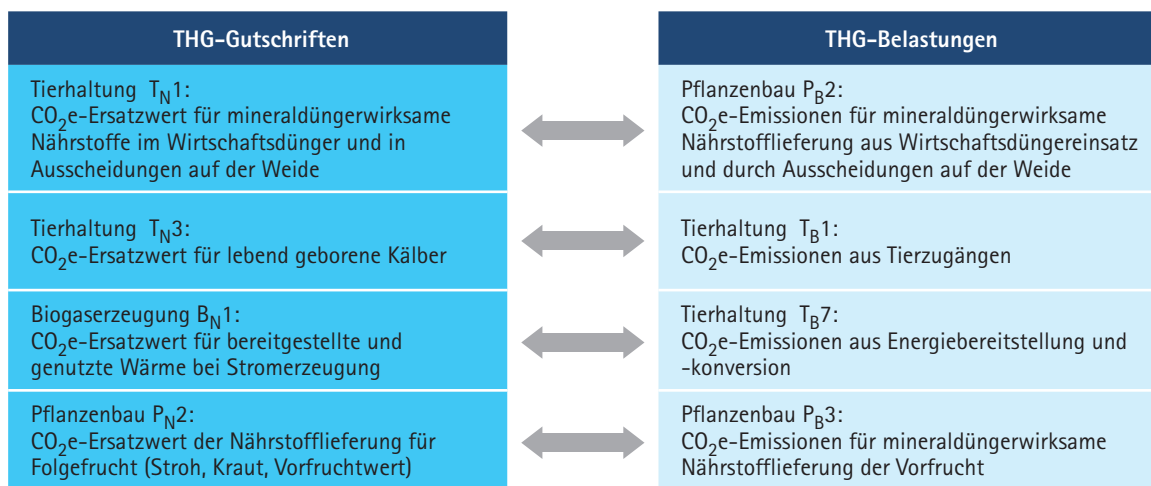


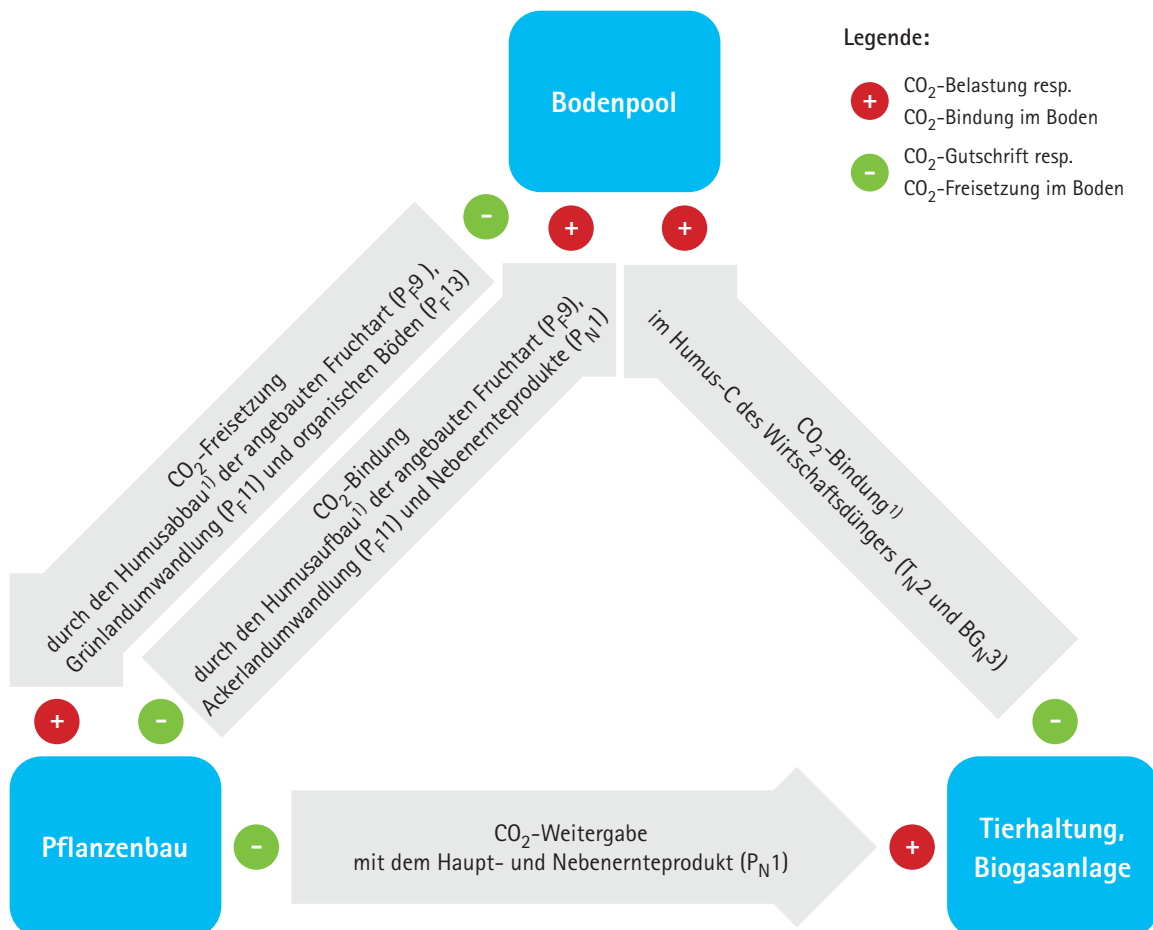
Abb. 2 : Beispiele für Verknüpfungen zwischen Produktionsverfahren (© Agru BEK)

Wird zum Beispiel Wirtschaftsdünger vom Produktionsverfahren Milchkuhhaltung an das Produktionsverfahren Silomaisanbau abgegeben, ist sicherzustellen, dass die Nährstofflieferung des Wirtschaftsdüngers in beiden Produktionsverfahren gleich bewertet wird. Im Falle der Gülle wird deren Mineraldüngeräquivalent ermittelt und es werden die für die gleiche Düngewirkung ansonsten in der Mineraldüngerproduktion anfallenden Emissionen errechnet. Der Betriebszweig Milchkühe erhält eine Gutschrift unter  $T_N1$  und der Pflanzenbau eine Emissionsbelastung in gleicher Höhe unter  $P_B2$ . Die Bewertung der Nährstoffflüsse ermöglicht einen Vergleich von Produktionsverfahren mit unterschiedlichen Düngungsvarianten, der die Grundlage für gezielte Beratungsempfehlungen darstellt.

Humusveränderungen, z. B. durch den Anbau von Kulturpflanzen (siehe  $P_F8$ ) sowie durch die Zufuhr von Nebenernteprodukten (siehe  $P_N1$ ) und organischen Düngern (siehe  $T_N2$  und  $B_N3$ ), werden in der Treibhausgasberechnung mit berücksichtigt. Sie machen einen erheblichen Anteil an den Gesamtemissionen aus und können vom Landwirt durch die Fruchtfolgegestaltung beeinflusst werden. Nach Ansicht der Arbeitsgruppe BEK ist die Bewertung der Humus-C-Veränderungen für



eine sachgerechte Bewertung der Treibhausgasemissionen notwendig, auch um Nutzungsalternativen von Nebenernteprodukten zur Humusreproduktion oder zur energetischen Verwertung (hier insbesondere die Getreidestrohverbrennung) umfassend bewerten zu können. Für das Humusaufbaupotenzial von organischem Material erhält der abgebende Prozess Gutschriften nach VDLUFA (2014). Dem Pflanzenbau werden somit bei der Weitergabe von Stroh entsprechende CO<sub>2</sub>e gutgeschrieben, genauso wie der Tierhaltung für das Humusaufbaupotenzial der Wirtschaftsdünger. Diese Gutschrift ist unabhängig davon, ob Stroh oder Wirtschaftsdünger auf der Fläche des Pflanzenbaus ausgebracht werden oder den Betrieb verlassen. Folglich zeigt der aus der Emissionsbilanz errechnete CO<sub>2</sub>e-Fußabdruck eines pflanzenbaulichen Produktes nicht, in welchem Maße die Humusbilanz des Bodens ausgeglichen ist. Aus diesem Grund sollte bei allen Bilanzierungen pflanzenbaulicher Verfahren der Humussaldo des Bodens mit ausgewiesen werden. Ist der Humussaldo stark negativ, geht also Humuskohlenstoff in erheblichem Maße verloren, so ist ein Produktionsverfahren nicht nachhaltig. Der Humussaldo des Bodens muss im Rahmen einer Fruchtfolge ausgeglichen werden. Abbildung 3 zeigt das Schema der Treibhausgasbewertung von Humus-C-Veränderungen nach BEK.



<sup>1)</sup> Bestimmung der Humus-C-Veränderungen erfolgt nach VDLUFA (2014).

Abb. 3: Treibhausgasbewertung von Humus-C-Veränderungen im BEK (© Agru BEK)

Humus-C-Flüsse werden mit ihrem CO<sub>2</sub>-Potenzial bewertet (Faktor 3,67 kg CO<sub>2</sub>/kg Humus-C). Die Humus-C-Mengen werden nach VDLUFA (2014) ermittelt. Bereitsteller oder Erzeuger von Humus-C erhalten eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift; Abnehmer von Humus-C bzw. Verursacher von Humus-C-Abbau werden mit dem CO<sub>2</sub>-Potenzial des Humus-C belastet.

Beispielhafte Darstellung der Humusbewertung:

- a) Weizenanbau führt im Boden zu einem Humus-C-Abbau. Als Verursacher dieses Abbaus wird der Weizen mit dem CO<sub>2</sub>-Potenzial belastet und der Boden als Bereitsteller des Humuskohlenstoffs erhält die Gutschrift.
- b) Der Weizen liefert als Nebenernteprodukt Stroh und damit Humus-C. Der Weizen als Erzeuger des Strohs erhält folglich die Gutschrift, und zwar unabhängig davon, was mit dem Stroh anschließend geschieht. Die Lastschrift erhält in jedem Fall der Abnehmer. Bei einer Strohdüngung ist der Boden Abnehmer und erhält die Lastschrift. Bei einer Strohabfuhr ist das CO<sub>2</sub>-Potenzial des Humuskohlenstoffs im „CO<sub>2</sub>-Rucksack“ des Strohs enthalten und gelangt so als Lastschrift zum aufnehmenden Verfahren, zum Beispiel als Einstreu für die Milchkuhhaltung.
- c) Die Milchkuhhaltung wird mit dem „THG-Rucksack“ des Strohs belastet. Sie erzeugt als Nebenprodukt Wirtschaftsdünger, der Humus-C enthält. Als Erzeuger oder Bereitsteller dieses Humuskohlenstoffs erhält die Milchkuhhaltung die Gutschrift. Die Lastschrift erhält in jedem Fall der Abnehmer. Bei einer Abgabe des Wirtschaftsdüngers an eine Biogasanlage erfolgt die Lastschrift mit dem „CO<sub>2</sub>-Rucksack“ bei der Biogasanlage. Bei direkter Ausbringung auf die Fläche erfolgt die Lastschrift beim Boden. Damit ist der Kreislauf geschlossen und kann wieder mit „a)“ beginnen.
- d) Für die Darstellung des Humussaldos des Bodens werden nach VDLUFA (2014) der Humusabbau oder der Humusaufbau der angebauten Kultur und das Humusaufbaupotenzial der aufgetragenen Nebenprodukte und Wirtschaftsdünger miteinander verrechnet.

## 6 Ermittlung des produktbezogenen CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks

Die Treibhausgasberechnung nach BEK erfolgt aus praktischen Gründen zunächst tier- bzw. flächenbezogen. Zur Beurteilung der einzelbetrieblichen Klimateffizienz in dem jeweiligen Produktionsverfahren werden die THG-Emissionen auf die erzeugte Produkteinheit bezogen (sogenannter CO<sub>2</sub>-Fußabdruck). Die Tabellen 13 bis 15 zeigen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Berechnungsbeispiele.

Bei der Maissilageerzeugung fallen keine Gutschriften für Nebenernteprodukte an. Die Treibhausgasemissionen aus dem Feld und dem Betriebsmitteleinsatz sind in voller Höhe der erzeugten Maissilage anzulasten. Bei 13.500 kg Trockenmasseertrag/ha und 5.627 kg CO<sub>2</sub>e/ha beläuft sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck entsprechend auf 0,417 kg CO<sub>2</sub>e/kg Trockenmasse in der Maissilage.

Tab. 13: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Maissilageerzeugung (13,5 t/ha Trockenmasseertrag)

	Wert	Einheit
Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen aus dem Feld	4.473,54	kg CO <sub>2</sub> e/ha
Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz	1.153,52	kg CO <sub>2</sub> e/ha
Treibhausgasgutschriften für Nebenernteprodukte	0	kg CO <sub>2</sub> e/ha
Treibhausgasemissionen für das Hauptprodukt	5.627,06	kg CO <sub>2</sub> e/ha
Trockenmasseertrag Hauptprodukt	13.500	kg TM/ha
CO <sub>2</sub> -Fußabdruck	0,417	kg CO <sub>2</sub> e/kg TM
Humussaldo	-392,00	kg Humus-C/ha

Trotz Einsatz von 34 m<sup>3</sup> Rindergülle hat der Maisanbau im Beispiel einen negativen Humussaldo in Höhe von 392 kg Humus-C/ha zu verzeichnen. Dieser negative Humussaldo deutet auf einen Humusabbau im Boden und damit einhergehende Kohlenstoffverluste in die Atmosphäre hin. Um den Humussaldo auszugleichen, muss dem Boden in der Fruchtfolge ergänzend organische Substanz zugeführt werden. Die aus den Humus-C-Veränderungen resultierenden Treibhausgasemissionen sind im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bereits berücksichtigt.

Bei der Milcherzeugung fallen regelmäßig Nebenprodukte an. Im Beispiel sind für die Nebenprodukte Kalb, Schlachtkuh und Wirtschaftsdünger insgesamt 3.103 kg CO<sub>2</sub>e/Kuh von den angefallenen Treibhausgasemissionen abzuziehen. Die verbleibenden 8.548 kg CO<sub>2</sub>e/Kuh sind der Milcherzeugung anzulasten und verursachen bei 9.200 kg Milchleistung einen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von 0,929 kg CO<sub>2</sub>e/kg Milch.

Tab. 14: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Milcherzeugung (9.200 kg ECM/(Kuh · Jahr))

	Wert	Einheit
Treibhausgasemissionen aus Wirtschaftsdünger und enterischer Fermentation	4.882,80	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh
Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz	6.768,02	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh
Treibhausgasgutschriften für Nebenprodukte	-3.102,82	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh
Treibhausgasemissionen für das Hauptprodukt (Milch)	8.548,00	kg CO <sub>2</sub> e/Kuh
Milchleistung	9.200,00	kg ECM/Kuh
CO <sub>2</sub> -Fußabdruck	0,929	kg CO <sub>2</sub> e/kg ECM

Bei der Energiegewinnung aus Biogas werden neben Strom als Nebenprodukte Wärme und Gärreste erzeugt. Die Treibhausgasgutschrift für diese beiden Nebenprodukte beträgt im Beispiel 607.892 kg CO<sub>2</sub>e. Für die Stromerzeugung verbleiben 991.365 kg CO<sub>2</sub>e. Bei 2,5 Mio. kWh Strom-einspeisung beläuft sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck auf 0,397 kg CO<sub>2</sub>e/kWh Strom.

Tab. 15: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Stromerzeugung aus Biogas


	Wert	Einheit
Treibhausgasemissionen aus der Anlage	424.927	kg CO <sub>2</sub> e
Treibhausgasemissionen aus Betriebsmitteleinsatz	1.174.331	kg CO <sub>2</sub> e
Treibhausgasgutschrift für Nebenprodukte	-607.892	kg CO <sub>2</sub> e
THG-Emissionen für das Hauptprodukt	991.365	kg CO <sub>2</sub> e
Eingespeiste Strommenge	2.500.000	kWh
CO <sub>2</sub> -Fußabdruck	0,397	kg CO <sub>2</sub> e/kWh

Die Treibhausgasvermeidung durch eine gasdichte Wirtschaftsdüngerlagerung wird bereits bei den Tierhaltungsverfahren berücksichtigt. Im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Energiegewinnung aus Biogas ist diese Minderungswirkung deshalb nicht enthalten. Für die Bewertung des Nutzens der Wirtschaftsdüngervergärung ist diese Minderungswirkung durch die Biogasgewinnung ermöglichte Treibhausgasminderung allerdings zu beachten.

## 7 Anleitung zum Gebrauch der Parameterdatei

Die Parameterdatei umfasst Emissionsfaktoren für die Treibhausgasbilanzierung und Begleitwerte, die für die Berechnung von Treibhausgasbilanzen benötigt werden. Sie kann als webbasierte Datenbank über die KTBL-Webseite kostenfrei genutzt werden.

Die Abfrage wird in der BEK-Parameterdatei mehrstufig durchgeführt (Abb. 4). Die erste Auswahlstufe beinhaltet die Hauptkategorien, zum Beispiel die Tierart „Rind“. Die zweite Auswahlstufe beinhaltet die Unterkategorie, zum Beispiel „Milchkuhhaltung“. Die dritte Auswahlstufe beinhaltet den Prozess bzw. den Ort der Emissionsentstehung, zum Beispiel „Wirtschaftsdüngerlager“. Ab der zweiten Auswahlstufe ist es möglich, durch die Auswahl „[alle]“ die kompletten Datensätze der jeweiligen bereits getroffenen Auswahl anzeigen zu lassen. Nicht jede Auswahlkombination enthält Datensätze bis zur dritten Auswahlstufe. Abfragen können mit verschiedenen Auswahlkriterien mehrfach hintereinander durchgeführt werden. Die Ergebnistabellen werden dann untereinander dargestellt.

Das Abfrageergebnis wird als Tabelle dargestellt und enthält im Tabellenkopf die Abfragekombination und in der Tabelle selbst Textfelder mit den Parametern, den Beschreibungen, dem Wert mit zugehöriger Einheit und die Datenquelle als Kurzzitat. Das Langzitat der Datenquelle kann in der Onlinedarstellung der Ergebnistabelle als Tooltip-Textfeld durch Überstreichen des Buch-Symbols hinter dem Kurzzitat angezeigt werden. Sofern weitere Informationen zu einzelnen Werten vorliegen (z. B. ein Verweis auf dieses Dokument), werden diese über das Symbol  hinter dem Parameter angezeigt.

Die Ergebnistabellen können als pdf-Dokument und als xlsx-Datei heruntergeladen und gespeichert werden. Neben numerischen Werten können Formeln oder der Ausdruck „Anhang DüV“ als Werte der angezeigten Datensätze enthalten sein.

1. Auswahlstufe: Tierart/Hauptkategorie									
Betriebsmittel und Maschinen	Biogas-erzeugung	Pflanzenbau	Rind	Schwein	Huhn	Pute	Pferd	Schaf	Ziege
2. Auswahlstufe: Tierkategorie/Unterkategorie									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstreu</li> <li>• Energiebereitstellung u. -konversion</li> <li>• Kalk</li> <li>• Maschinen</li> <li>• Mineraldünger</li> <li>• Pflanzenschutzmittel</li> <li>• Saatgut</li> <li>• Tierzugang</li> <li>• Wasser</li> <li>• Wirtschaftsdünger (Zu- oder Verkauf)</li> <li>• Zukauffuttermittel</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substrat</li> <li>• Vorlager</li> <li>• Gärbehälter</li> <li>• Gärrestlager</li> <li>• Anlagentechnik</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung</li> <li>• Kalkung</li> <li>• Ernte- und Wurzel-rückstände</li> <li>• [alle]</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milchkuhhaltung</li> <li>• Rindermast</li> <li>• Kälberhaltung</li> <li>• Jungriinderhaltung</li> <li>• Mutterkuhhaltung</li> <li>• Deckbullenhaltung</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung Rind</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sauenhaltung</li> <li>• Sauenhaltung – Eber</li> <li>• Ferkelerzeugung – Ferkelaufzucht</li> <li>• Schweinemast</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung Schwein</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legehennenhaltung</li> <li>• Hühnermast</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung Huhn</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Putenmast</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung Pute</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pferdehaltung</li> <li>• Ponyhaltung</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung Pferd</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schafhaltung</li> <li>• Lämmeraufzucht</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung Schaf</li> <li>• [alle]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziegenhaltung</li> <li>• Wirtschaftsdünger-erzeugung Ziege</li> <li>• [alle]</li> </ul>	
3. Auswahlstufe: Prozess/Ort der Emissionentstehung									
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ackerbau</li> <li>• Dauergrünland</li> <li>• Gärrest</li> <li>• Wirtschaftsdünger von Rindern</li> <li>• Wirtschaftsdünger von Schweinen</li> <li>• Wirtschaftsdünger von Hühnern</li> <li>• Wirtschaftsdünger von Puten</li> <li>• Wirtschaftsdünger von Pferden</li> <li>• Wirtschaftsdünger von Schafen</li> <li>• Wirtschaftsdünger von Ziegen</li> <li>• [alle]</li> </ul>								<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tier</li> <li>• Stall</li> <li>• Tier</li> <li>• Weide</li> <li>• Wirtschaftsdüngerlager</li> <li>• [alle]</li> </ul>

Abb. 4: Abfrageschema für die Anwendung der Parameterdatei



## 8 Anleitung zum Gebrauch der Berechnungsbeispiele

Drei Berechnungsbeispiele veranschaulichen die Erstellung einzelbetrieblicher Klimabilanzen in der Landwirtschaft. Für die Nutzung als eigenständige Anwendung des BEK sind diese beispielhaften Berechnungen nicht vorgesehen, da sie den BEK nicht als Gesamtheit abdecken, können aber als Grundlage für die Anwendung genutzt werden.

Die Berechnungsbeispiele beziehen sich auf einzelne Produktionsverfahren und umfassen

- den Pflanzenbau mit Silomais,
- die Tierhaltung mit Milchkühen und
- die Energiegewinnung in einer Biogasanlage.

Die Berechnungen sind jeweils untergliedert in:

1. Betriebsdaten
2. Betriebsspezifische Emissionsfaktoren und Begleitwerte
3. Allgemeingültige Emissionsfaktoren und Begleitwerte
4. Dokumentation der einzelnen Rechenschritte
5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden wird anhand des Berechnungsbeispiels „Silomais“ der Aufbau der Beispiele erläutert.

## Zu 1. Betriebsdaten

Tabelle 16 zeigt die Maske der Betriebsdatenerfassung für die Produktionsverfahren im Pflanzenbau am Beispiel „Silomais“. In die gelb unterlegten Felder sind die einzelbetrieblich zu erfassenden Betriebsdaten einzugeben. Diese Daten sind den Betriebsleitern in der Regel bekannt oder können aus Betriebsaufzeichnungen übernommen werden.

Tab. 16: Betriebsdatenerfassung im Pflanzenbau-Berechnungsbeispiel „Silomais“

Treibhausgasberechnung Silomais (Vorfrucht Winterweizen, Weizenstroh abgefahren, 100 kg N aus Wirtschaftsdünger zum Weizen)		
<b>1. Betriebsdaten</b>		
<b>Anbau:</b>		
	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
Erntejahr	2020	
Anbaufläche	20	ha
davon mit Untersaat	0	ha
davon auf Moorstandorten	0	ha
davon auf Grünlandumbruch, Umwandlung Grünland in Ackerland	0	ha
davon Umwandlung Ackerland in Grünland	0	ha
<b>Erträge:</b>		
FM-Ertrag Hauptprodukt (HP) nach Abzug der Ernteverluste (Korn, Silage, Knollen)	45.000	kg FM/ha
TM-Ertrag Hauptprodukt nach Abzug der Ernteverluste (Korn, Silage, Knollen)	13.500	kg TM/ha
Energiegehalt im Hauptprodukt	6,5	MJ NEL/kg TM
Energiegehalt im Hauptprodukt	0	MJ ME/kg TM
Abgefahrere Nebenenergieprodukte (NP) (Stroh, Kraut, Blatt)	0	kg FM/ha
Abgefahrere Nebenenergieprodukte (Stroh, Kraut, Blatt)	0	kg TM/ha
Auf dem Feld verbliebene Nebenenergieprodukte (Stroh, Kraut, Blatt, Zwischenfruchtaufwuchs)	0	kg FM/ha
Auf dem Feld verbliebene Nebenenergieprodukte (Stroh, Kraut, Blatt, Zwischenfruchtaufwuchs)	0	kg TM/ha
<b>Wirtschaftsdüngung:</b>		
Ausgebrachter Wirtschaftsdünger	34	m <sup>3</sup> /ha
Stickstoffgehalt	5	kg N/m <sup>3</sup>
Phosphorgehalt	2	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /m <sup>3</sup>
Kaliumgehalt	7	kg K <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup>
Einarbeitung innerhalb 1 Stunden zum Beispiel mit Injektor	0	%
Einarbeitung innerhalb 4 Stunden bzw. mit Schlitztechnik auf Vegetation	100	%
Ohne Einarbeitung auf Vegetation	0	%
Humus-C Gehalt laut VDLUFA	12	kg Humus-C/m <sup>3</sup>
<b>Mineraldüngung:</b>		
Ausgebrachter Harnstoff-N-Mineraldünger	0	kg N/ha
Ausgebrachter AHL-N-Mineraldünger	0	kg N/ha
Ausgebrachte "andere"-N-Mineraldünger	18	kg N/ha
Ausgebrachter Phosphor-Mineraldünger	46	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
Ausgebrachter Kalium-Mineraldünger	0	kg K <sub>2</sub> O/ha
Kalkdüngung im Durchschnitt je Jahr	200	kg CaO/ha
<b>Anzurechnende Nährstofflieferung aus Vor- bzw. Zwischenfrüchten:</b>		
Anzurechnender N (laut Tabelle 7 der Düngeverordnung)	0	kg N/ha
Anzurechnendes P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
Anzurechnendes K <sub>2</sub> O	0	kg K <sub>2</sub> O/ha
<b>Anzurechnende Nährstofflieferung aus organischer Düngung des Vorjahres:</b>		
Anzurechnender N (10 % des im Vorjahr ausgebrachten Wirtschaftsdünger-N)	10	kg N/ha
<b>Anzurechnende Nährstofflieferung aus Beweidung:</b>		
Anzurechnender N (inkl. 10 % des im Vorjahr ausgeschiedenen N)	0	kg N/ha
Anzurechnendes P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
Anzurechnendes K <sub>2</sub> O	0	kg K <sub>2</sub> O/ha
<b>Energie und Sonstiges:</b>		
Dieserverbrauch einschließlich Ernte	120	l/ha
Biodieserverbrauch	0	l/ha
Saatgutverbrauch	30	kg/ha
Pflanzenschutzmittelverbrauch	3	l bzw. kg/ha

## Zu 2. Betriebsspezifische Emissionsfaktoren und Begleitwerte

Die betriebsspezifischen Emissionsfaktoren und Begleitwerte sind der Parameterdatei, der DüV (2020) oder dem Standpunkt zur Humusbilanzierung (VDLUFA 2014) zu entnehmen. Tabelle 17 zeigt die Werte für den Silomaisanbau im Beispielbetrieb. Damit ist die Datenerfassung für die Berechnung der Klimabilanz abgeschlossen.

Tab. 17: Betriebsspezifische Emissionsfaktoren und Begleitwerte im Berechnungsbeispiel „Silomais“

2. Betriebsspezifische Emissionsfaktoren und Begleitwerte			
	Wert	Einheit	Datenherkunft
P <sub>F</sub> 1: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei Düngung mit Wirtschaftsdüngern			
TAN-Anteil im ausgebrachten Wirtschaftsdünger	46	%	Parameterdatei
NH <sub>3</sub> -N-Emissionsfaktor bei der Wirtschaftsdüngerausbringung	0,26	kg NH <sub>3</sub> -N/kg TAN	Parameterdatei
P <sub>F</sub> 2: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei Düngung mit Mineraldüngern			
NH <sub>3</sub> -N-Emissionsfaktor für ausgebrachten Mineraldünger-N	0,04	kg NH <sub>3</sub> -N/kg N	Parameterdatei
P <sub>F</sub> 3: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern			
Mineraldüngerwirksamkeit des ausgebrachten Wirtschaftsdünger-N	60	%	DüV
P <sub>F</sub> 5: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen sowie aus Stroh- und Gründüngung			
Verhältnis von Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) zum Ertrag (E)	0,22	kg TM <sub>WR</sub> /kg TM <sub>E</sub>	Parameterdatei
N-Gehalt in Wurzel- und Ernterückständen	0,0070	kg N/kg TM	Parameterdatei
N-Gehalt im Nebenernteprodukt	0	kg N/kg FM	DüV
P <sub>F</sub> 9: CO <sub>2</sub> -Emissionen bzw. -Bindung aus Humusabbau bzw. -aufbau der angebauten Fruchtart			
Fruchtspezifischer Humusabbau	800	kg Humus-C/ha	Humusbilanz
Fruchtspezifischer Humusaufbau (ohne Strohdüngung)	0	kg Humus-C/ha	Humusbilanz
P <sub>F</sub> 13: CO <sub>2</sub> aus Humusabbau bei der Bewirtschaftung organischer Böden			
CO <sub>2</sub> e aus Humusabbau bei der Bewirtschaftung organischer Böden	0	kg CO <sub>2</sub> e/ha	Parameterdatei
P <sub>N</sub> 1: CO <sub>2</sub> -Bindung durch Humusaufbaupotential der Nebenernteprodukte (Stroh, Kraut)			
Humusaufbau durch Nebenernteprodukte	0	kg Humus-C/kg FM	Humusbilanz
P <sub>N</sub> 2: CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert der Nährstofflieferung für die Folgefrucht (Stroh, Kraut, Vorfruchtwert)			
Anrechenbare N-Lieferung für die Folgefrucht	0	kg N/ha	DüV
Anrechenbare P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Lieferung für die Folgefrucht	0	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	DüV
Anrechenbare K <sub>2</sub> O-Lieferung für die Folgefrucht	0	kg K <sub>2</sub> O/ha	z.B. LLG (2020)

### Zu 3. Allgemeingültige Emissionsfaktoren und Begleitwerte

Hier sind weitere allgemeingültige Emissionsfaktoren und Begleitwerte aufgeführt, die für alle Produktionsverfahren und Betriebe gelten. Diese müssen nicht extra eingegeben werden. Tabelle 18 gibt einen Überblick über die allgemeingültigen Emissionsfaktoren und Begleitwerte, die in die Treibhausgasberechnung einfließen.

Tab. 18: Allgemeingültige Emissionsfaktoren und Begleitwerte im Pflanzenbau-Berechnungsbeispiel „Silomais“

3. Allgemeingültige Emissionsfaktoren und Begleitwerte			
	Wert	Einheit	Datenherkunft
GWP <sub>100</sub> für Lachgas	298	kg CO <sub>2</sub> e/kg N <sub>2</sub> O	Parameterdatei
GWP <sub>100</sub> für Methan	25	kg CO <sub>2</sub> e/kg CH <sub>4</sub>	Parameterdatei
Umrechnungsfaktor für Lachgas-N in Lachgas	1,57	kg N <sub>2</sub> O/kg N <sub>2</sub> O-N	Parameterdatei
Umrechnungsfaktor für Kohlenstoff in Kohlendioxid	3,67	kg CO <sub>2</sub> /kg C	Parameterdatei
Methandichte (IPCC-Standard)	0,67	kg CH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	Parameterdatei
N <sub>2</sub> O-N-Emissionsfaktor für Ammoniak-Deposition	0,01	kg N <sub>2</sub> O-N/kg NH <sub>3</sub> -N	Parameterdatei
N <sub>2</sub> O-N-Emissionsfaktor für N-Düngung (direkt und indirekt durch Auswaschung)	0,01225	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	Parameterdatei
N <sub>2</sub> O-N-Emissionsfaktor für N-Ausscheidung (Beweidung, direkt und indirekt durch Auswaschung)	0,02225	kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	Parameterdatei
Humusabbau bei Grünlandumwandlung in Ackerland	1,41	t Humus-C/ha	Parameterdatei
N aus Humusabbau (Ackerflächen)	0,09	kg N/kg Humus-C	Parameterdatei
N aus Humusabbau (Grünlandumwandlung in Ackerland)	0,09	kg N/kg Humus-C	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor für den Einsatz von CaO	0,79	kg CO <sub>2</sub> /kg CaO	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor für den Einsatz von Harnstoff-N	1,57	kg CO <sub>2</sub> /kg N	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Harnstoff-N aus Europa	3,50	kg CO <sub>2</sub> e/kg N	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von AHL-N aus Europa	3,40	kg CO <sub>2</sub> e/kg N	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von anderem Mineraldünger-N aus Europa	3,52	kg CO <sub>2</sub> e/kg N	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Wirtschaftsdünger-N, Vorrucht-N	3,40	kg CO <sub>2</sub> e/kg N	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Phosphor-Mineraldünger	0,54	kg CO <sub>2</sub> e/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Kalium-Mineraldünger	0,42	kg CO <sub>2</sub> e/kg K <sub>2</sub> O	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Kalk	0,02	kg CO <sub>2</sub> e/kg CaO	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Saatgut	2,14	kg CO <sub>2</sub> e/kg	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung von Pflanzenschutzmittelwirkstoff	11,09	kg CO <sub>2</sub> e/l bzw. kg	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung und Konversion von Diesel	3,01	kg CO <sub>2</sub> e/l	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Bereitstellung und Konversion von Biodiesel	0,54	kg CO <sub>2</sub> e/l	Parameterdatei
CO <sub>2</sub> e-Emissionsfaktor für die Maschinenherstellung	0,89	kg CO <sub>2</sub> e/l Diesel	Parameterdatei

#### Zu 4. Dokumentation der einzelnen Rechenschritte

Für sämtliche Treibhausgasquellen und Treibhausgasgutschriften werden in diesem Teil jeweils die einzelnen Rechenschritte aufgezeigt und durchgeführt. Hier sind keine weiteren Eingaben erforderlich: Die notwendigen Daten werden automatisch aus den Tabellen 16 bis 18 übernommen. Tabelle 19 zeigt am Beispiel der Treibhausgasquelle P<sub>F</sub>1 die Dokumentation im Berechnungsbeispiel „Silomais“.

Tab. 19: Dokumentation der Rechenschritte für die Treibhausgasquelle P<sub>F</sub>1 im Pflanzenbau-Berechnungsbeispiel „Silomais“

P <sub>F</sub> 1: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei Düngung mit Wirtschaftsdüngern			
Rechenschritt	Wert	Einheit	Datenherkunft
Stickstoffgehalt des Wirtschaftsdüngers (WD)	5	kg N/m <sup>3</sup>	Betrieb
• TAN-Anteil	46	% TAN	Parameterdatei
= TAN-Gehalt	2,30	kg TAN/m <sup>3</sup>	Ergebnis
• NH <sub>3</sub> -N-EF bei Einarbeitung	0,26	kg NH <sub>3</sub> -N/kg TAN	Parameterdatei
= NH <sub>3</sub> -N-Ausbringungsverluste	0,60	kg NH <sub>3</sub> -N/m <sup>3</sup>	Ergebnis
• ausgebrachte WD-Menge	34	m <sup>3</sup> /ha	Betrieb
= NH <sub>3</sub> -N-Ausbringungsverluste	20,33	kg NH <sub>3</sub> -N/ha	Ergebnis
• Emissionsfaktor	0,01	kg N <sub>2</sub> O-N/kg NH <sub>3</sub> -N	Parameterdatei
• Umrechnungsfaktor	1,57	kg N <sub>2</sub> O/kg N <sub>2</sub> O-N	Parameterdatei
• GWP <sub>100</sub>	298	kg CO <sub>2</sub> e/kg N <sub>2</sub> O	Parameterdatei
= CO <sub>2</sub> e	95,13	kg CO <sub>2</sub> e/ha	Ergebnis

#### Zu 5. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 20 sind die einzelnen Treibhausgasquellen und -gutschriften in CO<sub>2</sub>e je Hektar aufgeführt. Auf dieser Grundlage werden die Treibhausgasemissionen und der CO<sub>2</sub>e-Fußabdruck für das Hauptprodukt als zentrales Ergebnis der Klimabilanzierung ausgewiesen.

Tab. 20: Ergebnis der Treibhausgasberechnung im Pflanzenbau-Berechnungsbeispiel „Silomais“

5. Zusammenfassung der Ergebnisse		
<b>5.1 Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen aus dem Feld</b>		kg CO <sub>2</sub> e/ha
P <sub>F</sub> 1: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei Düngung mit Wirtschaftsdüngern		95,13
P <sub>F</sub> 2: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei Düngung mit Mineraldüngern		3,37
P <sub>F</sub> 3: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern		584,59
P <sub>F</sub> 4: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Düngung mit Mineraldüngern		103,16
P <sub>F</sub> 5: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen sowie aus Stroh- und Gründüngung		119,15
P <sub>F</sub> 6: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus anzurechnendem Stickstoff aus organischer Düngung des Vorjahres		57,31
P <sub>F</sub> 7: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus mineraldüngerwirksamen N-Ausscheidungen aus Beweidung		0
P <sub>F</sub> 8: CO <sub>2</sub> -Feldemissionen aus Kalk- und Harnstoffdüngung		158,00
P <sub>F</sub> 9: CO <sub>2</sub> -Emissionen bzw. -Bindung aus Humusabbau bzw. -aufbau der angebauten Fruchtart		2.936,00
P <sub>F</sub> 10: N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Humusabbau der angebauten Fruchtart		416,82
P <sub>F</sub> 11: CO <sub>2</sub> -Emissionen bzw. -Bindung bei Grünland- bzw. Ackerlandumwandlung		0
P <sub>F</sub> 12: N <sub>2</sub> O-Emissionen bei Grünlandumwandlung in Ackerland		0
P <sub>F</sub> 13: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Humusabbau bei der Bewirtschaftung organischer Böden		0
P <sub>F</sub> 1 bis P <sub>F</sub> 13: Summe THG aus Feldemissionen		4.473,54
<b>5.2 Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz</b>		kg CO <sub>2</sub> e/ha
P <sub>B</sub> 1: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Mineraldüngerbereitstellung		92,20
P <sub>B</sub> 2: CO <sub>2</sub> e-Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung aus Wirtschaftsdüngereinsatz		517,48
P <sub>B</sub> 3: CO <sub>2</sub> e-Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung der Vorfrucht und Ausscheidungen auf der Weide		0
P <sub>B</sub> 4: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Saatgutbereitstellung		64,20
P <sub>B</sub> 5: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Pflanzenschutzmittelbereitstellung		11,64
P <sub>B</sub> 6: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Energiebereitstellung und -konversion		361,20
P <sub>B</sub> 7: CO <sub>2</sub> e-Emissionen aus Maschinenherstellung		106,80
P <sub>B</sub> 1 bis P <sub>B</sub> 7: Summe THG aus Betriebsmitteleinsatz		1.153,52
<b>5.3 Treibhausgasgutschriften für Nebenernteprodukte</b>		kg CO <sub>2</sub> e/ha
P <sub>N</sub> 1: CO <sub>2</sub> -Bindung durch Humusaufbaupotenzial der Nebenernteprodukte (Stroh, Kraut)		0
P <sub>N</sub> 2: CO <sub>2</sub> e-Ersatzwert der Nährstofflieferung für die Folgef Frucht (Stroh, Kraut, Vorfruchtwert)		0
P <sub>N</sub> 1 bis P <sub>N</sub> 2: Summe THG-Gutschrift für Nebenernteprodukte		0
<b>5.4 Treibhausgasemissionen für das Hauptprodukt</b>		
P <sub>F</sub> 1 bis P <sub>F</sub> 13: Summe THG für das Hauptprodukt	kg CO <sub>2</sub> e/ha	5.627,06
Trockenmasseertrag Hauptprodukt	kg TM/ha	13.500,00
<b>CO<sub>2</sub>-Fußabdruck</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>e/kg TM</b>	<b>0,417</b>
Humussaldo	kg Humus-C/ha	-392,00

## 9 Zusammenfassung

Mithilfe des BEK, bestehend aus dem Handbuch, der Parameterdatei und einigen Berechnungsbeispielen, können Interessenten Treibhausgasberechnungen selbst durchführen, eigene EDV-Programme nach dem BEK entwickeln oder bereits bestehende EDV-Programme mit dem BEK abgleichen. Der BEK ermöglicht es, einzelbetriebliche Treibhausgasberechnungen für unterschiedliche Produktionsverfahren nach einem standardisierten und transparenten Verfahren durchzuführen. Die Treibhausgasberechnung auf Ebene der Produktionsverfahren ermöglicht es, gezielt Potenziale zur Verbesserung der Klimabilanz zu identifizieren.

Besonders zu erwähnen ist das im BEK gewählte Verfahren für die Bewertung der Nebenprodukte und Veränderungen des Humus-C: Es gewährleistet bei einer Übertragung zwischen verschiedenen Produktionsverfahren innerhalb eines Betriebes bzw. zwischen verschiedenen Betrieben eine konsistente Bewertung ohne Bilanzierungsbrüche.

In der Parameterdatei werden die für die Berechnung von Treibhausgasbilanzen benötigten Emissionsfaktoren und Begleitwerte zur Verfügung gestellt.

Die ausgewählten Beispielrechnungen zeigen die konkreten Rechenschritte für die Erzeugung von Maissilage, Milch und für die Energiebereitstellung aus Biogas.

Der BEK liefert somit die Vorlage für einzelbetriebliche Treibhausgasberechnungen nach einem definierten Standard. Die methodische Aufbereitung für eine Klimaschutzberatung landwirtschaftlicher Betriebe ist hingegen nicht Gegenstand des BEK.

## Literatur

- Bachmaier, J. (2013): Treibhausgasemissionen und fossiler Energieverbrauch landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Eine Bewertung auf Basis von Messdaten mit Evaluierung der Ergebnisunsicherheit mittels Monte-Carlo-Simulation. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien
- Cederberg, C.; Meyer, D.; Flysjö, A. (2009): Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. SIK-report 792, [https://www.researchgate.net/publication/242518937\\_Life\\_cycle\\_inventory\\_of\\_greenhouse\\_gas\\_emissions\\_and\\_use\\_of\\_land\\_and\\_energy\\_in\\_Brazilian\\_beef\\_production](https://www.researchgate.net/publication/242518937_Life_cycle_inventory_of_greenhouse_gas_emissions_and_use_of_land_and_energy_in_Brazilian_beef_production), access 14.10.2020
- Dalgaard, T.; Halberg, N.; Porter, J.R. (2001): A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87(1), S. 51–65, [https://www.doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00297-8](https://www.doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00297-8)
- DLG (2020): Berücksichtigung N- und P-reduzierter Fütterungsverfahren bei den Nährstoffausscheidungen von Milchkühen. DLG-Merkblatt 444, Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH, 1. Aufl.
- DLG (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG 199, Frankfurt am Main, DLG-Verlags-GmbH, 2. Aufl.
- Drösler, M.; Freibauer, A.; Adelman, W.; Augustin, J.; Bergman, L.; Beyer, C.; Chojnicki, B.; Förster, C.; Giebels, M.; Görlitz, S.; Höper, H.; Kantelhardt, J.; Liebersbach, H.; Hahn-Schöfl, M.; Minke, M.; Petschow, U.; Pfadenhauer, J.; Schaller, L.; Schägner, P.; Sommer, M.; Thuille, A.; Wehrhan, M. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt Klimaschutz Moornutzungsstrategien 2006–2010. Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, Braunschweig/Berlin/Freising/Jena/Müncheberg/Wien, Thünen-Institut
- DüV (2020): Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist
- EEA (2019): EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 13/2019, Luxembourg, European Environment Agency, <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>, access 10.12.2019
- FAO (2014): FAOSTAT. FAO Statistics division. Trade/Crops and livestock products. Federal Agriculture Organization, <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E>, access 15.09.2014
- Fertilizers Europe (2021): Fertilizers Europe Carbon Footprint Calculator for Fertilizer Products. Fertilizers Europe, <http://www.calcfert.com/#energy>, access 01.04.2021
- Geldermann, J.; Schmehl, M.; Hesse, M. (2012): Ökobilanzielle Bewertung von Biogasanlagen unter Berücksichtigung der niedersächsischen Verhältnisse. Göttingen, Georg-August-Universität Göttingen
- Gensior, A. (2020): Mündliche Mitteilung. Braunschweig, Thünen Institut für Agrarklimaschutz
- Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2020): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2018. Report on methods and data (RMD) Submission 2020. Thünen Report 77, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, <https://www.doi.org/10.3220/REP1584363708000>
- Hundt, B. (2010): Energie- und Klimaeffizienz von Biogasanlagen mit Biogasaufbereitung und -einspeisung unter Nutzung von Silomais. Untersuchungen am Beispiel der Biogasanlage der HSE AG in Darmstadt-Wixhausen. Boden und Landschaft, Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie Band 55, Gießen, Justus-Liebig-Universität
- IPCC (2007): Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge/New York, Cambridge University Press, <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>, access 14.10.2020
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and other Land Use. Hayama, Intergovernmental Panel on Climate Change, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>, access 14.10.2020

- KTBL (2015): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Heft 107, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 3. Aufl.
- KTBL (2020): Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21. KTBL-Datensammlung, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 27. Aufl.
- KTBL (2010): European Biogas Initiative to improve the yield of agricultural biogas plants. Deliverable 22: Report on the economic value and the calculated energy and material fluxes. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., <http://www.easyscience.eu/euagrobiogas/images/d22.pdf>, access 14.10.2020
- LLG Sachsen-Anhalt (2020): Richtwertsammlung Düngerecht. Bernburg, (LLG Sachsen-Anhalt), [https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04\\_themen/pfl\\_ernaehr\\_duengung/Richtwerte/2019\\_rw\\_gesamt\\_duengerecht.pdf](https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/Richtwerte/2019_rw_gesamt_duengerecht.pdf), Zugriff am 18.09.2020
- LWK Niedersachsen (2021): Treibhausgasbericht der Landwirtschaft in Niedersachsen. Ausgabe 2021. Oldenburg, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/35874.html>, Zugriff am 10.03.2021
- Meyer-Aurich, A.; Schattauer, A.; Hellebrand, H.J.; Klauss, H.; Plöchl, M.; Berg, W. (2012): Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. *Renewable Energy* 37(1), pp. 277–284, <https://www.doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.030>
- Plöchl, M.; Schulz, M. (2006): Ökologische Bewertung der Biogaserzeugung und -nutzung. In: Biogas in der Landwirtschaft. Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg, Potsdam, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, 3. Aufl., S. 49–52
- Rösemann, C.; Haenel, H.-D.; Vos, C.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S.; Eurich-Menden, B.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Schreiner, C.; Osterburg, B.; Fuß, R. (2021): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2019. Report on methods and data (RMD) Submission 2021. Thünen Report, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut
- UBA (2020): Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2020. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2018. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt
- VDLUFA (2014): Standpunkt Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Speyer, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, <https://www.vdlufa.de/Dokumente/Veroeffentlichungen/Standpunkte/11-Humus-bilanzierung.pdf>, Zugriff am 13.10.2020
- Weidema, B.P.; Bauer, C.; Hirsch, R.; Mutel, C.; Nemecek, T.; Reinhard, J.; Vadenbo, C.O.; Wernet, G. (2013): Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. St. Gallen, The ecoinvent Centre, <https://www.ecoinvent.org/>, access 14.10.2020



## Anhang

### Erläuterungen zu den Treibhausgasquellen im Pflanzenbau

Zu P<sub>F</sub>1: Für die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus NH<sub>3</sub>-Verlusten bei der Düngung mit Wirtschaftsdüngern sind zunächst die NH<sub>3</sub>-Verluste zu bestimmen. Die hierfür erforderlichen Ammoniakemissionsfaktoren werden im BEK dem deutschen landwirtschaftlichen Emissionsinventar (Haenel et al. 2020) entnommen. Die Bezugsgröße für die Emissionsfaktoren ist der TAN-Gehalt des eingesetzten Wirtschaftsdüngers. Liegt der TAN-Gehalt nicht vor, ist in Anlehnung an die DüV (2020) das Mineraldüngeräquivalent zu verwenden.

Zu P<sub>F</sub>2: Die Ammoniakemissionsfaktoren für die Anwendung von Mineraldüngern werden in der Parameterdatei auf Grundlage der in EEA (2019) angegebenen Formeln für eine durchschnittliche Frühjahrstemperatur von 9 °C gerechnet und gerundet. Dies ergibt 0,128 kg NH<sub>3</sub>-N/kg N für Harnstoff, 0,081 kg NH<sub>3</sub>-N/kg N für AHL, 0,018 kg NH<sub>3</sub>-N/kg N für NK-Dünger, 0,010 kg NH<sub>3</sub>-N/kg N für KAS sowie 0,041 kg NH<sub>3</sub>-N/kg N für übrige stickstoffhaltige Mineraldünger.

Zu P<sub>F</sub>3 und P<sub>F</sub>4: IPCC (2006) berechnet bodenbürtige direkte N<sub>2</sub>O-N-Emissionen ( $EM_{N_2O-N,direkt}$ ) in kg N<sub>2</sub>O-N/(ha · a) aus der Summe der ausgebrachten Stickstoffmenge (Wirtschaftsdünger und Mineraldünger) in kg N/(ha · a) ohne Abzug von ausbringungsbedingten NH<sub>3</sub>-N-Verlusten mithilfe des Emissionsfaktors  $EF_{N_2O-N,direkt} = 0,01$  kg N<sub>2</sub>O-N/kg N.

$$EM_{N_2O-N,direkt} = N_{Dünger} \cdot EF_{N_2O-N,direkt} \quad (\text{Gl. 1})$$

Die direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern werden gemäß ihres Gehaltes an düngewirksamen Stickstoff (Mindestwirksamkeit im Jahr des Ausbringens und im Folgejahr) nach Anlage 3 und § 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 5 der DüV (2020) dem Pflanzenbau angelastet. Der Tierhaltung bzw. der Biogaserzeugung werden die restlichen direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen aus nicht mineraldüngerwirksamem Stickstoff zugewiesen (siehe TW6 und TGA9).

Der EF zuzüglich des EF für indirekte N<sub>2</sub>O-Emissionen durch Auswaschung (0,00225 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N), in der Summe also 0,01225 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N, wird einheitlich für jede Art von mineraldüngerwirksamem Stickstoff in den Emissionsquellen P<sub>F</sub>3, 4, 5, 6, 10 und 12 angewendet. Dieser Ansatz ist konform zur Vorgehensweise in der Klimaberichterstattung nach IPCC (2006), weicht aber vom Ansatz der Arbeitsgruppe BEK, wie im Jahr 2016 veröffentlicht, ab und hat zur Folge, dass sich die eingesetzte Technologie bei der Wirtschaftsdüngerausbringung mit den damit verbundenen spezifischen NH<sub>3</sub>-Verlusten nicht auf die Stickstoffbasis für die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen auswirkt.

Zu P<sub>F</sub>5: Die erforderlichen Parameter zur Berechnung der Ernte- und Wurzelrückstände (EWR) finden sich in der Parameterdatei. EWR fallen bei mehrjährigen Kulturen in wesentlichem Umfang nur beim Umbruch der Kultur an, wobei die Anbaudauer in Jahren berücksichtigt wird. Bei mehreren Ernten pro Jahr (z.B. bei Dauergrünland) ist die Anzahl der Ernten ebenfalls zu berücksichtigen. In den Angaben zu den Wurzelrückständen nach IPCC Tabelle 11.17 (2006) sind Stoppeln nicht berücksichtigt. Die Stickstoffmenge in den Stoppeln wird jedoch als vernachlässigbar angesehen. N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Nebenern-

teprodukten fallen nur an, wenn diese auf dem Feld verbleiben. Das führt bei einer Abfuhr der Neben- ernteprodukte zu geringeren N<sub>2</sub>O-Emissionen als beim Verbleib auf der Fläche.

**Zu P<sub>F</sub>9 und P<sub>F</sub>10:** Grundlage für die Ermittlung der anbaubedingten Humus-C-Veränderungen bildet der VDLUFA-Standpunkt (VDLUFA 2014). Der Anbau von humuszehrenden Kulturen, der zu einem Humusabbau führt, setzt im Verhältnis 11 : 1 Kohlenstoff und Stickstoff aus dem Humus frei, wie aus Daten von Gensior (2020) hervorgeht. Diese Freisetzung führt zu Kohlenstoffdioxid- emissionen (P<sub>F</sub>9) und Lachgasemissionen (P<sub>F</sub>10). Diese Treibhausgasemissionen werden denjenigen Kulturen angerechnet, während deren Anbau sie auftreten.

Der Anbau von Kulturen, die zu einem Humusaufbau führen, bindet Kohlenstoff in Höhe der in VDLUFA (2014) angegebenen Humusreproduktionsleistungen der angebauten Kultur. Diese Koh- lenstoffbindung im Humus führt zu einer Treibhausgasgutschrift für die jeweilige Kultur. Zugleich bindet der Humusaufbau Stickstoff im Verhältnis 1 : 10 zu Kohlenstoff. Sofern organisch gebunden- er Stickstoff für den Humusaufbau genutzt wird, unterliegt er nach der im BEK vorgeschlagenen Methode keinen unmittelbaren emissionswirksamen Umwandlungsprozessen und Verlusten. Die Stickstoffbindung für den Humusaufbau wird nicht bewertet.

**Zu P<sub>F</sub>11 und P<sub>F</sub>12:** Zusätzlich zu den kulturartspezifischen Humusvorratsänderungen sind die Hu- musvorratsänderungen aufgrund von Landnutzungsänderungen von Ackerland in Grünland und umgekehrt zu berücksichtigen.

Die Änderung von Grünland in Ackerland führt zum Humusabbau und damit zur Freisetzung von Kohlenstoff und Stickstoff über einen langen Zeitraum. Diese Landnutzungsänderung (Grün- land zu Ackerland) setzt im Verhältnis 11 : 1 Kohlenstoff und Stickstoff aus dem Humus frei, wie aus Daten von Gensior (2020) hervorgeht. Dies führt nach Gensior (2020) zu einer jährlichen Abnahme des Kohlenstoffvorrates im Boden von 1,41 t Humus-C/(ha · a), während zugleich durch den Humusabbau Stickstoff freigesetzt wird (128 kg N/(ha · a)). Dies führt zu Kohlenstoffdioxid- emissionen (PF11) und Lachgasemissionen (PF12). Diese Emissionen werden über einen Zeitraum von 20 Jahren jährlich denjenigen Kulturen angerechnet, die auf dieser Fläche angebaut werden.

Umgekehrt führt die Umwandlung von Ackerland in Grünland zu einem Humusaufbau. Bei die- sem Prozess wird atmosphärisches Kohlenstoffdioxid über die Zufuhr von organischen Materialien im Humus gebunden. Zugleich bindet dieser Humusaufbau Stickstoff im Verhältnis 1 : 11 zu Koh- lenstoff. Diese Stickstoffbindung für den Humusaufbau wird nicht bewertet.

Bei der Landnutzungsänderung von Ackerland zu Grünland werden in Abhängigkeit vom Alter des Grünlands und des Ertragsniveaus die in Tabelle 21 aufgelisteten Humus-C-Vorratsänderungen angerechnet.

Tab. 21: Humus-C-Vorratsänderung bei Landnutzungsänderung (Umwandlung von Ackerland zu Grünland in kg Humus-C/(ha · a))

Alter des Grünlands	Vorratsveränderung in kg Humus-C/(ha · a)	
	Ertragsniveau < 10 t TM	Ertragsniveau > 10 t TM
1–5 Jahre <sup>1)</sup>	600	800
6–10 Jahre	550	700
11–20 Jahre	500	600
21–30 Jahre	400	500
> 30 Jahre	200	250

<sup>1)</sup> Die Humus-C-Vorratsänderung in den Jahren 1–5 orientiert sich an der Humusreproduktionsleistung von Ackergras, Klee-Gras im VDLUFA-Standpunkt (VDLUFA 2014).

Zu  $P_F13$ : Die Treibhausgasemissionen aus Humusabbau durch Bewirtschaftung von organischen Böden ( $P_F13$ ) werden nach den in der Parameterdatei angegebenen Emissionsfaktoren berechnet. Diese Emissionsfaktoren werden differenziert nach folgenden Kriterien angegeben: Wasserstand unter der Geländeoberfläche (Moortyp, Ackerland oder Grünland) und Bewirtschaftungsintensität (Drösler et al. 2011). Sie werden berechnet aus dem auf der Fläche gemessenen Austausch klimarelevanter Gase abzüglich der Kohlenstoffzufuhr und zuzüglich der Kohlenstoffabfuhr. Die Emissionsfaktoren enthalten bereits sämtliche Feldemissionen. Für organische Böden ( $P_F13$ ) sind die Emissionsfaktoren um die durchschnittlichen Emissionen aus  $P_F1$  bis  $P_F12$  zu korrigieren, um Doppelzählungen zu vermeiden.

Zu  $P_B1$  und  $P_B2$ : Falls Kalk oder Grundnährstoffe ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ) als Vorratsdüngung für mehrere Kulturen ausgebracht werden, sind die dadurch verursachten Emissionen über die Fruchtfolge zu verteilen. In der Parameterdatei wird für Kalkammonsalpeter - wie auch für alle anderen nicht harnstoffhaltigen Stickstoff-Einnährstoffdünger - der Treibhausgasemissionsfaktor für Kalkammonsalpeter nach Fertilizers Europe (2021) angenommen (bezogen auf kg N), da Kalkammonsalpeter der mit Abstand meist verwendete nicht harnstoffhaltige Stickstoff-Einnährstoffdünger ist. Zur Bewertung der Nährstofflieferungen aus Wirtschaftsdüngern siehe Erläuterungen zu  $T_N1$ .

Zu  $P_B4$ : Der Treibhausgasemissionsfaktor für Saatgut anderer Getreidearten aus ökologischem oder konventionellem Anbau ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert der Treibhausgasemissionsfaktoren für Weizen-, Gerste- und Roggensaatgut. Der Treibhausgasemissionsfaktor für Saatgut von Körnerleguminosen aus ökologischem oder konventionellem Anbau ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert der Treibhausgasemissionsfaktoren für Ackerbohnen-, Erbsen- und Sojabohnensaatgut nach Weidema et al. (2013).

Zu  $P_B6$ : Hier werden die Emissionen aus der Bereitstellung des Energieträgers (z.B. Dieselherstellung) und der Konversion (Verbrennung des Diesels) zusammengefasst.

Zu  $P_B7$ : Treibhausgasemissionen aus der Herstellung landwirtschaftlicher Maschinen sind in den meisten landwirtschaftlichen Arbeitsverfahren von untergeordneter Bedeutung. Treibhausgasemissionsfaktoren für Maschinen beziehen sich in den meisten Ökobilanz-Datenbanken zudem auf das Gewicht der Maschine, was in einfachen THG-Bilanzierungsansätzen zu unverhältnismäßig hohen Aufwänden in der Datenerhebung führt, da für die Berechnung der THG-Emissionen aus der Maschinenherstellung die gewichtsbezogenen Emissionsfaktoren, das Gewicht der Maschinen und der Nutzungsumfang in einem bestimmten Verfahren benötigt werden. Daher bezieht sich in der Datenbank der Treibhausgasemissionsfaktor für die Maschinenherstellung auf den verbrauchten Dieselmotorkraftstoff. Abgeleitet ist dieser Wert aus Angaben von Dalgaard et al. (2001).

## Erläuterungen zu den Treibhausgasquellen in der Tierhaltung

Zu  $T_{V1}$  bis  $T_{W8}$ :  $T_{V1}$  ist die Methanemission aus enterischer Fermentation ( $EF_{CH_4,ent}$ ) in  $kg\ CH_4/(TP \cdot a)$ , wobei TP für Tierplatz steht. Für  $T_{W1}$  bis  $T_{W6}$  ( $NH_3$ - und  $N_2O$ -Emissionen) wird die N-Ausscheidung ( $N_{Exkr}$ ) in  $kg\ N/(TP \cdot a)$  benötigt. Im Zusammenhang mit den  $NH_3$ -Emissionen ist zusätzlich die Kenntnis des relativen TAN-Anteils ( $x_{TAN,Exkr}$ ) der N-Ausscheidungen erforderlich (in  $kg\ TAN/kg\ N$ -Ausscheidung).  $T_{W7}$  und  $T_{W8}$  sind die Methanemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung und auf der Weide; ihre Berechnung erfordert eine Angabe zur Ausscheidung organischer Trockenmasse ( $oTM_{Exkr}$ ) in  $kg\ oTM/(TP \cdot a)$ .

Die Größen  $EF_{CH_4,ent}$ ,  $N_{Exkr}$ ,  $x_{TAN,Exkr}$  und  $oTM_{Exkr}$  sind somit unverzichtbare Eingangsgrößen für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung nach dem BEK. Dies stellt eine gewisse Herausforderung für den BEK-Nutzer dar, denn in aller Regel sind nur die N-Ausscheidungen relativ einfach zu ermitteln. Dies kann z. B. nach Vorgaben der DüV (2020) und anhand von DLG-Publikationen (z. B. DLG 2014) oder nach den Regelwerken der Emissionsberichterstattung (IPCC 2006, EEA 2019) geschehen. Dabei handelt es sich aber zum Teil um fixe Standardwerte, mit deren Hilfe man eine Abhängigkeit der N-Ausscheidung von der tierischen Leistung (z. B. der Milchleistung bei Milchkühen) gar nicht oder nur begrenzt abbilden kann. Überdies können solche Daten die emissionsmindernde Weiterentwicklung von Fütterungsstrategien zur Reduzierung der N-Ausscheidungen (DLG-Merkblatt 444 (DLG 2020) für Milchkühe) in aller Regel nicht berücksichtigen.

Idealerweise verfügt der BEK-Nutzer über einen für die jeweilige Aufgabenstellung geeigneten N-Ausscheidungswert aus aktueller Quelle, z. B. aus dem betrieblichen Nährstoffvergleich. Wenn dies nicht der Fall ist, können für eine Reihe von Tierkategorien Standardwerte aus der BEK-Parameterdatei entnommen werden. Für die Produktionsverfahren Milchkuhhaltung, Rindermast, Sauenhaltung, Ferkelaufzucht sowie Schweinemast sollte die N-Ausscheidung dagegen leistungsabhängig ermittelt werden.

Für Milchkühe ist dies nach DLG (2014, S. 107 f.) z. B. über Milchleistung sowie Harnstoff- und N-Gehalt der Milch möglich. Dabei ist die tägliche N-Ausscheidung je Tierplatz während der Laktationsphase wie folgt gegeben:

$$N_{Exkr, Milkh} \left( \frac{g\ N}{d} \right) = 124 + 1.320 \cdot N_{Milchharnstoff} \left( \frac{g\ N}{kg\ Milch} \right) + 1,87 \cdot N_{Milch} \left( \frac{g\ N}{d} \right) - 6,90 \cdot \text{Milchmenge} \left( \frac{kg}{d} \right)$$

(Gl. 2)

Die tägliche N-Ausscheidung während der Trockenstehphase (unterstellte Dauer: 45 Tage) wird von DLG (2014, S. 108) mit 256 g N je TP für Grünlandbetriebe und 218 g N je TP für Ackerfutterbaubetriebe berechnet.

Darüber hinaus gab die DLG (2014, S. 34 f.) N-Ausscheidungen auf Basis von milchleistungsabhängigen Rationsvorschlägen an. In den Jahren danach wurden die Milchkuh-Fütterungsstrategien weiterentwickelt, um eine Verringerung u. a. der N-Ausscheidungen zu erreichen (DLG 2020).

Für eine schnelle und unkomplizierte Berechnung der N-Ausscheidung in Abhängigkeit von der Milchleistung bietet sich eine Gleichung an, die für den BEK aus dem Rechenmodell GAS-EM der Emissionsberichterstattung 2021 (Rösemann et al. 2021) abgeleitet wurde. Diese Gleichung (auf die weiter unten noch näher eingegangen wird, siehe Gleichung 3) basiert auf den Rationsangaben der DLG (2014, S. 34 f.) und berücksichtigt deshalb nicht den Fortschritt bei den Milchkuh-Fütterungs-

strategien nach DLG-Merkblatt 444 (DLG 2020). Ein Vorteil dieser Gleichung ist aber, dass sie nur eine einzige Eingabegröße benötigt, nämlich die Milchleistung. Diese Einfachheit wurde dadurch erreicht, dass verschiedene andere mögliche Eingangsgrößen konstant gehalten wurden, indem sie die mittleren Verhältnisse in Deutschland im Jahr 2019 abbilden.

Analog dazu wurden mithilfe des o.g. GAS-EM-Modells auch Gleichungen für die  $\text{CH}_4$ -Emission aus der Verdauung ( $\text{EF}_{\text{CH}_4,\text{ent}}$ ), den TAN-Gehalt der N-Ausscheidungen ( $x_{\text{TAN,Exkr}}$ ) und die Ausscheidung organischer Trockenmasse ( $\text{oTM}_{\text{Exkr}}$ ) in der Milchkuhhaltung abgeleitet (Gleichungen 3, 5 und 6). Dieser Gleichungssatz besitzt gegenüber gängigen landwirtschaftlichen Publikationen wie DLG (2014), die zu  $\text{EF}_{\text{CH}_4,\text{ent}}$ ,  $x_{\text{TAN}}$  und  $\text{oTM}_{\text{Exkr}}$  keine Angaben machen, den Vorteil, alle für BEK benötigten Eingangsgrößen in konsistenter Weise bereitzustellen.

Die vorstehend für Milchkühe beschriebene Problematik und die möglichen Lösungsansätze existieren prinzipiell auch für die Produktionszweige Rindermast, Sauenhaltung, Ferkelaufzucht sowie Schweinemast. Vor allem in der Schweinemast wäre es wünschenswert, die N-reduzierenden Fortschritte in der Fütterung besser zu berücksichtigen, als das mit zum Teil veralteten Standardwerten oder den Berechnungen mit dem GAS-EM-Modell der Emissionsberichterstattung 2021 (Rösemann et al. 2021) möglich ist. Das GAS-EM-Modell bietet derzeit aber die wahrscheinlich einzige Möglichkeit, die BEK-Eingangsgrößen  $\text{EF}_{\text{CH}_4,\text{ent}}$ ,  $N_{\text{Exkr}}$ ,  $x_{\text{TAN,Exkr}}$  und  $\text{oTM}_{\text{Exkr}}$  in konsistenter Weise zu ermitteln.

Ausblick: 2020/21 führt das Statistische Bundesamt zum zweiten Mal nach 2010/2011 eine Erhebung zum Proteineinsatz in der Schweinemast durch, deren Ergebnisse in künftige Emissionsberichterstattungen eingehen sollen und damit auch die Möglichkeit für eine Aktualisierung der aus GAS-EM-Ergebnissen abgeleiteten Gleichungen bieten werden.

Im Folgenden werden die mithilfe von GAS-EM abgeleiteten Gleichungen getrennt nach Produktionszweigen beschrieben. Für die übrigen Tierkategorien wird neben  $N_{\text{Exkr}}$  auch für  $\text{EF}_{\text{CH}_4,\text{ent}}$ ,  $x_{\text{TAN,Exkr}}$  und  $\text{oTM}_{\text{Exkr}}$  auf die Standardwerte in der Parameterdatei verwiesen.

Im Anschluss an die nachfolgenden Gleichungen wird erläutert, wie im BEK die direkten und indirekten  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen aus N-Ausscheidungen auf der Weide zwischen der Tierhaltung und dem Pflanzenbau aufgeteilt werden.

### Milchkuhhaltung

Die Funktionen für die Methanemissionen aus enterischer Fermentation (Gl. 3), die N-Ausscheidung (Gl. 4), den relativen TAN-Gehalt der N-Ausscheidungen (Gl. 5) sowie die oTM-Ausscheidung (Gl. 6) beruhen auf dem GAS-EM-Milchkuh-Modell. Für das Tiergewicht wurden 650 kg zugrunde gelegt. In der Fütterung wurde die über Deutschland gemittelte Populationsverteilung des Jahres 2019 (28,6 % in Grünlandbetrieben, 71,4 % in Ackerfutterbaubetrieben) sowie das deutsche Populationsmittel der jährlichen Weidedauer 2019 (10,7 % des Jahres) berücksichtigt. Eingangsgröße für die nachstehenden Funktionen ist die Milchleistung (ML) in kg ECM/(TP · a).

$$\text{EF}_{\text{CH}_4,\text{ent,Mikh}} = -2,1551 \cdot 10^{-7} \cdot \text{ML}^2 + 1,0711 \cdot 10^{-2} \cdot \text{ML} + 63,167 \quad (\text{Gl. 3})$$

$$N_{\text{Exkr,Mikh}} = 1,8904 \cdot 10^{-7} \cdot \text{ML}^2 + 5,8743 \cdot 10^{-3} \cdot \text{ML} + 56,475 \quad (\text{Gl. 4})$$

$$x_{\text{TAN,Exkr,Mikh}} = 1,4088 \cdot 10^{-9} \cdot \text{ML}^2 - 4,3830 \cdot 10^{-5} \cdot \text{ML} + 0,74556 \quad (\text{Gl. 5})$$

$$\text{oTM}_{\text{Exkr,Mikh}} = -3,4799 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ML}^2 + 0,14597 \cdot \text{ML} + 486,28 \quad (\text{Gl. 6})$$

### Rindermast

Die Grundlage der Funktionen für die Methanemissionen aus enterischer Fermentation (Gl. 7), die N-Ausscheidung (Gl. 8), den relativen TAN-Gehalt der N-Ausscheidungen (Gl. 9) sowie die oTM-Ausscheidung (Gl. 10) ist das GAS-EM-Mastbullen-Modell (Anfangsgewicht 125 kg). Eingangsgrößen sind die mittlere tägliche Lebendmassezunahme (dLM) in g/d und das Endgewicht (EG) in kg.

$$EF_{\text{CH}_4,\text{ent},\text{Rmst}} = -(6,4326 \cdot 10^{-8} \cdot \text{dLM} + 1,5783 \cdot 10^{-5}) \cdot \text{EG}^2 + (1,1765 \cdot 10^{-4} \cdot \text{dLM} + 2,9056 \cdot 10^{-2}) \cdot \text{EG} - 2,9607 \cdot 10^{-2} \cdot \text{dLM} + 20,808 \quad (\text{Gl. 7})$$

$$N_{\text{Exkr},\text{Rmst}} = -(6,5572 \cdot 10^{-8} \cdot \text{dLM} + 1,6089 \cdot 10^{-5}) \cdot \text{EG}^2 + (1,1628 \cdot 10^{-4} \cdot \text{dLM} + 2,5944 \cdot 10^{-2}) \cdot \text{EG} - 3,8764 \cdot 10^{-2} \cdot \text{dLM} + 21,889 \quad (\text{Gl. 8})$$

$$x_{\text{TAN},\text{Exkr},\text{Rmst}} = -(3,2508 \cdot 10^{-10} \cdot \text{dLM} - 1,2810 \cdot 10^{-7}) \cdot \text{EG}^2 + (5,1472 \cdot 10^{-7} \cdot \text{dLM} - 2,2092 \cdot 10^{-4}) \cdot \text{EG} - 2,4933 \cdot 10^{-4} \cdot \text{dLM} + 0,78247 \quad (\text{Gl. 9})$$

$$o\text{TM}_{\text{Exkr},\text{Rmst}} = -(6,3450 \cdot 10^{-7} \cdot \text{dLM} + 1,5567 \cdot 10^{-4}) \cdot \text{EG}^2 + (1,1718 \cdot 10^{-3} \cdot \text{dLM} + 0,2981) \cdot \text{EG} - 0,29622 \cdot \text{dLM} + 203,14 \quad (\text{Gl. 10})$$

### Sauenhaltung

Die Funktionen für die Methanemissionen aus enterischer Fermentation (Gl. 11), die N-Ausscheidung (Gl. 12), den relativen TAN-Gehalt der N-Ausscheidungen (Gl. 13) sowie die oTM-Ausscheidung (Gl. 14) wurden aus dem GAS-EM-Sauen-Modell abgeleitet (Sauen-Lebendmasse 220 kg, Saugferkel mit Geburts-Lebendmasse 1,5 kg und Absetz-Lebendmasse 8 kg). Eingangsgröße ist die Anzahl der je Jahr und Sauen-TP aufgezogenen Saugferkel (SF).

$$EF_{\text{CH}_4,\text{ent},\text{Sh}} = 3,0504 \cdot 10^{-2} \cdot \text{SF} + 2,0874 \quad (\text{Gl. 11})$$

$$N_{\text{Exkr},\text{Sh}} = 0,19862 \cdot \text{SF} + 22,9 \quad (\text{Gl. 12})$$

$$x_{\text{TAN},\text{Exkr},\text{Sh}} = -7,9682 \cdot 10^{-4} \cdot \text{SF} + 0,77127 \quad (\text{Gl. 13})$$

$$o\text{TM}_{\text{Exkr},\text{Sh}} = 1,9168 \cdot \text{SF} + 170,94 \quad (\text{Gl. 14})$$



### Ferkelerzeugung – Ferkelaufzucht

Die Grundlage der Funktionen für die Methanemissionen aus enterischer Fermentation (Gl. 15), die N-Ausscheidung (Gl. 16), den relativen TAN-Gehalt der N-Ausscheidungen (Gl. 17) sowie die oTM-Ausscheidung (Gl. 18) ist das GAS-EM-Aufzuchtferkel-Modell. Es wird ein Leerstand von 7 Tagen zwischen den Durchgängen (KTBL 2020, S. 637) unterstellt. Eingangsgröße ist die jährliche Lebendmassezunahme (aLM) in kg/(TP · a).

$$EF_{\text{CH}_4,\text{ent},\text{Frkzt}} = 3,2330 \cdot 10^{-6} \cdot \text{aLM}^2 + 5,4433 \cdot 10^{-4} \cdot \text{aLM} + 0,19263 \quad (\text{Gl. 15})$$

$$N_{\text{Exkr},\text{Frkzt}} = 4,8629 \cdot 10^{-5} \cdot \text{aLM}^2 - 8,3527 \cdot 10^{-3} \cdot \text{aLM} + 3,3662 \quad (\text{Gl. 16})$$

$$x_{\text{TAN},\text{Exkr},\text{Frkzt}} = 4,2060 \cdot 10^{-6} \cdot \text{aLM}^2 - 2,236 \cdot 10^{-3} \cdot \text{aLM} + 0,9093 \quad (\text{Gl. 17})$$

$$\text{oTM}_{\text{Exkr},\text{Frkzt}} = 2,7510 \cdot 10^{-4} \cdot \text{aLM}^2 + 4,3913 \cdot 10^{-2} \cdot \text{aLM} + 16,06 \quad (\text{Gl. 18})$$

### Schweinemast

Die Funktionen für die Methanemissionen aus enterischer Fermentation (Gl. 19), die N-Ausscheidung (Gl. 20), den relativen TAN-Gehalt der N-Ausscheidungen (Gl. 21) sowie die oTM-Ausscheidung (Gl. 22) beruhen auf dem GAS-EM-Mastschweine-Modell. Es wurden ein Einstellungsgewicht von 28 kg und ein Endgewicht von 118 kg und somit ein Zuwachs (Z) von 90 kg je Tier (DLG 2014, S. 73–76) unterstellt. Eingangsgrößen der nachfolgenden Funktionen sind die jährliche Lebendmassezunahme (aLM) in kg/(TP · a) sowie die mittlere tägliche Lebendmassezunahme (dLM) in g. Die Anzahl der Mastdurchgänge entspricht dem Quotienten aLM : Z.

$$EF_{\text{CH}_4,\text{ent},\text{Schwmst}} = (2,2774 \cdot 10^{-9} \cdot \text{dLM}^2 - 5,5797 \cdot 10^{-6} \cdot \text{dLM} + 6,8624 \cdot 10^{-3}) \cdot \text{aLM} \quad (\text{Gl. 19})$$

$$N_{\text{Exkr},\text{Schwmst}} = (4,2901 \cdot 10^{-8} \cdot \text{dLM}^2 - 1,0511 \cdot 10^{-4} \cdot \text{dLM} + 0,10378) \cdot \text{aLM} \quad (\text{Gl. 20})$$

$$x_{\text{TAN},\text{Exkr},\text{Schwmst}} = 3,5043 \cdot 10^{-8} \cdot \text{dLM}^2 - 1,2880 \cdot 10^{-4} \cdot \text{dLM} + 0,8078 \quad (\text{Gl. 21})$$

$$\text{oTM}_{\text{Exkr},\text{Schwmst}} = (2,3989 \cdot 10^{-7} \cdot \text{dLM}^2 - 5,8772 \cdot 10^{-4} \cdot \text{dLM} + 0,72217) \cdot \text{aLM} \quad (\text{Gl. 22})$$

### Aufteilung der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Weidegang auf Tierhaltung und Pflanzenbau

Die direkten und indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen aus N-Ausscheidungen auf der Weide werden zwischen der Tierhaltung und dem Pflanzenbau aufgeteilt. Analog zu der Aufteilung bei den N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der N-Wirtschaftsdüngerausbringung erfolgt die Aufteilung des ausgeschiedenen Stickstoffs über die Mineraldüngerwirksamkeit im Jahr der Ausscheidung und im Folgejahr. Für den mineraldüngerwirksamen N-Anteil werden die N<sub>2</sub>O-Emissionen dem Pflanzenbau zugeordnet und die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem nicht mineraldüngerwirksamen N-Anteil werden der Tierhaltung zugeordnet. Der darauf anzuwendende EF setzt sich zusammen aus dem EF für direkte (0,02 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N) plus indirekte N<sub>2</sub>O-Emissionen (0,00225 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N), also insgesamt 0,02225 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N.

Zu  $T_{B2}$ : Der Treibhausgasemissionsfaktor für Soja-Importmix nach Deutschland als Futtermittel ergibt sich aus den Emissionsfaktoren für Soja aus integriertem Anbau in der Schweiz – repräsentativ für den europäischen Anbau (Anteil am Soja-Importmix nach Deutschland im Jahr 2011: 1,7 %) –, Soja aus Anbau in den USA (Anteil 30,2 %), Soja aus außereuropäischem Anbau (ohne USA und Brasilien, Anteil 17,4 %), Soja aus Anbau in Brasilien (Anteil 24,2 %) und Soja aus Anbau auf kürzlich gerodeten Flächen in Brasilien (Anteil 26,2 %), jeweils nach ecoinvent (Weidema et al. 2013) und der Statistik für Sojaimporte nach Deutschland (FAO 2014). Hieraus ergibt sich ein Treibhausgasemissionsfaktor von 1,6 kg CO<sub>2</sub>e/kg FM Soja (Importmix Deutschland).

Die Sojakomponente von Kraftfutter wird wie Soja als Futtermittel bewertet. Für die übrigen Komponenten von Kraftfutter wird ein von der AG BEK abgestimmter Konventionswert von 0,65 kg CO<sub>2</sub>e/kg Trockenmasse angenommen. Dieser Konventionswert ist unter Anwendung des BEK für Getreideanbau berechnet worden. Auch die CO<sub>2</sub>e-Emissionen aus der Grundfuttermittelproduktion müssen zur Wahrung der Konsistenz der Berechnungen nach der BEK-Methodik ermittelt werden. Als Konventionswert werden 0,47 kg CO<sub>2</sub>e/FM Grundfuttermittel vorgeschlagen.

Zu  $T_{B4}$ : Der Treibhausgasemissionsfaktor für Mineralfutter wird auf Grundlage der mittleren Zusammensetzung berechnet. Hierzu werden die Hauptkomponenten Dicalciumphosphat und Natriumchlorid mit ihren spezifischen Treibhausgasemissionsfaktoren berücksichtigt. Mineralfutter setzt sich nach Cederberg et al. (2009) aus 40 % Dicalciumphosphat und 45 % Natriumchlorid zusammen. Da die ecoinvent-Datenbank keinen Treibhausgasemissionsfaktor für Dicalciumphosphat bereitstellt, wird der Emissionsfaktor für Natriumphosphat verwendet. Für die 5 % übrigen Bestandteile wird ein Emissionsfaktor verwendet, der sich aus dem Verhältnis der Hauptbestandteile ergibt. Auf dem daraus errechneten Wert werden 10 % für Transport und Vertrieb aufgeschlagen.

Zu  $T_{B8}$ : Siehe obige Erläuterungen zu „P<sub>B7</sub>“.

## Erläuterungen zu den Treibhausgasquellen bei der Energiegewinnung aus Biogas

Zu  $BG_A1$ : CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngervorlagerung sind abhängig von der Lagerdauer. Im BEK wird der Emissionsfaktor für eine Lagerdauer von ein bis zwei Wochen abgeschätzt und als Rechengrundlage empfohlen.

Zu  $BG_A7$ : Bei dem Emissionsfaktor für die NH<sub>3</sub>-Emissionen aus dem offenen Gärrestlager, der in der Parameterdatei zu finden ist, wird davon ausgegangen, dass im Gärrestlager von Biogasanlagen eine natürliche Schwimmdecke vorhanden ist.

Zu  $BG_B1$ : Siehe obige Erläuterungen zu „P<sub>B7</sub>“.

Zu  $BG_B2$ : Bei der Biogaserzeugung werden im Gegensatz zur Tier- und Pflanzenproduktion zusätzlich die Treibhausgasemissionen aus der Herstellung der Biogasanlage berücksichtigt, um eine Vergleichbarkeit mit der Stromerzeugung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen herzustellen. (Bei Windkraft- und Photovoltaikanlagen werden im Gegensatz zur Strombereitstellung aus Biogas die Treibhausgasemissionen allerdings fast ausschließlich durch bauliche Anlagen und Anlagentechnologien verursacht.)



nik verursacht.) Im Pflanzenbau und in der Tierhaltung werden Treibhausgasemissionen aus der Erstellung landwirtschaftlicher Gebäude und baulicher Anlagen nicht berücksichtigt, da sie in den meisten landwirtschaftlichen Produktionssystemen nur einen sehr geringen Anteil an den Treibhausgasemissionen ausmachen und aufgrund der langen Nutzungsdauer kein kurz- und mittelfristig mobilisierbares Potenzial zur Minderung der Treibhausgasemissionen aufweisen. Literaturwerte für die spezifischen Treibhausgasemissionen aus baulichen Anlagen und Anlagentechnik von Biogasanlagen variieren von 0,0019 bis 0,042 kg CO<sub>2</sub>e/kWh Biogasstrom (Tab. 22). Hieraus wird für den BEK ein Konventionswert von 0,015 kg CO<sub>2</sub>e/kWh Biogasstrom abgeleitet.

Tab. 22: Literaturübersicht zu Treibhausgasemissionen aus baulichen Anlagen und Anlagentechnik von Biogasanlagen (KTBL 2010)

Autor	Wert kg CO <sub>2</sub> e/kWh	Installierte elektrische Leistung kW	Nutzungsdauer a	Wichtigste Baustoffe	Baustoffbedarf t/a
Bachmaier (2013)	0,0029	76–855	20 5 (Rührtechnik), 7 (BHKW)	Beton Stahl	10–100 1–6
Geldermann et al. (2012)	0,0080–0,0180	500–600	20 10 (Rührwerke, Tragluftgebläse, Motoren, Generatoren)	Beton/ Stahlbeton Stahl (ohne Baustahl)	1–15 0,09–0,3
Hundt (2010)	0,0140	560	20 (alle Anlagenteile)	Beton Stahl (+ Edelstahl)	293 6,5
Meyer-Aurich et al. (2012)	0,0019	500	15 (alle Anlagenteile)	Beton Stahl	208 43
KTBL (2010)	0,0100–0,0700	180–1.400			
Plöchl und Schulz (2006)	0,0420	Annahme: 500	15 (alle Anlagenteile)	Beton Stahl	209 44
Weidema et al. (2013)	0,0156	Annahme: 50	20 (alle Anlagenteile)		

**Zu BG<sub>B</sub>3:** Falls der Strombedarf alternativ aus erneuerbaren Quellen (Photovoltaik, Wind, Wasserkraft und Biodiesel) gedeckt wird, können für die Berechnung die entsprechenden in der Parameterdatei angegebenen Emissionsfaktoren für regenerativen Strom verwendet werden.

**Zu BG<sub>B</sub>5:** Die THG-Emissionen aus der Substratproduktion müssen zur Wahrung der Konsistenz der Berechnungen nach der BEK-Methodik ermittelt werden.

## Erläuterungen zu Gutschriften für Nebenprodukte

**P<sub>N1</sub>:** Zur Vermeidung einer Überbewertung der Nebenernteprodukte wird empfohlen, die vorgeschlagenen Werte von VDLUFA (2014) für die Humusreproduktionsleistung der Nebenernteprodukte mit einem 20 %igen Sicherheitsabschlag zu versehen.

**P<sub>N2</sub>:** Für die düngewirksamen Nährstoffe in den Nebenprodukten Stroh oder Kraut sowie für den Vorfruchtwert (z. B. 10 kg N bei Raps laut DüV) erfolgt die Berechnung der Gutschrift analog zum Wirtschaftsdünger (siehe Erläuterungen zu T<sub>N1</sub>).

**T<sub>N1</sub> und BG<sub>N2</sub>:** Der Substitutionswert für Wirtschaftsdünger und Gärrest ergibt sich aus den pflanzenverfügbaren Anteilen von P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O und N und dem Treibhausgasemissionsfaktor für die Herstellung von Phosphor-, Kali- und Harnstoffdünger. Phosphor und Kalium werden als 100 % pflanzenverfügbar angenommen.

Für Stickstoff, dessen organisch gebundener Anteil erst über längere Zeit verfügbar wird, werden die im Anhang 3 der DüV (2020) veröffentlichten Mineraldüngerwirksamkeiten und die nach § 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 5 im Folgejahr anzurechnenden 10 % der ausgebrachten Stickstoffmenge verwendet. Da für die Berechnung des Ersatzwertes die Verwendung von AHL – als derjenige Stickstoffminerale Dünger mit den geringsten spezifischen THG-Emissionen in der Herstellung – angenommen und der Ersatzwert nicht auf den gesamten Stickstoff angewendet wird, bleibt die relative Vorzüglichkeit der Anwendung von Wirtschaftsdünger gegenüber der Anwendung von Minerale Dünger gewährleistet.

**Zu BG<sub>N1</sub>:** Es wird davon ausgegangen, dass extern genutzte Wärme aus Biogasanlagen direkt oder indirekt Wärme ersetzt, die aus fossilen Rohstoffen erzeugt wird. Die Erzeugung aus Erdgas wird gewählt, da diese die geringsten Emissionen im Vergleich der fossilen Energieträger verursacht. Nur solche Wärme, die nachweisbar Wärme aus fossilen Energieträgern ersetzt, ist anrechenbar. Dies schließt beispielsweise die Anrechenbarkeit für die Gärrestaufbereitung aus. Für Holz Trocknung ist nur der Wert anrechenbar, der der Erhöhung des Brennwertes des getrockneten Gutes entspricht. Die extern genutzte Wärmemenge aus Biogas beinhaltet weder den Eigenwärmebedarf der Biogasanlage noch die Wärmeverluste bei der Wärmelieferung an den Kunden.

**Zu BG<sub>N3</sub>:** Für die Ermittlung des Humuskohlenstoffgehaltes im Gärrest wird aus Expertenschätzungen (VDLUFA 2014) die Anwendung folgender Formel in Abhängigkeit des TM-Gehaltes empfohlen:

$$\text{Humus-C im Gärrest in kg Humus-C/m}^3 = a + b \cdot \text{TM} \quad (\text{Gl. 23})$$

mit

$$a = 2 \text{ kg Humus-C/m}^3$$

$$b = 1 \text{ kg Humus-C/(m}^3 \cdot \%)$$

TM = Trockenmassegehalt in %

Hierbei wird unterstellt, dass 1 t FM = 1 m<sup>3</sup> FM

## Abkürzungen

a	Jahr
A (als Index)	Anlage
AHL	Ammonium-Harnstoff-Lösung
aLM	jährliche Lebendmassezunahme
B (als Index)	Betriebsmitteleinsatz
B <sub>0</sub>	maximale Methan-Freisetzungskapazität
BEK	Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen
BG (als Index)	Biogaserzeugung
BHKW	Blockheizkraftwerk
C	Kohlenstoff
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub> e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent(e)
d	Tag
D	Deutschland
dLM	tägliche Lebendmassezunahme
DüV	Düngeverordnung
E	Ertrag
ECM	Energie- und eiweißkorrigierte Milch
EF	Emissionsfaktor
EG	Endgewicht
EM	Emission (Emissionsmasse)
ent	enterische Fermentation
EWR	Ernte- und Wurzelrückstände
Exkr	Exkremete/Ausscheidungen
F (als Index)	Feld
FM	Frischmasse
Frkzt	Ferkelaufzucht
GAS-EM	Rechenmodell „Gasförmige Emissionen“ zur Erstellung des jährlichen Emissionsinventars der deutschen Landwirtschaft
GF	Grundfutter
GWP <sub>100</sub>	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential) über einen Zeitraum von 100 Jahren
HP	Hauptprodukt
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
KF	Kraftfutter
K <sub>2</sub> O	Kaliumoxid

kWh <sub>el</sub>	Kilowattstunde, elektrisch
kWh <sub>th</sub>	Kilowattstunde, thermisch
LM	Lebendmasse
MCF	Methan-Umwandlungsfaktor
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
MDW	Mineraldüngerwirksamkeit
ME	Gehalt an umsetzbarer Energie
MF	Mineralfutter
Mikh	Milchkuhhaltung
MJ	Megajoule
ML	Milchleistung
N	Stickstoff
N (als Index)	Nebenprodukte
NEL	Nettoenergielaktation
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NP	Nebenernteprodukt
oTM	organische Trockenmasse
P	Phosphor
P (als Index)	Pflanzenbau
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphat
RME	Rapsmethylester
Rmst	Rindermast
Schwms	Schweinemast
SF	Saugferkel
SG	Schlachtgewicht
Sh	Sauenhaltung
T (als Index)	Tierhaltung
TAN	Ammonium-Stickstoff (engl. total ammonia nitrogen)
THG	Treibhausgas(e)
TM	Trockenmasse
TP	Tierplatz
V (als Index)	Verdauung (enterische Fermentation)
W (als Index)	Wirtschaftsdünger
WD	Wirtschaftsdünger
WR	Wurzelrückstände

## Mitwirkende

Person	Institution
Dr. Effenberger, Mathias	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft mathias.effenberger@lfl.bayern.de
Fröhlich, Lisa	Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen lisa.froehlich@llh.hessen.de
Dr. Gödeke, Katja	ehemals: Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum aktuell: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
Grebe, Sven	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. s.grebe@ktbl.de
Dr. Haenel, Hans-Dieter	Thünen-Institut für Agrarklimaschutz dieter.haenel@thuenen.de
Dr. Hansen, Anja	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. ahansen@atb-potsdam.de
Häußermann, Uwe	Universität Gießen, Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement uwe.haeussermann@umwelt.uni-giessen.de
Kätsch, Stephanie	ehemals: Thünen-Institut für Ländliche Räume
Labonte, Caroline	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen caroline.labonte@lwk.nrw.de
Lasar, Ansgar	Landwirtschaftskammer Niedersachsen ansgar.lasar@lwk-niedersachsen.de
Dr. Nyfeler-Brunner, Aurelia	ehemals: Bodensee-Stiftung aktuell: Amt für Umwelt Kanton Thurgau
Osterburg, Bernhard	Thünen-Institut für Ländliche Räume bernhard.osterburg@thuenen.de
Paffrath, Petra	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen petra.paffrath@lwk.nrw.de
Dr. Poddey, Eike	ehemals: Thünen-Institut für Agrarklimaschutz aktuell: Bioland e. V.
Schmehl, Meike	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. m.schmehl@ktbl.de
Schmid, Harald	TU München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme harald.schmid@wzw.tum.de
Dr. Schraml, Martine	ehemals: VDLUFA Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V. aktuell: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
Dr. Wulf, Sebastian	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. s.wulf@ktbl.de
Zerhusen, Bianca	ehemals: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Beteiligte Organisationen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Vöttinger Str. 36  
85354 Freising  
Tel. 08161 8640-3450



Bodensee-Stiftung  
Fritz-Reichle-Ring 4  
78315 Radolfzell am Bodensee  
Tel. 07732 999540



Justus-Liebig-Universität Gießen I  
Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement  
Heinrich-Buff-Ring 26  
35392 Gießen  
Tel. 0641 9937381



Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.  
Bartningstr. 49  
64289 Darmstadt  
Tel. 06151 70010



Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen  
Kölnische Straße 48-50  
34117 Kassel  
Tel. 0561 72990



Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Mars-la-Tour-Str. 1-13  
26121 Oldenburg  
Tel. 0441 8010



Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen  
Nevinghoff 40  
48147 Münster  
Tel. 0251 23760



Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam  
Tel. 0331 56990



Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (AK) und  
Thünen-Institut für Ländliche Räume (LR)  
Bundesallee 65 (AK) und 64 (LR)  
38116 Braunschweig  
Tel. 0531 5962602 (AK) und 0531 5965501 (LR)



Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum  
Naumburger Str. 98  
07743 Jena  
Tel. 03641 6830



TU München  
Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme  
Liesel-Beckmann-Str. 2  
85354 Freising  
Tel. 08161 713032



VDLUFA – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher  
Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.  
Obere Langgasse 40  
67346 Speyer  
Tel. 06232 136121



## KTBL-Web-Anwendungen

www.ktbl.de



### Abstandsrechner

Beurteilung von Geruchsimmissionen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen nach Richtlinie VDI 3894 Blatt 2

Mit diesem Rechner kann der Abstand zwischen Tierhaltungsanlagen und anderen Nutzungen, der zum Schutz vor erheblichen Geruchsbelästigungen eingehalten werden sollte, berechnet werden. Abhängig von der Geruchsquelle (Ställe, Silos oder Güllelager) und unter Berücksichtigung der Windhäufigkeit und der Gebietskategorie (Dorfgebiet, Wohngebiet usw.) werden nach der Richtlinie VDI 3894 Blatt 2 für die relevanten Richtungen die erforderlichen Abstände berechnet. Der Abstandsrechner erleichtert die Beurteilung der Geruchsimmissionen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen für Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde, Schafe und Ziegen.

### Baukost – Investition Betriebsgebäude

Die Anwendung enthält über 200 Gebäudemodelle von Ställen für Rinder, Pferde, Milchziegen, Mutterschafe, Schweine und Geflügel sowie für Hallen. Die Gebäudemodelle werden anhand von Zeichnungen, Baubeschreibungen und Planungskennzahlen charakterisiert. Zahlreiche Stallmodelle entsprechen den EG-Richtlinien für den ökologischen Landbau. Für jedes Stallmodell können der Investitionsbedarf und die Jahreskosten insgesamt und je Tierplatz abgerufen und verschiedene Modelle direkt miteinander verglichen werden. Für die Ermittlung des Investitionsbedarfs können folgende Werte angepasst werden: Preisniveau, Mengen und Preise der einzelnen Bauelemente. Für die Berechnung der Jahreskosten können Nutzungsdauer und Zinssatz festgelegt werden. So lassen sich eigene Kalkulationen oder abgewandelte Modelle erzeugen.

### Wirtschaftlichkeitsrechner Tier

Der „Wirtschaftlichkeitsrechner Tier“ ermöglicht die Planung von Produktionsverfahren in der Tierhaltung. Acht Tierarten – darunter Rind, Schwein und Huhn – gekennzeichnet durch verschiedene Produktionsrichtungen sowie konventionelle und ökologische Produktionsverfahren können online bearbeitet werden. Je nach Tierart können verschiedene Spezifikationen vorgenommen, Preise und Mengen verändert und somit die Planung individuell angepasst werden. Leistungen und Direktkosten, ökonomische Erfolgsgrößen wie Deckungsbeitrag, Direktkostenfreie Leistung und Einzelkostenfreie Leistung sowie der Arbeitszeitbedarf und die Arbeiterledigungskosten werden kalkuliert. Zusätzlich werden Bauzeichnungen für das jeweilige Stallgebäude abgebildet.

### Wirtschaftsdünger-Rechner

Mithilfe des „Wirtschaftsdünger-Rechners“ können der betriebliche Anfall an Wirtschaftsdüngern kalkuliert, die Nährstoffgehalte abgeschätzt und die erforderliche Größe der Lagerstätten bestimmt werden. Aus über 100 Produktionsverfahren der Tierhaltung können Haltungsverfahren ausgewählt und angepasst werden, zum Beispiel der Weidegang, die Einstreumenge und -art und die Höhe der Futtermittelverluste. Kalkuliert wird die Anfallmenge je Produktionsverfahren wie auch die Mengen an Stickstoff, Phosphor und Kali. Für die Planung der Lagerstätten können Niederschlagshöhe, befestigte Hofffläche und die anfallende Prozesswassermenge berücksichtigt werden. Die Ergebnisse enthalten Anfall- und Nährstoffmengen sowie den Investitionsbedarf für die erforderlichen Lagerstätten für den gesamten Betrieb.

### Großvieheinheitenrechner

Mit dem „Großvieheinheitenrechner“ kann die Anzahl der Großvieheinheiten (GV) und der Flächenbesatz in GV/ha für Tierhaltungsbetriebe berechnet werden. Die Werte für Ente, Huhn, Pferd, Pute, Rind, Schaf, Schwein und weitere Tierarten sowie tierartspezifische Produktionsrichtungen werden auf der Basis der KTBL-Daten ermittelt. Für Aufzuchtferkel, Mast- und Zuchtschweine kann der GV-Wert, je nach Fragestellung, betriebsspezifisch berechnet und mit den KTBL-Daten verglichen werden.

