



# **Projektbericht zur Klimaschutzberatung Nordrhein-Westfalen**

in den Bereichen Pflanzenbau,  
Milchvieh- und Schweinehaltung



Projektbericht zur

# **Klimaschutzberatung NRW**

in den Bereichen  
Pflanzenbau, Milchvieh- und Schweinehaltung

# Impressum

## Herausgeber

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Nevinghoff 40

48147 Münster

Tel.: 0251 2376-0

E-Mail: [info@lwk.nrw.de](mailto:info@lwk.nrw.de)

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

## Redaktion

Geschäftsbereich 2 Standortentwicklung, Ländlicher Raum

Team Ressourcenschutz

## Autoren

Leon Kalkert

Caroline Labonte

Melanie Müller

Elisabeth Verhaag

## Titelfotos

Landpixel Bildagentur

Adobe Stock

EyeEm-Freepik

## Umschlaggestaltung

Vivien Dieckmann

Silke Kurtenbach

Köln, im November 2024



Projektmittelgeber:

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes NRW

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inhaltsverzeichnis .....                                                                     | ii |
| Abbildungsverzeichnis .....                                                                  | iv |
| Tabellenverzeichnis .....                                                                    | vi |
| Abkürzungsverzeichnis .....                                                                  | vi |
| 1 Einführung und Problemstellung .....                                                       | 1  |
| 2 Aufbau der Klimaschutzberatung in der Landwirtschaftskammer NRW .....                      | 3  |
| 2.1 Die Landwirtschaftskammer NRW - Überblick .....                                          | 3  |
| 2.2 Beratungswerkzeuge .....                                                                 | 4  |
| 2.3 Durchführung der Klimaschutzberatung .....                                               | 7  |
| 3 Methodik .....                                                                             | 9  |
| 3.1 Klimabilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe .....                                    | 9  |
| 3.2 Grundlagen der Treibhausgasbilanzierung nach BEK .....                                   | 10 |
| 3.3 Treibhausgasquellen unterschiedlicher Betriebszweige .....                               | 11 |
| 3.4 Zuordnung von Treibhausgasemissionen und -flüssen zu Produktionsprozessen .....          | 12 |
| 4 Ergebnisse der erstellten Bilanzen .....                                                   | 13 |
| 4.1 Pflanzenbau .....                                                                        | 13 |
| 4.1.1 Einordnung der Stichprobe in den Ackerbau in NRW .....                                 | 13 |
| 4.1.2 Von der Datengrundlage über die Emissionsquellen zum CO <sub>2</sub> -Fußabdruck ..... | 14 |
| 4.1.3 Einflussfaktoren auf den CO <sub>2</sub> -Fußabdruck .....                             | 19 |
| 4.1.4 Schlussbetrachtung Pflanzenbau .....                                                   | 25 |
| 4.2 Milchviehhaltung .....                                                                   | 26 |
| 4.2.1 Einordnung der Stichprobe in die Milchviehhaltung in NRW .....                         | 26 |
| 4.2.2 Von der Datengrundlage über die Emissionsquellen zum CO <sub>2</sub> -Fußabdruck ..... | 29 |
| 4.2.3 Einflussfaktoren auf den CO <sub>2</sub> -Fußabdruck .....                             | 36 |
| 4.2.4 Schlussbetrachtung Milcherzeugung .....                                                | 45 |
| 4.3 Veredelung .....                                                                         | 47 |
| 4.3.1 Einordnung der Stichprobe in die Mastschweineproduktion in NRW .....                   | 47 |
| 4.3.2 Von der Datengrundlage über die Emissionsquellen zum CO <sub>2</sub> -Fußabdruck ..... | 48 |
| 4.3.3 Einflussfaktoren auf den CO <sub>2</sub> -Fußabdruck .....                             | 52 |
| 4.3.4 Schlussbetrachtung Schweinehaltung .....                                               | 60 |
| 5 Diskussion .....                                                                           | 62 |

|     |                                                                         |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 | Forschung .....                                                         | 63 |
| 5.2 | Demonstrationsbetriebe .....                                            | 64 |
| 5.3 | Begleitung der Betriebe durch fachkundige Beratung .....                | 64 |
| 5.4 | Übergreifende Maßnahmen zur Emissionsminderung in der Tierhaltung ..... | 65 |
| 6   | Fazit.....                                                              | 67 |
| 7   | Quellenverzeichnis.....                                                 | 70 |
| 8   | Anhang .....                                                            | 71 |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1 Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland im Sektor<br>Landwirtschaft Bundes-Klimaschutzgesetz .....                                   | 1  |
| Abbildung 2 Ausschnitt aus dem Excel-Berechnungstool Milchviehhaltung .....                                                                                                       | 5  |
| Abbildung 3 Maßnahmen zur Reduktion der landwirtschaftlichen Emissionen.....                                                                                                      | 6  |
| Abbildung 4 Anzahl der Betriebe .....                                                                                                                                             | 7  |
| Abbildung 5 Treibhausgasemissionen in der landwirtschaftlichen Produktion.....                                                                                                    | 9  |
| Abbildung 6 Systematik der Treibhausgasbilanzierung nach BEK.....                                                                                                                 | 11 |
| Abbildung 7 Beispielhafte Treibhausgasflüsse zwischen Produktionsverfahren .....                                                                                                  | 12 |
| Abbildung 8 Anbaufläche des Ackerlands der landwirtschaftlichen Betriebe in NRW .....                                                                                             | 13 |
| Abbildung 9 Anzahl erstellter CO <sub>2</sub> -Bilanzen im Pflanzenbau .....                                                                                                      | 14 |
| Abbildung 10 Emissionsquellen Winterweizen Beispielbetrieb .....                                                                                                                  | 16 |
| Abbildung 11 Treibhausgas-Quellen im Winterweizenanbau .....                                                                                                                      | 17 |
| Abbildung 12 CO <sub>2</sub> -Fußabdruck balanzierter Ackerbaukulturen.....                                                                                                       | 18 |
| Abbildung 13 Bodenpunkte in NRW .....                                                                                                                                             | 20 |
| Abbildung 14 Trockenmasseertrag ausgewählter Wintergetreidekulturen .....                                                                                                         | 21 |
| Abbildung 15 Zusammenhang zwischen dem Trockenmasseertrag und dem CO <sub>2</sub> -Fußabdruck<br>ausgewählter Wintergetreidekulturen.....                                         | 22 |
| Abbildung 16 Zusammenhang zwischen der N-Bilanz und dem CO <sub>2</sub> -Fußabdruck ausgewählter<br>Wintergetreidekulturen .....                                                  | 24 |
| Abbildung 17 Anzahl Milchkuhhalter in NRW .....                                                                                                                                   | 26 |
| Abbildung 18 Durchschnittsbestand je Milchkuhhalter in NRW .....                                                                                                                  | 26 |
| Abbildung 19 Milcherzeugung insgesamt in NRW .....                                                                                                                                | 27 |
| Abbildung 20 Durchschnittliche Milchleistung pro Kuh und Jahr in NRW .....                                                                                                        | 28 |
| Abbildung 21 Schematische Darstellung der Berechnung produktbezogener Klimabilanzen in der<br>Milchviehhaltung .....                                                              | 29 |
| Abbildung 22 Emissionsquellen Milchviehhaltung Beispielbetrieb .....                                                                                                              | 32 |
| Abbildung 23 Treibhausgas-Quellen in der Milchviehhaltung .....                                                                                                                   | 33 |
| Abbildung 24 CO <sub>2</sub> -Fußabdruck Milch Projektbetriebe .....                                                                                                              | 35 |
| Abbildung 25 Grundfutterleistung Projektbetriebe Milchvieh .....                                                                                                                  | 36 |
| Abbildung 26 Zusammenhang zwischen Grundfutterleistung und CO <sub>2</sub> -Fußabdruck der Projektbetriebe<br>Milch .....                                                         | 38 |
| Abbildung 27 Remontierung der Projektbetriebe Milchvieh .....                                                                                                                     | 39 |
| Abbildung 28 Zusammenhang zwischen Remontierung und CO <sub>2</sub> -Fußabdruck Milchvieh .....                                                                                   | 40 |
| Abbildung 29 Minderungspotenzial der Treibhausgasemissionen in der Milchviehhaltung durch eine<br>Optimierung der Remontierungsrate .....                                         | 41 |
| Abbildung 30 Wirtschaftsdüngerlagerung Milchviehhaltung: CO <sub>2</sub> -Fußabdruck in Abhängigkeit vom<br>Anteil der Vergärung von Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage..... | 42 |
| Abbildung 31 Milchleistung der untersuchten Betriebe.....                                                                                                                         | 43 |
| Abbildung 32 Zusammenhang zwischen Milchleistung und CO <sub>2</sub> -Fußabdruck der Projektbetriebe .....                                                                        | 44 |

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 33 Haltung von Schweinen in landwirtschaftlichen Betrieben in NRW.....                                                                                                      | 47 |
| Abbildung 34 Emissionsquellen Schweinemast Beispielbetrieb .....                                                                                                                      | 50 |
| Abbildung 35 Treibhausgas-Quellen in der Mastschweinehaltung.....                                                                                                                     | 51 |
| Abbildung 36 CO <sub>2</sub> -Fußabdruck pro kg Schlachtgewicht Schweinemast .....                                                                                                    | 52 |
| Abbildung 37 CO <sub>2</sub> -Fußabdruck der eingesetzten Futtermittel in der Schweinemast .....                                                                                      | 53 |
| Abbildung 38 Zusammenhang zwischen CO <sub>2</sub> -Fußabdruck Futtermittel und CO <sub>2</sub> -Fußabdruck<br>Schweinefleisch .....                                                  | 53 |
| Abbildung 39 Futterverwertung Projektbetriebe Schweinemast.....                                                                                                                       | 55 |
| Abbildung 40 Zusammenhang zwischen Futterverwertung und CO <sub>2</sub> -Fußabdruck Schweinemast.....                                                                                 | 55 |
| Abbildung 41 Verlustanteil Projektbetriebe Schweinemast.....                                                                                                                          | 58 |
| Abbildung 42 Zusammenhang zwischen Tierverlusten und CO <sub>2</sub> -Fußabdruck Schweinemast.....                                                                                    | 58 |
| Abbildung 43 Wirtschaftsdüngerlagerung Mastschweinehaltung: CO <sub>2</sub> -Fußadbruck in Abhängigkeit vom<br>Anteil der Vergärung der Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage ..... | 59 |
| Abbildung 44 Aufteilung der Treibhausgas-Quellen der untersuchten Produktionsverfahren .....                                                                                          | 62 |
| Abbildung 45 Veranschaulichung der Handlungsempfehlungen.....                                                                                                                         | 68 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 GWP 100 der Treibhausgase Methan und Lachgas .....      | 10 |
| Tabelle 2 Kenndaten der 51 Projektbetriebe Milchvieh .....        | 28 |
| Tabelle 3 Betriebsdaten Beispielbetrieb Milchviehhaltung .....    | 31 |
| Tabelle 4 Betriebsdaten Beispielbetrieb Mastschweinehaltung ..... | 49 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                          |                                                                       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| AHL .....                | Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung                                       |
| BEK-Standard .....       | Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen              |
| BHKW .....               | Blockheizkraftwerk                                                    |
| BMEL .....               | Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft                   |
| CH <sub>4</sub> .....    | Methan                                                                |
| CO <sub>2</sub> .....    | Kohlenstoffdioxid                                                     |
| CO <sub>2</sub> eq ..... | CO <sub>2</sub> -Äquivalente                                          |
| d .....                  | Tage                                                                  |
| dt .....                 | Dezitonnen                                                            |
| DWD .....                | Deutscher Wetterdienst                                                |
| ECM .....                | Energie korrigierte Milch                                             |
| EF .....                 | Emissionsfaktor                                                       |
| eq .....                 | Äquivalent                                                            |
| g .....                  | Gramm                                                                 |
| GWP .....                | Global Warming Potential                                              |
| GWP100 .....             | Global Warming Potential Bezugsgröße 100 Jahre                        |
| h .....                  | Stunde                                                                |
| ha .....                 | Hektar                                                                |
| IPCC .....               | Intergovernmental Panel on Climate Change                             |
| kg .....                 | Kilogramm                                                             |
| KTBL .....               | Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft             |
| KSG .....                | Klimaschutzgesetz                                                     |
| l .....                  | Liter                                                                 |
| LANUV .....              | Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen |
| LED .....                | Leuchtdiode                                                           |
| LF .....                 | Landwirtschaftliche Nutzfläche                                        |
| LM .....                 | Lebendmasse                                                           |
| LWK .....                | Landwirtschaftskammer                                                 |
| mg .....                 | Milligramm                                                            |
| Mio. ....                | Millionen                                                             |
| mm .....                 | Millimeter                                                            |
| N .....                  | Stickstoff                                                            |

|                        |                                                                   |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| N <sub>2</sub> O ..... | Lachgas                                                           |
| NH <sub>3</sub> .....  | Ammoniak                                                          |
| NRW .....              | Nordrhein-Westfalen                                               |
| P .....                | Phosphor                                                          |
| PB .....               | Betriebsmitteleinsatz im Pflanzenbau                              |
| PF .....               | THG-Emissionen in der Pflanzenproduktion                          |
| PN .....               | Treibhausgasgutschriften für Nebenprodukte                        |
| PSM .....              | Pflanzenschutzmittel                                              |
| PV .....               | Photovoltaik                                                      |
| SG .....               | Schlachtgewicht                                                   |
| SI .....               | Internationales Einheitensystem                                   |
| sog. ....              | sogenannt                                                         |
| t .....                | Tonnen                                                            |
| TAN .....              | total ammonium nitrogen                                           |
| TB .....               | Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz |
| THG .....              | Treibhausgas                                                      |
| TM .....               | Trockenmasse                                                      |
| TV .....               | Treibhausgasemissionen aus enterischer Fermentation               |
| TW .....               | Treibhausgasemissionen aus Wirtschaftsdünger                      |
| VDI .....              | Verein Deutscher Ingenieure                                       |
| z.B. ....              | zum Beispiel                                                      |

### **Hinweise zur Sprachregelung**

Zur besseren Lesbarkeit wird in diesem Projektbericht das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.

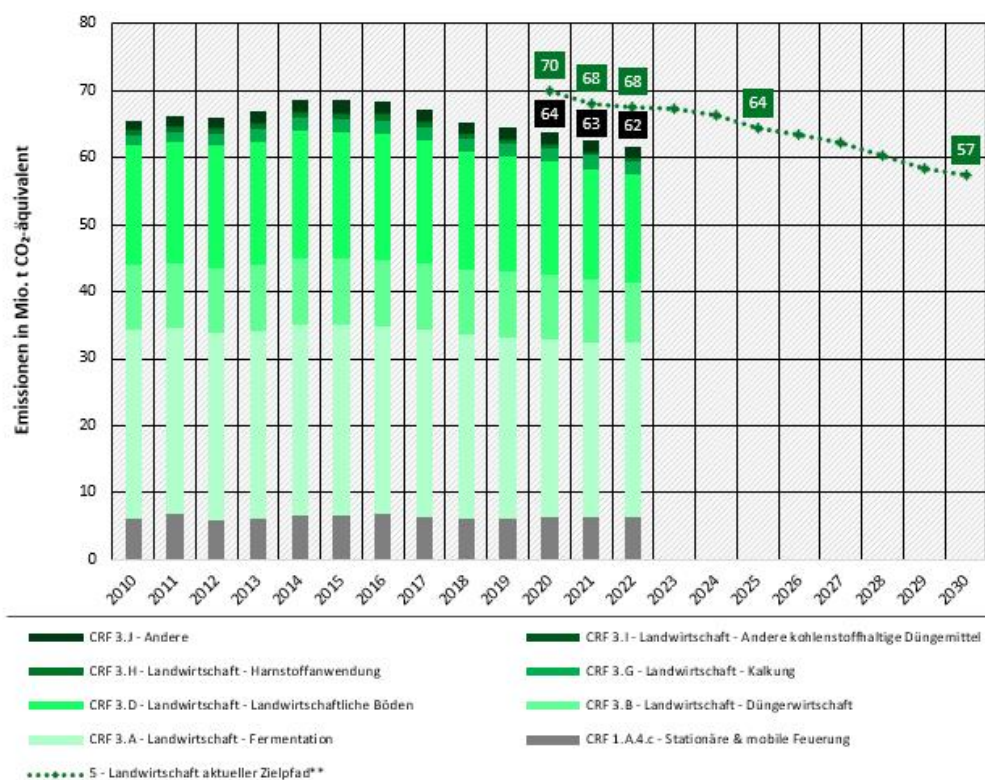
Bei den etablierten Begriffen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck oder CO<sub>2</sub>-Bilanz wird bewusst auf die Ergänzung "eq" verzichtet, da diese Bezeichnungen in der wissenschaftlichen und öffentlichen Diskussion bereits als gebräuchliche und allgemein verständliche Terminologie etabliert sind. Die Vereinfachung dient der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit, ohne dass die inhaltliche Aussagekraft darunter leidet, da in den jeweiligen Kontexten üblicherweise impliziert ist, dass es sich um CO<sub>2</sub>-Äquivalente handelt.



# 1 Einführung und Problemstellung

Die Landwirtschaft bewegt sich in einem besonderen Spannungsfeld. Wichtigste Aufgabe ist sicherlich die Erzeugung von Nahrungsmitteln. Gleichzeitig soll die Landwirtschaft auch ihren Teil zur Energieerzeugung leisten und Klimaschutzleistungen umsetzen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage wie groß der Hebel in der Reduzierung der Treibhausgasemissionen über Veränderungen in der Flächenbewirtschaftung und Tierproduktion ist. Eine Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln ist zwangsläufig mit einer CO<sub>2</sub>eq-Treibhausgasemission verbunden. Hierbei entstehen neben Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>; Mineraldünger, Humusabbau, Energieeinsatz) auch die treibhauswirksameren Gase Methan (CH<sub>4</sub>; Verdauung der Wiederkäuer, Güllelagerung) und Lachgas (N<sub>2</sub>O; N-Auswaschung, Ammoniakdeposition, Düngung).

Direkte Kohlenstoffdioxidemissionen können sicherlich mittelfristig in einem großen Umfang gesenkt werden. Dagegen entstehen Lachgasemissionen vor allem im Bereich der Stickstoffauswaschung und NH<sub>3</sub>-Deposition, während Methan bei der Verdauung von Wiederkäuern entsteht. Diese Emissionen sind bei der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln unvermeidbar und können nicht durch technische Verfahren ersetzt werden. Dennoch ist es wichtig, Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft umzusetzen.



\* Die Aufteilung der Emissionen weicht von der UN-Berichterstattung ab, die Gesamtemissionen sind identisch  
 \*\* entsprechend der Novelle des Bundes-KSG vom 12.05.2021, Jahre 2022-2030 angepasst an Über- & Unterschreitungen

Quelle: Umweltbundesamt 13.03.2023

**Abbildung 1 Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland im Sektor Landwirtschaft Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) (Quelle: Umweltbundesamt)**

Zum Schutz des Klimas werden sowohl im Bundes- als auch im Landes-Klimaschutzgesetz Einsparpotentiale und Einsparziele klimaschädlicher Treibhausgase für die einzelnen Sektoren festgelegt. Für die Landwirtschaft ist auf Bundesebene ein Reduktionsziel von 70 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>eq) im Jahr 2020 auf 56 Mio. t CO<sub>2</sub>eq im Jahr 2030 festgelegt worden.

Um jedoch auch auf Produktebene nachhaltiger zu wirtschaften, ist es unerlässlich, die Emissionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette einzelner Produkte zu kennen, zu analysieren und zu vergleichen. Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Produkts ermöglicht spezifische Emissionstreiber zu identifizieren und gezielte Reduktionsmaßnahmen zu entwickeln. Die Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks eines landwirtschaftlichen Produkts leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der nationalen und internationalen Klimaschutzziele.

Um belastbare Zahlen zu den Treibhausgasemissionen zu erhalten sowie Minderungspotenziale und notwendige Förderinstrumente zu identifizieren, wurde von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK) das Projekt „Klimaschutzberatung NRW“ ins Leben gerufen. Im Rahmen der Landesförderung „progress.nrw“ des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes NRW konnte die LWK eine Klimaschutzberatung in den Bereichen Rindvieh, Veredelung und Pflanzenbau auf landwirtschaftlichen Betrieben anbieten. Für die Genehmigung, Projektabwicklung und Auszahlung der Landesförderung „progress.nrw“ wurde die Bezirksregierung Amsberg seitens des Ministeriums beauftragt. Die Datenerhebung zur Erstellung eines produktbezogenen CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks sowie die anschließende Beratung konnten so für die Landwirte kostenfrei angeboten werden.

## **2 Aufbau der Klimaschutzberatung in der Landwirtschaftskammer NRW**

### **2.1 Die Landwirtschaftskammer NRW - Überblick**

Die Landwirtschaftskammer NRW ist eine Körperschaft öffentlichen Rechts. Sie übernimmt neben Tätigkeiten im Rahmen der Selbstverwaltung auch hoheitliche Aufgaben. Ein Schwerpunkt der Selbstverwaltung ist die Beratung, die mit ca. 200 Stellen ausgestattet ist und sich auf nahezu sämtliche landwirtschaftliche Tätigkeitsfelder erstreckt. Hinzu kommen noch Aufgabenschwerpunkte in der Aus-, Fort- und Weiterbildung und im Versuchswesen. Zu den Aufgabenstellungen des Direktors der Landwirtschaftskammer als Landesbeauftragter zählen neben der Abwicklung der landwirtschaftsbezogenen Fördermaßnahmen in NRW insbesondere fachbehördliche Aufgaben im Bereich des Bodenrechts, vielfältige Planungs- und Genehmigungsverfahren im Bereich des amtlichen Pflanzenschutzes und der Tiergesundheit. Die Landwirtschaftskammer und der Landesbeauftragte verfügen aufgrund ihres hohen Organisationsgrades und ihrer Zuständigkeiten in nahezu allen landwirtschaftsrelevanten Themenfeldern über eine sehr breite Fachkompetenz. Umfangreiche Zugriffsmöglichkeiten auf das in der Landwirtschaftskammer vorhandene Know-how ergeben sich durch die in der Landwirtschaftskammer tätigen Mitarbeiter. Dadurch ist die Beratung in der Lage, im Beratungsprozess auftretende Fragen und Problemstellungen innerhalb der Landwirtschaftskammer zeitnah und kompetent zu klären.

Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen versteht sich als umfassender Dienstleister für die Landwirtschaft und den ländlichen Raum in Nordrhein-Westfalen. Sie verfügt über vielfältige Kundenbeziehungen in die landwirtschaftliche Praxis.

Vor diesem Hintergrund soll mit dem Projekt „Klimaschutzberatung für landwirtschaftliche Betriebe in Nordrhein-Westfalen“ erstmals eine Klimaschutzberatung für landwirtschaftliche Betriebe in Nordrhein-Westfalen entwickelt und nachhaltige Klimaschutzmaßnahmen verifiziert werden. Grundlage hierfür ist die Einbeziehung aller Einflussfaktoren und Wechselwirkungen zwischen den Produktionsfaktoren in der Landwirtschaft.

#### **Schulung der Klimaschutzberater**

Da die Klimaschutzberatung je nach landwirtschaftlichem Betriebszweig sehr fachspezifisch ausgerichtet ist, wurden aus dem bestehenden Beratungspersonal der Landwirtschaftskammer NRW Mitarbeiter geschult und ihr Beratungsportfolio um die Klimaschutzberatung für Einzelbetriebe erweitert. Ein großer Vorteil hierbei war das bereits vorhandene fachliche Know-how, der bereits bestehende Kontakt zu den landwirtschaftlichen Betrieben sowie eine gewisse räumliche Nähe. In Anlehnung an die bereits bestehende Beratungsstruktur der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen wurde NRW in 11 Klimaschutz-Beratungsgebiete eingeteilt: 6 Beratungsgebiete im Bereich Pflanzenbau, 3 im Bereich Rinderhaltung und 2 im Bereich Veredlung. (Siehe Anhang 1, Anhang 2 und Anhang 3).

Für jedes Beratungsgebiet wurden 1-2 Klimaschutzberater weitergebildet. Diese Weiterbildung fand zu Beginn des Projektes statt. Die Beraterinnen und Berater stammen sowohl aus dem produktionstechnischen Bereich als auch aus der Ökonomieberatung und bringen daher schon ein breites Vorwissen mit.

Es wurden insgesamt 17 Berater geschult. Die Weiterbildung gliederte sich in einen theoretischen und einen praktischen Teil und umfasste zwei Grundschulungen mit den Schwerpunkten:

- Klimaschutz in der Landwirtschaft
- Projektablauf
- Bedienung des Berechnungstools
- Mögliche Stellschrauben zur CO<sub>2</sub>eq-Reduzierung
- Beratungsablauf

Im theoretischen Teil mit dem Schwerpunkt Klimaschutz in der Landwirtschaft wurde den Beratern Hintergrundwissen zum Thema Klimaschutz in der Landwirtschaft vermittelt. Gleichzeitig wurde die Beratung geschult, Betriebe von den Vorteilen einer Klimaschutzberatung zu überzeugen. Im Bereich Projektablauf wurden die Ziele und die Durchführung des Projekts erörtert.

Es folgte der praktische Teil mit der Schulung des Berechnungstools. Hier konnten die Berater erste Erfahrungen in der Erstellung eines CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks sammeln. Gemeinsam wurden die Eingabedaten und deren Herkunft diskutiert und die Bedienerfreundlichkeit getestet. Ebenso bot das Berechnungstool eine Diskussionsgrundlage für mögliche Minderungsmaßnahmen zur CO<sub>2</sub>eq-Reduzierung. Die berechneten Effekte von Minderungsmaßnahmen konnten direkt im Tool dargestellt werden.

Über die Projektlaufzeit wurden für jeden Beratungsschwerpunkt vierteljährlich gemeinsame Austauschrunden angeboten. Mit Hilfe dieser Austauschrunden bekamen die Berater neuen fachlichen Input durch die Projektzentrale oder durch weitere Referenten der Landwirtschaftskammer NRW. Zudem ermöglichte der gemeinsame Austausch die Herangehensweisen abzusprechen und Lösungen für auftretende Probleme zu erarbeiten. Die Erfahrungen der Beratung auf den Betrieben dienten wiederum der Weiterentwicklung der Methodik des Beratungstools. Dieser Austausch war ein zentraler Bestandteil des Projekts.

## **2.2 Beratungswerkzeuge**

Wie bereits beschrieben, wurde den Beratern in der Basisschulung ihr wichtigstes Beratungsinstrument, das zu verwendende Excel-Berechnungstool, vorgestellt. Für jeden Beratungsschwerpunkt wurde ein eigenes Berechnungstool entwickelt. Mit den einzelnen Tools konnte für folgende Produktionsverfahren ein CO<sub>2</sub>-Fußabdruck berechnet werden:

- Im Pflanzenbau: alle gängigen Ackerkulturen außer Gemüsebau
- In der Veredlung: Mastschweinehaltung
- In der Rinderhaltung: Milchviehhaltung

Landwirtschaftskammer

Nordrhein-Westfalen

berechnet nach

vorläufig BEK 1.4 mit

21.10.2024

Betrieb:

Betriebsname

Ort:

Ort

Jahr:

Zeitraum

Berater:

Vorname Nachname

Tierbestand

Einheit

Betrieb

Anpassung

Durchschnittsbestand

Tiere

100

100

Anfangsbestand

Tiere

100

100

Endbestand

Tiere

100

100

Gewicht der Tiere

kg Lebendmasse

675

675

Schlachtkühe

Tiere

28

28

Gewicht der Schlachtkühe

kg Lebendmasse

575

575

Zuchtviehverkäufe

Tiere

0

0

Gewicht der Zuchttiere

kg Lebendmasse

630

630

Kuhverluste

Tiere

8

8

Gewicht der Kuhverluste

kg Lebendmasse

575

575

Lebendgeburten

Tiere

110,0

110

Gewicht der Kälber 28 Tage

kg Lebendmasse

67

67

Kälberverluste bis 28 Tage

Tiere

5

5

Zwischenkalbezeit

Tage

410

410

Trockensteherzeit

Tage

50

50

Leistung

kg nat Milch

1.000.000

1.000.000

Fettgehalt

% Anteil

4,00

4

Eiweißgehalt

% Anteil

3,40

3

Harnstoffgehalt

ppm

220

220

ECM

errechnete Menge kg ECM

1.000.000

1.000.000

FPCM

errechnete Menge kg FPCM

1.007.640

1.007.640

kg pro TP Betrieb

10.000

kg pro TP Anpassung

10.000

Halungssystem

Wirtschaftsdüngersystem

Anzahl Tiere zuweisen

-

-

Anbindestall, strohbasiert

Anzahl Tiere

0

0

Anbindestall, güllebasiert

Anzahl Tiere

0

0

Festmist

Anzahl Tiere

10

10

Biosenlaufstall

Anzahl Tiere

90

90

Liegeboxensystem

Anzahl Tiere zuweisen

-

-

Hochbox

Anzahl Tiere

90

90

Tiefbox/ hochverlegte Tiefbox

Anzahl Tiere

0

0

Weidehaltung

Weidehaltungsgruppe

Anzahl der Tiere

0

0

Weidehaltungsdauer

Anzahl der Tage

0

0

Weidehaltungsdauer

Stunden/Tag

0

0

Wirtschaftsdüngerlagerung

Art der Güllelagerung

Gülle mit natürlicher Schwimmdecke

Gülle mit natürlicher Schwimmdecke

Gülleverwertung in Biogasanlage

% der angefallenen Gülle

0

0

Mistverwertung in Biogasanlage

% des angefallenen Mistes

0

0

kg pro TP & Tag Betrieb

21,58

kg pro TP & Tag Anpassung

21,58

Fütterung

Grassilage

dt TM

0

0

individuelle Grassilage

dt TM

1.915

1.915

individueller CO2-Emissionswert

g CO2e/kg TM

414

414

Maissilage

dt TM

0

0

dt TM

5,25

dt TM

5,25

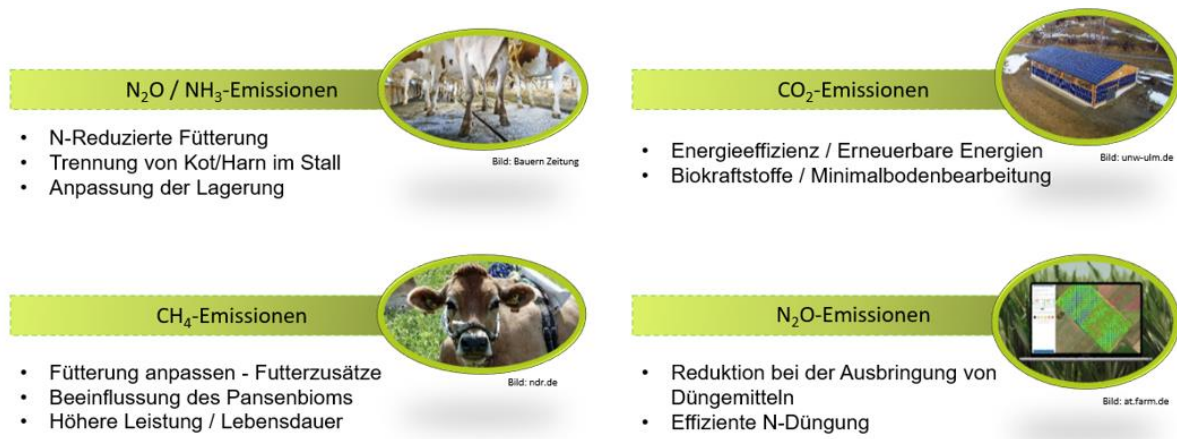
| Hilfsrechnung Verfügbar für innerbetrieblichen Verbrauch |                                   |               |                     |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------------|
| dt TM                                                    |                                   | Verbrauch (%) |                     |
| Jungvieh pro Jahr                                        | Summe Verbrauch Jungvieh und Kühe | eigener Anbau | Anteil Futter/Anbau |
| -                                                        | 1.915                             | 2.566,20      | 75%                 |

Abbildung 2 Ausschnitt aus dem Excel-Berechnungstool Milchviehhaltung

Die zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdruck notwendigen Eingabedaten im Berechnungstool werden in den Kapiteln Methodik als auch bei der Ergebnisauswertung näher beschrieben, sodass an dieser Stelle auf eine detaillierte Darstellung verzichtet wird.

Um die Berater im Beratungsprozess zu unterstützen wurden Beratungskarten erstellt, die für die Berater als Gedankenstütze und als Diskussionsgrundlage im Beratungsprozess während des Betriebsbesuchs dienen sollten. Diese Karten beinhalteten vor allen Dingen CO<sub>2</sub>eq-Minderungsstrategien. (Siehe Abbildung 3, Anhang 4 bis Anhang 6). Sie wurden maßgeblich eingesetzt, um die Zusammenhänge zwischen den Produktionsverfahren und den Emissionen zu erläutern bzw. um Reduktionsmaßnahmen im Beratungsgespräch anschaulich darzustellen.

5

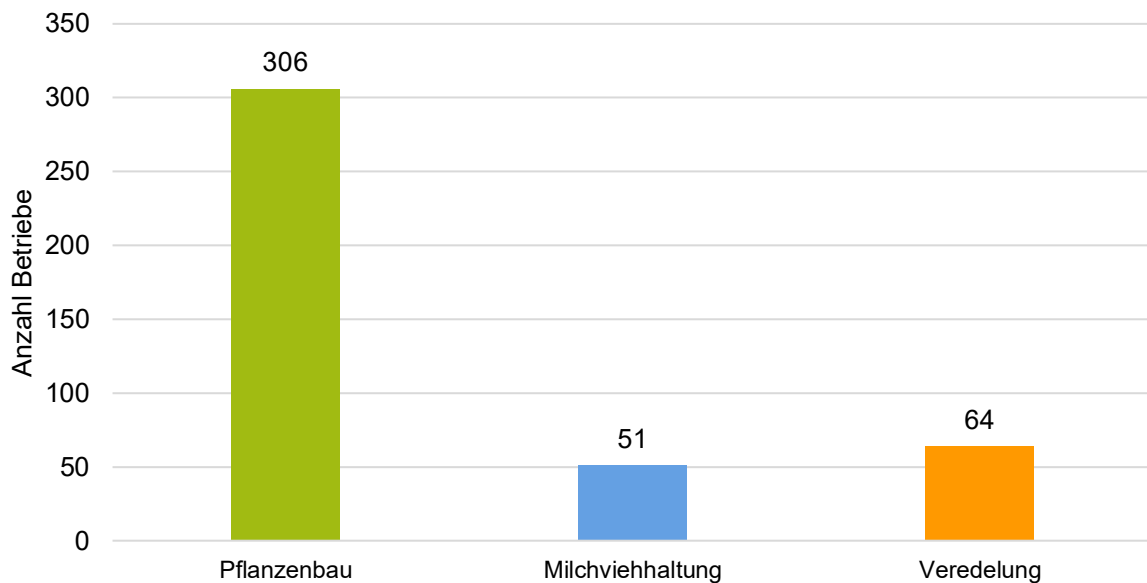


**Abbildung 3 Maßnahmen zur Reduktion der landwirtschaftlichen Emissionen**

## 2.3 Durchführung der Klimaschutzberatung

### Akquise der Projektbetriebe

Die Akquise der Projektbetriebe erfolgte im Rahmen von Informationsveranstaltungen, über persönliche Empfehlungen sowie über Artikel in Fachzeitschriften. Bei einer telefonischen Terminabsprache konnten bereits die Ziele des ersten Betriebsbesuches sowie die Themenschwerpunkte des Betriebsleiters angesprochen werden. Die Betriebe lagen alle in NRW, verteilt auf die oben beschriebenen Beratungsregionen. Insgesamt wurden 421 Betriebe akquiriert. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Betriebe auf die verschiedenen Produktionsverfahren.



**Abbildung 4 Anzahl der Betriebe**

### Vorbereitung des ersten Betriebsbesuches

Bei Erstkontakt landwirtschaftlicher Betriebe zur Beratung der LWK NRW wurden Datenerhebungsbögen verschickt. Diese dienten als Vorbereitung und Hilfestellung für die Betriebsleitung, die so einen Überblick über die benötigten Datensätze erhielt. So konnte der erste Betriebsbesuch optimal vorbereitet werden.

Bei bereits bestehendem Beratungskontakt konnten erstellte Betriebszweigauswertungen mit der Zustimmung des Betriebsleiters genutzt werden. Dadurch wurde ein Großteil der komplexen Datenerfassung erleichtert. Zusätzlich wurden die Betriebsleiter darüber informiert, welche weiteren Betriebsdaten inklusive deren Herkunft für die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks benötigt wurden.

### Betriebsbesuch

Mit den Informationen aus den Vorgesprächen erfolgte ein erster Betriebsbesuch, der je nach Komplexität des Betriebs einen zeitlichen Umfang von 3 bis 4 Stunden hatte. Er beinhaltete einen Betriebsrundgang vor Ort sowie bei Ackerbaubetrieben eine eventuelle Feldbegehung. Mit den Eindrücken aus dem

Betriebsrundgang und den Vorbereitungen des Betriebsleiters konnte anschließend mit der Datenerfassung im Berechnungstool begonnen werden. Während dessen wurde mit den Betriebsleitern über die Notwendigkeit der Daten und ihren Einflussfaktor auf den zu errechnenden CO<sub>2</sub>-Fußabdruck diskutiert. Im Laufe der Beratung konnte ein erster Eindruck gewonnen werden, welche Stellschrauben und Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>eq-Reduzierung auf dem Betrieb möglich sind und zugleich vom Betriebsleiter im täglichen Betriebsablauf sinnvoll integriert werden können. Bei Vorliegen aller notwendigen Daten wurde der Betriebsbesuch mit einer fertig gerechneten CO<sub>2</sub>-Bilanz abgeschlossen.

### **Aufbereitung der Ergebnisse**

Die Ergebnisse des Betriebsbesuches wurden vom Berater digital aufgearbeitet, sodass die Betriebe zusätzlich zu ihrem errechneten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eine Darstellung der Emissionsquellen als Dokumentation der Beratung bekamen.

### **Geplanter zweiter Betriebsbesuch und Begleitung der Betriebe im Umsetzungsprozess**

Ursprünglich sah der gestellte Projektantrag vor, zwei Betriebsbesuche durch geschulte Berater durchzuführen. Beim ersten Besuch sollte eine umfassende CO<sub>2</sub>-Bilanzierung erstellt werden. Beim zweiten Besuch sollten auf Basis dieser Bilanzierung gemeinsam mit den Betriebsleiterinnen und -leitern konkrete Maßnahmen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>eq-Emissionen entwickelt und direkt in die Praxis umgesetzt werden. Dazu gehörten unter anderem Maßnahmen wie die Optimierung der Düngung, Änderungen im Futtermanagement oder auch größere Baumaßnahmen, wie der Bau einer Biogasanlage.

Im Laufe des Projekts wurde jedoch deutlich, dass viele der geplanten Maßnahmen zur Emissionsreduktion nicht kurzfristig umsetzbar sind, sondern eine langfristige Begleitung erfordern. Der Bau und Betrieb einer Biogasanlage oder die Anpassung von Produktionssystemen erfordern nicht nur hohe Investitionen, sondern auch umfassende Planung und kontinuierliche Betreuung über mehrere Jahre hinweg. Daher war die vorgesehene Begleitung bei der Umsetzung von Reduktionsmaßnahmen in der zweijährigen Projektlaufzeit nicht möglich.

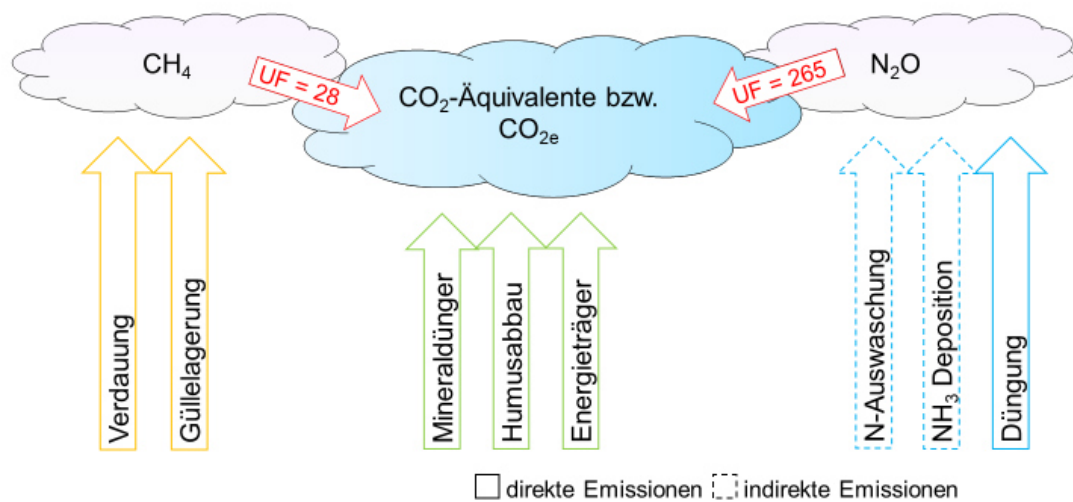
### **Anpassung der Vorgehensweise**

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde der Fokus auf die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung gelegt, um eine möglichst breite Datengrundlage für die landwirtschaftlichen Betriebe in NRW zu schaffen. Diese Entscheidung ermöglichte es, mehr Betriebe zu beraten und deren CO<sub>2</sub>-Bilanzen zu erstellen. Die gewonnene Datenbasis war dabei von großem Nutzen: Auf Basis dieser Daten können nun gezieltere Empfehlungen für zukünftige Maßnahmen gegeben werden, die sowohl die Anforderungen der landwirtschaftlichen Betriebe als auch die politischen Klimaschutzziele berücksichtigen. Langfristig soll die Datengrundlage auch dazu dienen, Beratungsangebote und Unterstützungsprogramme passgenauer auf die Bedürfnisse der Betriebe abzustimmen um somit eine effektivere Emissionsreduktion zu erreichen.

### 3 Methodik

#### 3.1 Klimabilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe

In der Klimabilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe spielen Methan ( $\text{CH}_4$ ), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) als direkte Treibhausgasemissionen eine entscheidende Rolle (Abbildung 5). Zusätzlich wird Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) als indirekt wirksames Treibhausgas in die Berechnung der einzelbetrieblichen Klimabilanzen einbezogen, da die Deposition von  $\text{NH}_3$  zu  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen führen kann, die wiederum direkt klimawirksam sind.



**Abbildung 5 Treibhausgasemissionen in der landwirtschaftlichen Produktion (eigene Darstellung)**

Der Begriff "Emission" bezeichnet den Vorgang des Übertritts eines Stoffes in die Atmosphäre (vgl. VDI 2450). Die Berechnung der Emissionen erfolgt durch Multiplikation der jeweiligen Aktivitätsdaten, d. h. der Menge der Emissionsquelle, mit den entsprechenden Emissionsfaktoren. Der Emissionsfaktor ist der Umrechnungsfaktor, mit dem die Emissionsmenge pro Einheit angegeben wird.

#### Formel 1 Berechnung der Emission pro Einheit

$$\text{Aktivitätsdaten} \times \text{Emissionsfaktor} = \text{Emission}$$

Beispiel für 500 Liter Diesel:  $500 \text{ Liter} \times 2,65 \text{ kg CO}_2/\text{Liter Diesel} = 1.325 \text{ kg CO}_2$  bzw.  $1,325 \text{ t CO}_2$

Die im Projekt verwendeten Aktivitätsdaten, beispielsweise Diesel oder Düngemittel werden aus einer Vielzahl unterschiedlicher Datenquellen gewonnen. Zu diesem Zweck werden offizielle Statistiken, Datenbanken sowie eigene Erhebungen herangezogen. Die Emissionsfaktoren wurden auf der Grundlage von Studien unter Berücksichtigung verschiedener Aktivitätsdaten, wie z. B. Düngemittel, Ausbringungstechniken und Einarbeitungszeiten, verwendet.

Um die Treibhausgasemissionen miteinander vergleichen zu können, ist es notwendig, Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) in CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>eq) umzurechnen. Mit dieser Umrechnung der einzelnen Treibhausgase soll ihrem unterschiedlichen Beitrag zur globalen Erwärmung Rechnung getragen werden. Dazu werden die Emissionen mit dem so genannten "Global Warming Potential" (GWP) verrechnet. Das Potenzial der Treibhausgase wird dabei in Relation zu CO<sub>2</sub> betrachtet, welches ein GWP von 1 hat.

## Formel 2 Berechnung vom Treibhausgaspotential der Emissionen

$$Emission \times GWP100 = CO_2eq$$

Die in diesem Projekt verwendeten Umrechnungsfaktoren der Treibhausgase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O in CO<sub>2</sub>eq werden vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) vorgegeben und beziehen sich auf das GWP100, d.h. auf einen Zeithorizont von 100 Jahren. Der IPCC ist eine Institution der Vereinten Nationen und wird oft als „Weltklimarat“ bezeichnet. In seinem Auftrag tragen Experten in regelmäßigen Abständen den aktuellen Stand des Klimawandels zusammen und bewerten ihn aus wissenschaftlicher Sicht.

**Tabelle 1 GWP 100 der Treibhausgase Methan und Lachgas (IPCC 2014)**

| Treibhausgas                 | GWP 100 |
|------------------------------|---------|
| Methan CH <sub>4</sub>       | 28      |
| Lachgas N <sub>2</sub> O     | 265     |
| Kohlendioxid CO <sub>2</sub> | 1       |

Aus Tabelle 1 GWP 100 der Treibhausgase Methan und Lachgas (IPCC 2014) geht hervor, dass das Treibhausgas N<sub>2</sub>O eine 265-mal so hohe Klimawirksamkeit aufweist wie CO<sub>2</sub>, während Methan eine 28-mal so hohe Klimawirksamkeit aufweist. Dieser Umrechnungsfaktor (UF) wird auch in Abbildung 5 dargestellt.

## 3.2 Grundlagen der Treibhausgasbilanzierung nach BEK

Als grundlegende Methodik zur Erstellung der Klimabilanzen wird der Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, 2021) verwendet. Der BEK-Standard differenziert grundsätzlich zwischen drei Kategorien von Emissionen: direkten, indirekten und vorgelagerten Emissionen. Direkte Emissionen sind unmittelbar mit der landwirtschaftlichen Tätigkeit assoziiert, beispielsweise mit der Stickstoffdüngung oder der enterischen Fermentation bei Wiederkäuern. Als indirekte Emissionen werden jene bezeichnet, die bei-

spielsweise durch die Ablagerung von  $\text{NH}_3$  und der anschließenden teilweisen Umwandlung in Lachgasemissionen ( $\text{N}_2\text{O}$ ) entstehen. Vorgelagerte Emissionen werden dagegen bereits durch den Zukauf von Betriebsmitteln in den Betrieb importiert.

Um die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen zu ermitteln, ist es zunächst erforderlich, die emissionsverursachenden Stoffe in ihrer jeweiligen Menge zu erfassen. Die Berechnung der emittierten Stoffmengen erfolgt gemäß der Methodik des Nationalen Inventarberichts durch Multiplikation der jeweiligen Stoffmengen (Aktivitätsdaten) mit den zugeordneten Emissionsfaktoren. Im Anschluss erfolgt eine Multiplikation der errechneten Menge entstandener Emissionen mit dem jeweiligen Umrechnungsfaktor, um die Menge der  $\text{CO}_2$ -Äquivalente zu ermitteln.

Die im Projekt verwendeten Emissionsfaktoren können der Parameterdatei des BEKs entnommen werden (KTBL, 2021). Eine gesamtbetriebliche Betrachtung im Rahmen des BEK-Standards ist grundsätzlich möglich. Empfohlen wird jedoch eine Betrachtung einzelner Betriebszweige. Dabei ist auf eine genaue Abgrenzung zu achten, so dass keine Bilanzbrüche entstehen. Weiterhin ist es wichtig, zwischen Haupt- und Nebenprodukten zu unterscheiden und diese getrennt zu bewerten. Die Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Vorgehensweise nach dem BEK-Standard. Hier werden die Emissionen zunächst flächen- bzw. tierbezogen berechnet. Zur Berechnung des produktbezogenen  $\text{CO}_2$ -Fußabdrucks ist es erforderlich, die Gesamtmenge an Treibhausgasemissionen auf die produzierte Menge des jeweiligen Produktes zu beziehen. Im Falle der Milchproduktion entspricht dies der Milchmenge pro Tier. Für das Beispiel Maissilage ist dies die Erntemenge Silomais pro Hektar (KTBL, 2021).

|                                                                |   |                                                               |   |                                                                |
|----------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------|
| <b>Vorgelagerte Emissionen</b><br>(Betriebsmitteleinsatz)      | + | <b>Prozessemissionen</b><br>(Umsetzungsprozesse im Betrieb)   | = | <b>THG der erzeugten Produkte</b>                              |
| <b>Pflanzenbau</b>                                             |   |                                                               |   |                                                                |
| z.B. für Saatgut,<br>Düngemittel,<br>Pflanzenschutzmittel      | + | z.B. aus Düngung,<br>Wurzelrückständen und<br>Humusumwandlung | = | Hauptprodukte (z.B. Korn)<br>und Nebenprodukte (z.B. Stroh)    |
| <b>Tierhaltung</b>                                             |   |                                                               |   |                                                                |
| z.B. für Tierzugänge,<br>Futtermittel, Einstreu und<br>Energie | + | z.B. aus Stall, Lager, Weide<br>und Verdauung                 | = | Hauptprodukte (z.B. Fleisch)<br>und Nebenprodukte (z.B. Gülle) |

**Abbildung 6 Systematik der Treibhausgasbilanzierung nach BEK (verändert nach KTBL, 2021)**

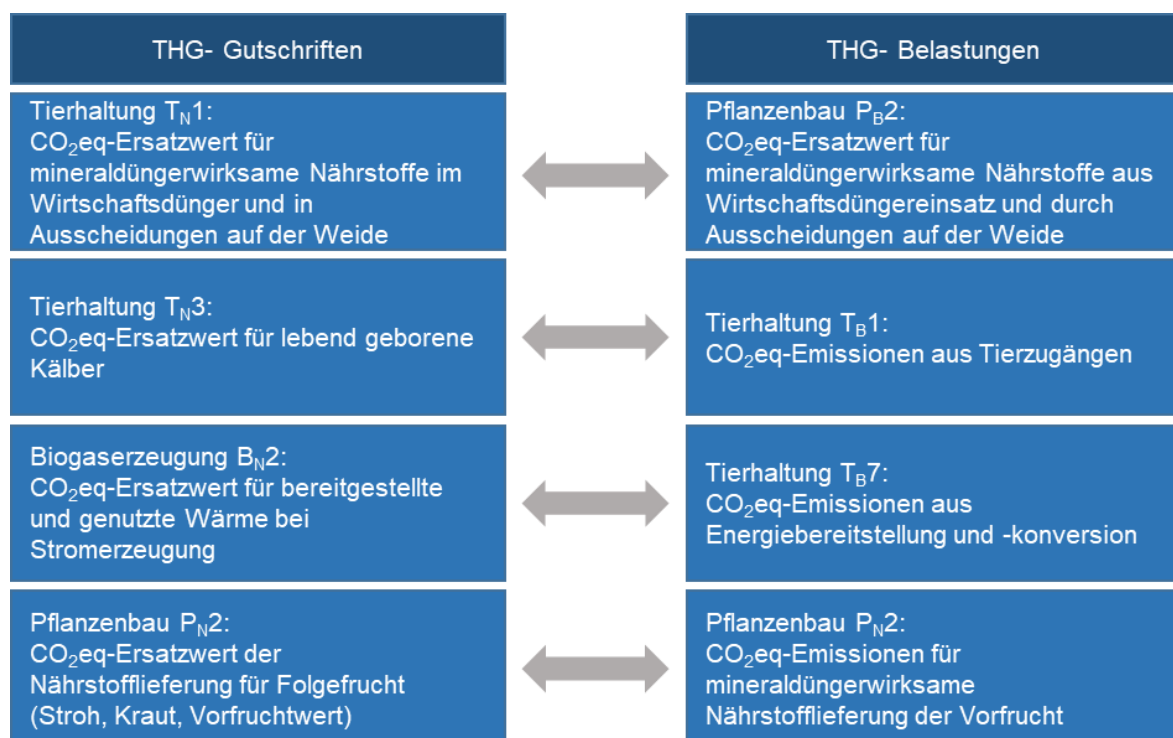
### 3.3 Treibhausgasquellen unterschiedlicher Betriebszweige

Je nach betrachtetem Betriebszweig lassen sich unterschiedliche Treibhausgasquellen identifizieren, die in die Berechnung einfließen. Im Rahmen der Bilanzierung ist beim Pflanzenbau grundsätzlich zwischen Treibhausgasemissionen vom Feld, Treibhausgasemissionen aus dem Einsatz von Betriebsmitteln und Gutschriften für Nebenprodukte zu unterscheiden (Anhang 7). Analog ist in der Tierhaltung zwischen direkten und indirekten Treibhausgasemissionen aus enterischer Fermentation und Wirtschaftsdüngern sowie vorgelagerten Emissionen aus dem Einsatz von Betriebsmitteln zu unterscheiden (Anhang 8).

### 3.4 Zuordnung von Treibhausgasemissionen und -flüssen zu Produktionsprozessen

Bei der landwirtschaftlichen Produktion fallen Nebenprodukte an, denen ein Teil der Treibhausgasemissionen zugerechnet wird. Für die Allokation (Zuteilung) gibt es grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten. Im BEK-Standard und damit auch in diesem Projekt ist die Anwendung der Ersatzwertmethode für die Allokation der Treibhausgase verbindlich vorgeschrieben. Für die erzeugten Koppelprodukte wird dem zu bilanzierenden Hauptprodukt (z.B. Milch) eine Treibhausgasgutschrift erteilt. Die Höhe dieser Gutschrift entspricht den CO<sub>2</sub>eq-Emissionen, die bei der Produktion mit einem alternativen Produktionsverfahren entstehen würden. In der Tierhaltung wäre beispielsweise eine Gutschrift für die anfallende Gülle denkbar, die in der Pflanzenproduktion den Einsatz von Mineraldünger ersetzen könnte. Die dem Hauptprodukt zuzurechnenden Treibhausgasemissionen ergeben sich somit aus der Differenz von Emissionen und allen anzurechnenden Gutschriften.

Die oben genannten Beispiele deuten bereits an, dass die innerlandwirtschaftliche Verwertung oder Weiterverarbeitung von Neben- und auch Hauptprodukten in anderen oder nachfolgenden Produktionsstufen häufig vorkommt. Daher ist den Treibhausgasflüssen zwischen den Produktionsschritten besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen bzw. Gutschriften des „abgebenden“ bzw. innerlandwirtschaftlich vorgelagerten Produktionsprozesses müssen immer den zu berücksichtigenden Belastungen des aufnehmenden Produktionsprozesses entsprechen. Beispiele für solche Treibhausgasflüsse zwischen verschiedenen Produktionsprozessen sind in Abbildung 7 dargestellt.



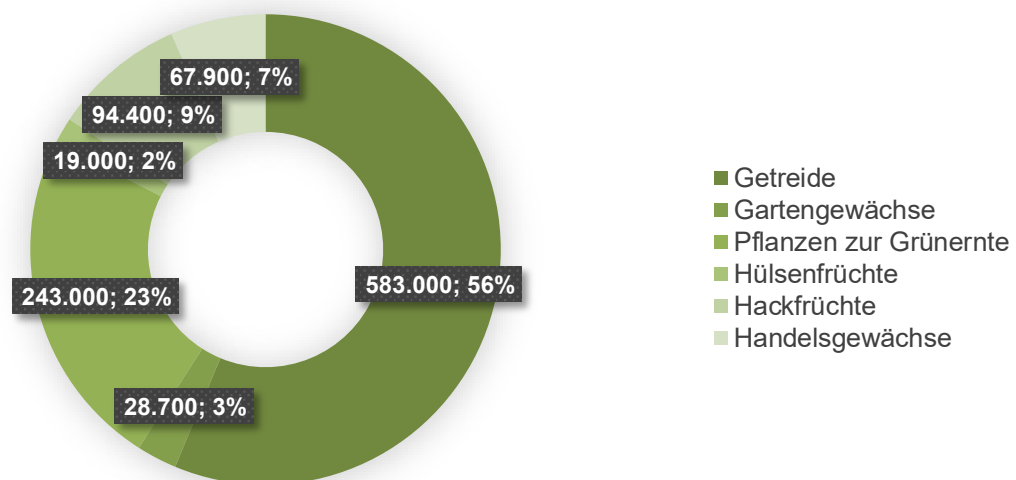
**Abbildung 7 Beispielhafte Treibhausgasflüsse zwischen Produktionsverfahren (Verändert nach KTBL, 2021)**

## 4 Ergebnisse der erstellten Bilanzen

### 4.1 Pflanzenbau

#### 4.1.1 Einordnung der Stichprobe in den Ackerbau in NRW

Im Jahr 2023 wurden in Nordrhein-Westfalen 1.489.000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LF) bewirtschaftet. Davon werden 1.036.000 ha ackerbaulich genutzt. Die Grafik (Abbildung 8) zeigt die Nutzung des Ackerlands der landwirtschaftlichen Betriebe in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2023. Die Daten basieren auf vorläufigen Ergebnissen der repräsentativen Bodennutzungshaupterhebung.



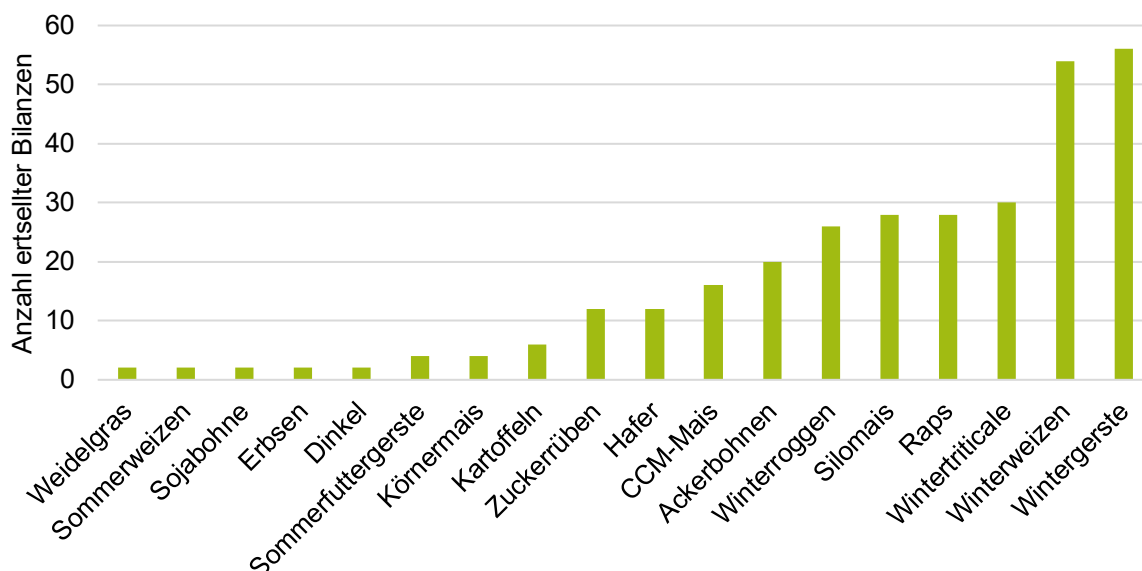
**Abbildung 8 Anbaufläche des Ackerlands (ohne sonstiges Ackerland) der landwirtschaftlichen Betriebe in NRW 2023 (verändert nach IT.NRW)**

Der Getreideanbau nimmt mit 583.000 ha die größte Fläche in Anspruch und ist damit die dominierende Kulturart in NRW. Mit 243.000 ha stellt die Kategorie Pflanzen zur Grünernte die zweitgrößte Anbaufläche dar. Pflanzen zur Grünernte werden vorwiegend für Futterzwecke verwendet und spielen eine wesentliche Rolle in der Viehhaltung.

Hackfrüchte, wie Kartoffeln oder Zuckerrüben, nehmen mit 94.400 ha eine bedeutende Fläche ein und sind die drittgrößte Anbaugruppe in NRW.

Desweiterem werden noch Handelsgewächse (67.900 ha) wie Raps oder Ölfrüchte, Gartenbaugewächse (28.700 ha) wie Gemüse und Obst sowie Hülsenfrüchte (19.000 ha) wie Erbsen und Bohnen auf nordrhein-westfälischem Ackerland angebaut.

Diese Verteilung spiegelt sich auch bei der Anzahl der im Projekt erstellten CO<sub>2</sub>-Bilanzen wieder. Insgesamt wurden im Pflanzenbaubereich während der Projektlaufzeit 306 CO<sub>2</sub>-Bilanzen erstellt. Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt ein Balkendiagramm, das die Anzahl der erstellten CO<sub>2</sub>-Bilanzen im Pflanzenbau für verschiedene Kulturarten darstellt.



**Abbildung 9 Anzahl erstellter CO<sub>2</sub>-Bilanzen im Pflanzenbau**

Das Diagramm zeigt, dass während der Projektlaufzeit die meisten Klimabilanzen für Wintergetreidearten wie Wintergerste (56 Bilanzen), Winterweizen (54 Bilanzen), Wintertriticale (30 Bilanzen) und Winterroggen (26 Bilanzen) erstellt wurden. Raps, Mais und Ackerbohnen sind mit 28 bzw. 20 Bilanzen ebenfalls häufig vertreten.

Die gewonnenen Daten bieten wertvolle Hinweise und bieten eine solide Basis für weiterführende Untersuchungen. Aufgrund der teilweise geringen Anzahl von Bilanzierungen wurden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen einer fachlichen Plausibilisierung unterzogen. Die im Rahmen dieser Untersuchung gewonnenen Daten, kombiniert mit dem Expertenwissen der Landwirtschaftskammer NRW ermöglichen fundierte Schlussfolgerungen. Diese erste Analyse zeigt deutlich, dass bereits aus einer kleineren Stichprobe relevante tendenzielle Zusammenhänge abgeleitet werden können.

#### **4.1.2 Von der Datengrundlage über die Emissionsquellen zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck**

Es wird empfohlen, verschiedene Kulturen immer getrennt zu bilanzieren. Auf diese Weise werden die Produktionsverfahren bilanziell voneinander getrennt und Bilanzierungsbrüche vermieden.

##### **Notwendige Betriebsdaten**

Das im Projekt eingesetzte Tool zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks im Pflanzenbau erfordert aufgrund der komplexen Datenerfassung die Anwendung durch geschultes Personal. Um sicherzustellen, dass für alle Betriebe einheitliche Eingangsdaten verwendet werden, wurde in Zusammenarbeit mit den Klimaschutzberatern ein standardisiertes methodisches Vorgehen festgelegt. Folgende Betriebsdaten fließen in die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bilanz im Ackerbau ein.

**Anbaudaten:**

- Produktionsverfahren
- Größe der Anbaufläche
- Anteil Untersaaten
- Anteil ehem. Dauergrünland
- Anteil Moore/ organische Böden
- Frischmasseertrag
- Trockenmasseanteil
- Saatgutverbrauch
- Anteil der abgefahrenen Erntereste

**Düngung:**

- Anbau von Zwischenfrüchten
- Wirtschaftsdüngerart
- Ausbringmenge Wirtschaftsdünger
- Art der Wirtschaftsdüngerausbringung
- Einsatz N-Mineraldünger
- Anteil Hamstoffdünger
- Anteil AHL
- Einsatz Phosphor Mineraldünger
- Einsatz Kalium-Mineraldünger
- Einsatz Kalkdüngung

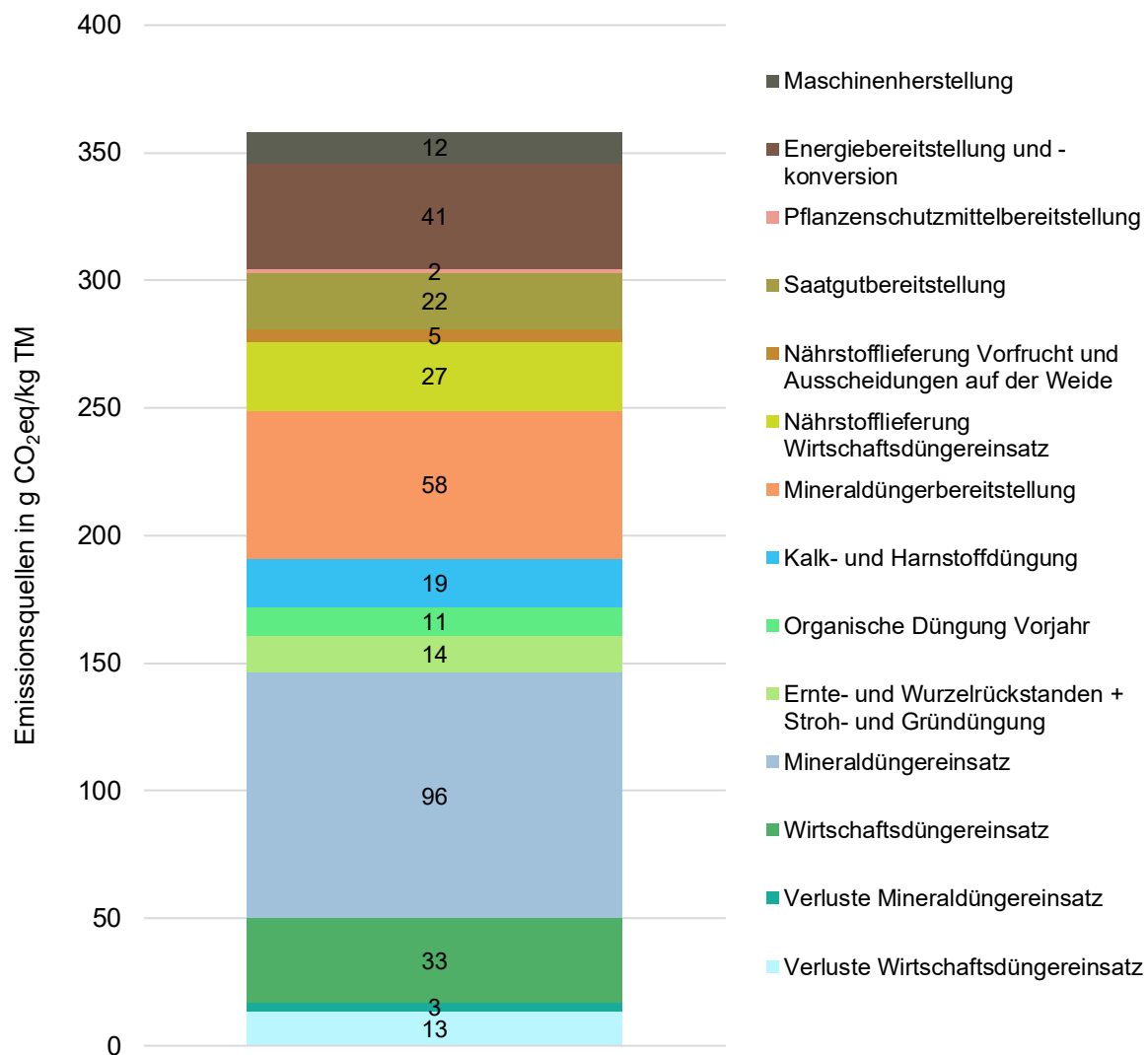
**Energie:**

- Dieseleinsatz
- Anteil Biodiesel
- Pflanzenschutzmitteleinsatz

**Emissionsquellen im Winterweizenanbau**

Die oben aufgeführten Eingangsdaten beeinflussen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck mit jeweils unterschiedlicher Gewichtung. Übergeordnetes Ziel der Klimabilanzierung ist es, die Hauptemissionsquellen der Betriebe zu lokalisieren, um auf dieser Basis die relevanten Stellschrauben zur Reduktion der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen identifizieren und aktivieren zu können.

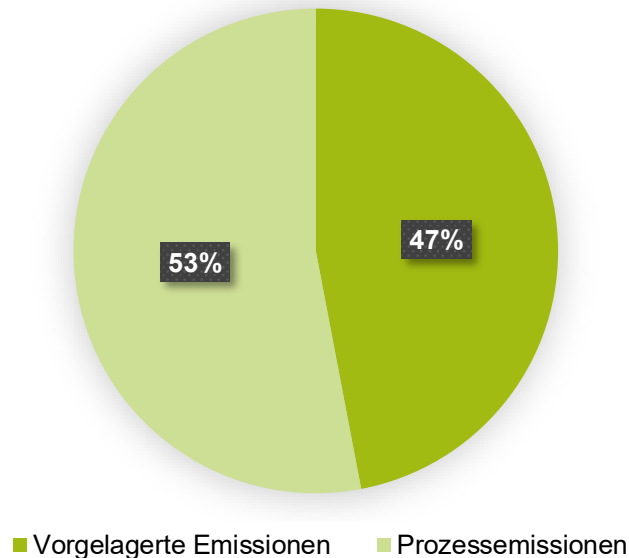
Die nachfolgende Grafik (Abbildung 10 Emissionsquellen Winterweizen Beispielbetrieb) zeigt die Emissionsquellen des Winterweizens eines ausgewählten Beispielbetriebs in g CO<sub>2</sub>eq pro kg Trockenmasse. Emissionen im Pflanzenbau entstehen unter anderem durch den Einsatz stickstoffhaltiger Düngemittel, die auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgebracht werden.



**Abbildung 10 Emissionsquellen Winterweizen Beispielbetrieb**

Insgesamt werden pro kg TM Winterweizen knapp 360 g CO<sub>2</sub>eq emittiert. Dabei macht der Mineraldüngereinsatz mit 96 g CO<sub>2</sub>eq pro kg TM den größten Anteil aus, gefolgt von den Emissionen aus der Mineraldüngerbereitstellung (Mineraldüngerherstellung, -transport etc.) mit 58 g CO<sub>2</sub>eq pro kg TM. Für den Winterweizenanbau sind darüber hinaus der Einsatz von Wirtschaftsdüngern mit 33 g CO<sub>2</sub>eq/kg TM sowie deren Bereitstellung (Nährstofflieferung Wirtschaftsdüngereinsatz) mit 27 g CO<sub>2</sub>eq/kg TM als relevante Emissionstreiber zu nennen. Für die Energiebereitstellung und -umwandlung fallen weitere 41 g CO<sub>2</sub>eq pro kg TM an.

Betrachtet man die Treibhausgasquellen genauer, wird deutlich, dass 53 % der Emissionen aus Prozessemissionen und 47 % der Emissionen aus vorgelagerten Emissionen stammen (siehe Abbildung 11).



**Abbildung 11 Treibhausgas-Quellen im Winterweizenanbau (Beispielbetrieb)**

**Prozessemissionen:**

- Emissionen aus Ammoniak-Verlusten bei Düngung mit Wirtschaftsdüngern (Verluste Wirtschaftsdüngereinsatz)
- Emissionen aus Ammoniak-Verlusten bei Düngung mit Mineraldüngern (Verluste Mineraldüngereinsatz)
- Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern (Wirtschaftsdüngereinsatz)
- Emissionen aus der Düngung mit Mineraldüngern (Mineraldüngereinsatz)
- Emissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen sowie aus Stroh- und Gründüngung (Ernte- und Wurzelrückständen + Stroh- und Gründüngung)
- Emissionen aus anzurechnendem Stickstoff aus organischer Düngung des Vorjahres (Organische Düngung Vorjahr)
- Emissionen aus Kalk- und Harnstoffdüngung (Kalk- und Harnstoffdüngung)

**Vorgelagerte Emissionen:**

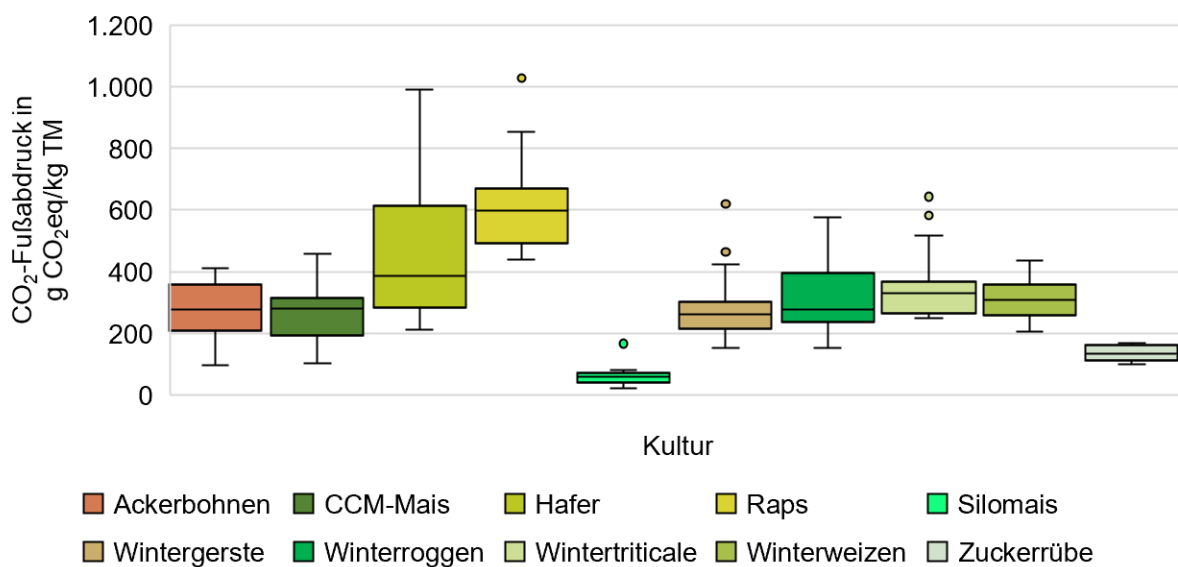
- Emissionen aus Mineraldüngerbereitstellung (Mineraldüngerbereitstellung)
- Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung aus Wirtschaftsdüngereinsatz (Nährstofflieferung Wirtschaftsdüngereinsatz)
- Emissionen für mineraldüngerwirksame Nährstofflieferung der Vorfrucht und Ausscheidungen auf der Weide (Nährstofflieferung Vorfrucht und Ausscheidungen auf der Weide)
- Emissionen aus Saatgutbereitstellung (Saatgutbereitstellung)
- Emissionen Pflanzenschutzmittelbereitstellung (Pflanzenschutzmittelbereitstellung)
- Emissionen aus Energiebereitstellung und -konversion (Energiebereitstellung und -konversion)
- Emissionen aus Maschinenherstellung (Maschinenherstellung)

Der primäre Einfluss der landwirtschaftlichen Betriebe liegt in der Reduktion der Prozessemissionen, da diese direkt durch den Landwirt und ein effektives Management kontrolliert werden können. Schwieriger

ist die Reduktion der Emissionen, die im vorgelagerten Bereich entstehen. Die Menge der eingesetzten Betriebsmittel können zwar optimiert werden es besteht aber kein direkter Einfluss auf die Emissionsminderung bei der Herstellung dieser Betriebsmittel.

### CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Projektbetriebe im Pflanzenbau

Ein zentrales Ziel des Projekts bestand darin, den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verschiedener ackerbaulicher Kulturen zu berechnen. Dies vermittelt zunächst ein Verständnis für die Größenordnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der Pflanzenbaukulturen in Nordrhein-Westfalen. Die Ergebnisse der Bilanzierung sind in der nachfolgenden Abbildung für die Kulturen Ackerbohne, CCM-Mais, Hafer, Raps, Silomais, Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale, Winterweizen und Zuckerrüben dargestellt. Auf die Darstellung von Kulturen, für die weniger als 10 Bilanzen berechnet wurden, wird an dieser Stelle verzichtet, da sonst einzelbetriebliche Effekte zu stark in den Vordergrund treten.



**Abbildung 12 CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bilanzierter Ackerbaukulturen (ausgewertet wurden Kulturen, bei den mehr als 10 Bilanzen erstellt wurden sind)**

Kulturen wie Hafer und Raps zeigen eine höhere Variabilität und mehr Ausreißer, andere Kulturen wie die Wintergetreidearten zeigen eine geringere Schwankungsbreite und weniger Ausreißer, was eine geringere Variabilität des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks aufzeigt.

Grundsätzlich kann bei einem Vergleich der Klimawirksamkeit landwirtschaftlicher Produkte, selbst bei produktbezogenen CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken, nicht sinnvoll zwischen unterschiedlichen Kulturen interpretiert werden. Vergleichende Darstellungen sind angesichts der kultur- bzw. produktspezifischen Inhaltsstoffe und Verwertungsmöglichkeiten nur innerhalb der Kulturart oder der Kulturartengruppe (z.B. Wintergetreide) zulässig. Im weiteren Verlauf der Ergebnisauswertung wird unsererseits der Fokus auf die Wintergetreidearten (Winterroggen, Wintertriticale und Winterweizen) gelegt, da diese hinsichtlich des Anbaus ähnlich sind und statistisch gemeinsam ausgewertet werden können.

### **4.1.3 Einflussfaktoren auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck**

#### **4.1.3.1 Natürliche Voraussetzungen**

##### **Klima**

Nordrhein-Westfalen liegt in der gemäßigten Klimazone und weist eine klimatische Vielfalt auf, die durch die geographische Lage und die topographischen Unterschiede innerhalb des Bundeslandes bedingt ist. Diese Vielfalt beeinflusst unter anderem die landwirtschaftliche Nutzung in der Region. Das Klima in NRW ist überwiegend maritim geprägt.

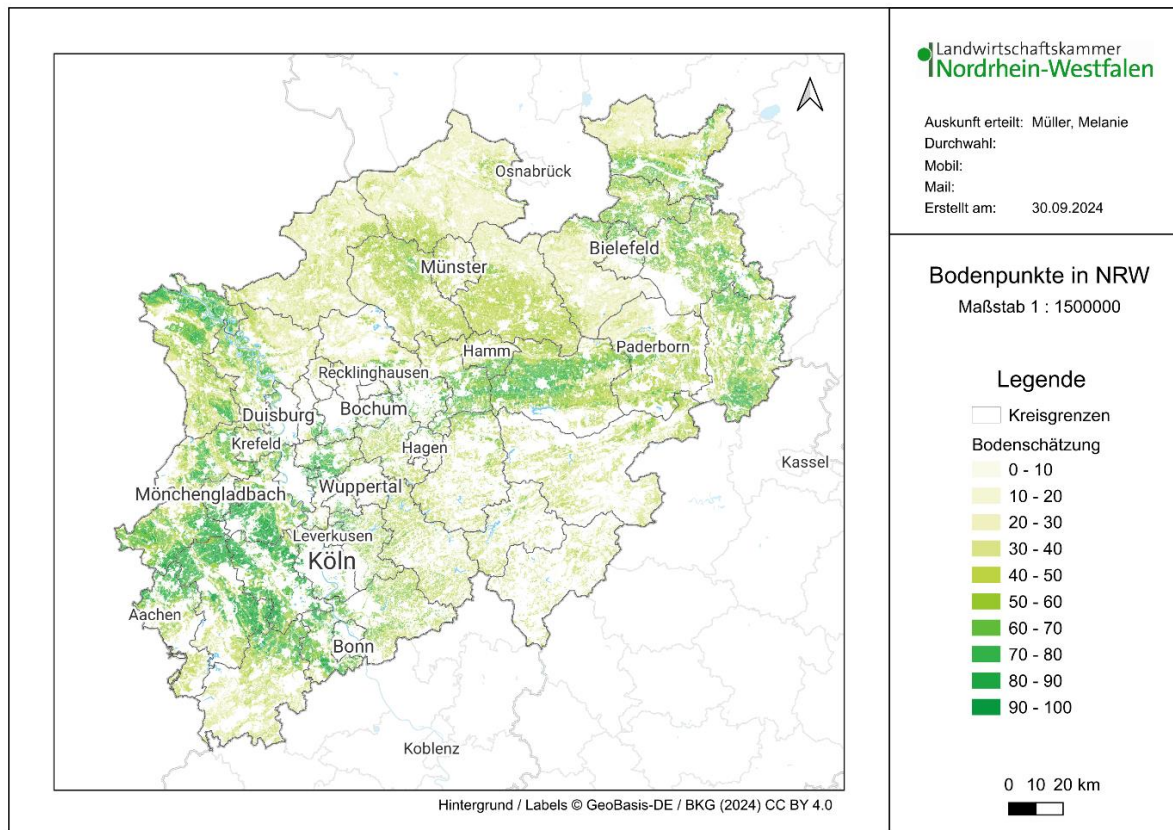
In den westlichen und nördlichen Regionen von Nordrhein-Westfalen, beispielsweise dem Niederrhein und dem Münsterland, sind die Winter relativ mild und die Sommer mäßig warm. Diese Regionen sind durch gleichmäßige Niederschläge über das gesamte Jahr gekennzeichnet, welche sie für den Ackerbau und die Viehhaltung besonders geeignet macht.

In den Mittelgebirgsregionen, zu denen unter anderem die Eifel, das Sauerland und das Bergische Land zählen, ist das Klima etwas rauer. Hier sind sowohl die Winter als die Sommer kühler. Des Weiteren ist in diesen Regionen in den Wintermonaten eine höhere Niederschlagsmenge zu verzeichnen.

Der südliche Teil von NRW, insbesondere das Rheinland, profitiert pflanzenbaulich von den landesweit höchsten Durchschnittstemperaturen. Hier sind die Sommer tendenziell wärmer und die Winter milder als in den übrigen Teilen des Bundeslandes.

##### **Boden**

Nordrhein-Westfalen zeichnet sich durch eine besondere Vielfalt an Böden aus, die sich aufgrund der unterschiedlichen geologischen, klimatischen und topografischen Bedingungen entwickelt haben. Die Eignung bzw. die Ertragsfähigkeit eines Standorts zum Anbau landwirtschaftlicher Kulturen kann anhand von „Bodenpunkten“, die auf Basis der Systematik der Bodenschätzung ermittelt werden und flächendeckend vorliegen, beschrieben werden. Es gilt: je höher die Bodenpunktzahl, desto besser ist ein Standort zur landwirtschaftlichen Nutzung geeignet. Neben den bodenkundlichen Verhältnissen werden im Rahmen der Bodenschätzung auch die klimatischen Bedingungen berücksichtigt. Die Böden in Nordrhein-Westfalen bieten in Kombination mit den klimatischen Bedingungen im globalen und nationalen Vergleich insgesamt günstige bis sehr günstige Voraussetzungen für den Anbau zahlreicher landwirtschaftlicher Kulturen. Die spezifischen regionalen und lokalen Boden- und Klimabedingungen haben maßgeblichen Einfluss auf den Pflanzenbau und vor allem auf das Kulturartenspektrum. Regionen mit besonders fruchtbaren Böden finden sich in der Niederrheinischen Bucht im Großraum zwischen Aachen und Köln, in der Umgebung von Soest sowie in Teilen Ostwestfalens (s. Abbildung 13).



**Abbildung 13 Bodenpunkte in NRW**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Bodenvielfalt in Nordrhein-Westfalen eine breite Palette von landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten bietet, jedoch auch spezifische Herausforderungen mit sich bringt. Eine fundierte Kenntnis über die Bodenbeschaffenheit ist daher unerlässlich, um eine nachhaltige und ertragreiche Landbewirtschaftung zu gewährleisten.

### **Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck**

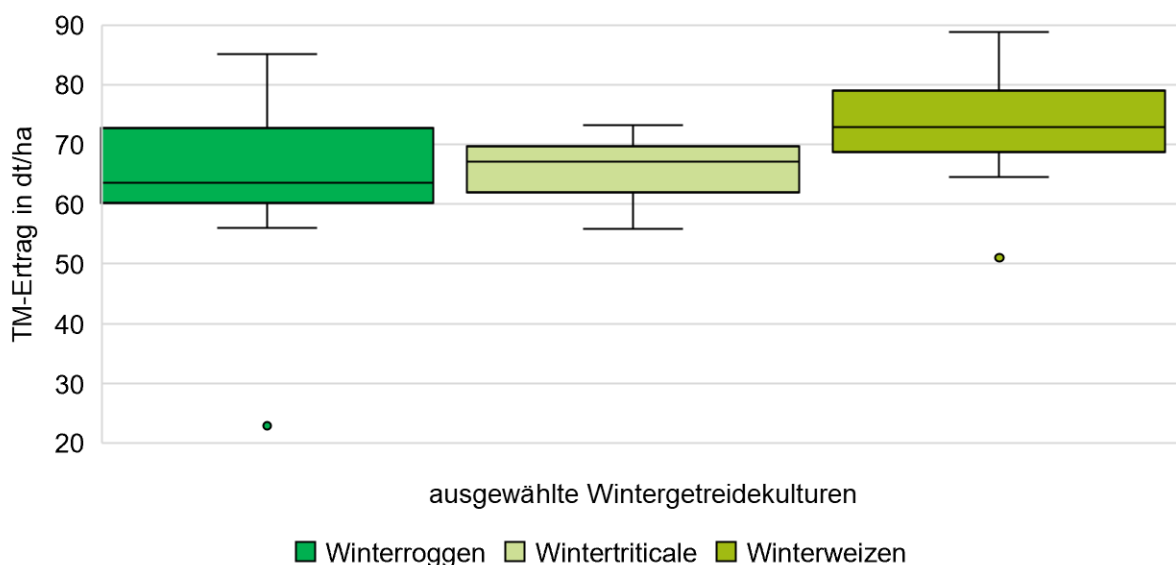
Das Klima und die Bodenverhältnisse spielen eine entscheidende Rolle für das Pflanzenwachstum und beeinflussen damit auch den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Ackerkultursystems. Temperatur, Niederschlagsmenge und -verteilung sowie Sonneneinstrahlung sind wichtige klimatische Faktoren, die das Pflanzenwachstum direkt beeinflussen. Höhere Temperaturen können das Wachstum beschleunigen, aber auch den Wasserbedarf der Pflanzen erhöhen und das Risiko von Hitzestress und Trockenheit steigern. Niederschläge sind entscheidend für die Wasserversorgung der Pflanzen, wobei sowohl zu viel als auch zu wenig Regen negative Auswirkungen haben kann. Bodenart, Bodenstruktur und Bodenfruchtbarkeit sind ebenfalls wesentliche Kriterien. Böden mit guter Wasserspeicherkapazität und Nährstoffverfügbarkeit fördern das Pflanzenwachstum.

Im Verlauf dieser Studie wurde deutlich, dass die spezifischen lokalen Klimabedingungen als auch der saisonale Witterungsverlauf einen erheblichen Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck landwirtschaftlicher Produkte haben. Da jedoch bei den betrieblichen Erhebungen keine systematische Erfassung der klimatischen und bodenkundlichen Daten stattgefunden hat, war es nicht möglich, diesen Einfluss näher zu quantifizieren.

#### 4.1.3.2 Trockenmasseertrag

Der Trockenmasseertrag im Ackerbau bezieht sich auf das Gewicht des Ernteguts nach Abzug des Wassergehalts. Dies ist wichtig, da der Wassergehalt im Erntegut stark variieren kann und der Trockenmasseertrag insofern die Vergleichbarkeit z. B. hinsichtlich Biomasse und Nährstofffracht erhöht.

In der nachfolgenden Grafik ist der Trockenmasseertrag (nach Abzug von Ernteverlusten) der Wintergetreidekulturen Winterroggen, Wintertriticale und Winterweizen dargestellt. Die Trockenmasseerträge beim Winterweizen sind insgesamt etwas höher als die von Winterroggen und Wintertriticale. Deutlich zu erkennen sind jedoch die Unterschiede der Trockenmasseerträge innerhalb der einzelnen Kulturen. So ernten einige Betriebe 89 dt TM/ha Winterweizen, andere Betrieb jedoch nur 51 dt TM/ha. Einen deutlichen Ausreißer gibt es im Winterroggen, dort erntete ein Betrieb lediglich 23 dt TM/ha.

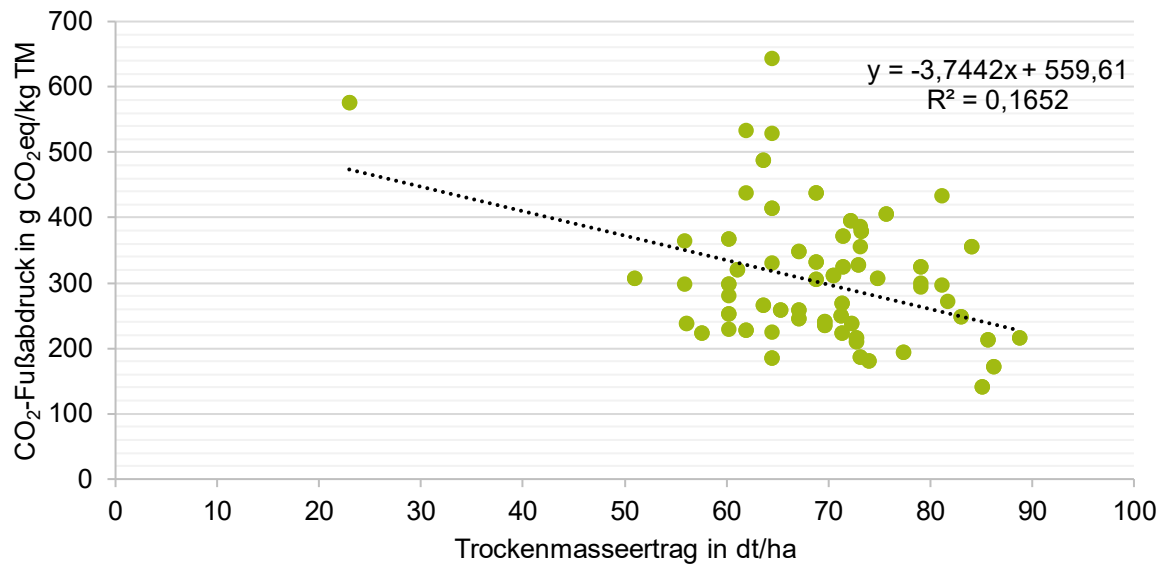


**Abbildung 14 Trockenmasseertrag ausgewählter Wintergetreidekulturen (Winterroggen, Wintertriticale, Winterweizen)**

Der Trockenmasseertrag ist von mehreren Faktoren abhängig:

- **Bodenqualität:** Nährstoffreiche Böden fördern das Pflanzenwachstum und erhöhen den Trockenmasseertrag.
- **Wasserverfügbarkeit:** Ausreichende Wasserversorgung ist elementar, da Wassermangel das Wachstum hemmt.
- **Klima:** Temperatur und Sonneneinstrahlung beeinflussen die Photosynthese und damit das Wachstum der Pflanzen.
- **Düngung:** Eine ausgewogene Nährstoffversorgung, insbesondere mit Stickstoff, Phosphor und Kalium, ist wichtig für stabile Erträge.
- **Pflanzensorte:** Die Ertragspotenziale und Standortansprüche sind je nach Sortenwahl unterschiedlich
- **Anbaumethoden:** Das betriebliche Management z.B. hinsichtlich Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Schädlingsbekämpfung beeinflusst den Ertrag.

Der Zusammenhang zwischen dem TM-Ertrag und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck gibt, wurde in der nachfolgend dargestellten Regressionsanalyse geprüft.



**Abbildung 15 Zusammenhang zwischen dem Trockenmasseertrag und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausgewählter Wintergetreidekulturen**

Der Trockenmasseertrag hat einen messbaren, wenn auch moderaten Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Mit einem R<sup>2</sup>-Wert von 0,165 lässt sich zeigen, dass 16,5 % der Variabilität im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck durch den TM-Ertrag erklärt werden können. Dies zeigt, dass der TM-Ertrag eine Rolle im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck spielt, jedoch nicht der einzige Faktor ist. Ein höherer Trockenmasseertrag, der stets auch durch die Intensität der Bewirtschaftung beeinflusst wird, geht nicht automatisch mit einem niedrigeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck einher. Vielmehr hängen mögliche Emissionsreduktionen vom effizienten Einsatz der Produktionsfaktoren ab, wodurch der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro Ertragseinheit verringert werden kann.

#### 4.1.3.3 Düngung

Der Einfluss der Düngung auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck lässt sich in den folgenden Kategorien darstellen:

1. **Herstellung der Düngemittel:** Die Produktion von mineralischen Düngemitteln ist energieintensiv und erfordert den Einsatz fossiler Energieträger, was erheblich zur CO<sub>2</sub>-Bilanz beiträgt.
2. **N-Verluste bei der Ausbringung:** Stickstoffverluste, die durch verschiedene Ausbringungstechniken und Einarbeitungszeiten entstehen, können zu Lachgasemissionen (N<sub>2</sub>O) führen, einem extrem wirkungsvollen Treibhausgas.
3. **Effizienter Einsatz von Stickstoffdünger:** Ein gezielter, bedarfsgerechter Einsatz von Stickstoffdüngern kann helfen, die Emissionen zu reduzieren und gleichzeitig die Erträge zu sichern.

Im Ackerbau gibt es eine Auswahl an Düngemitteln, die jeweils unterschiedliche Emissionen verursachen.

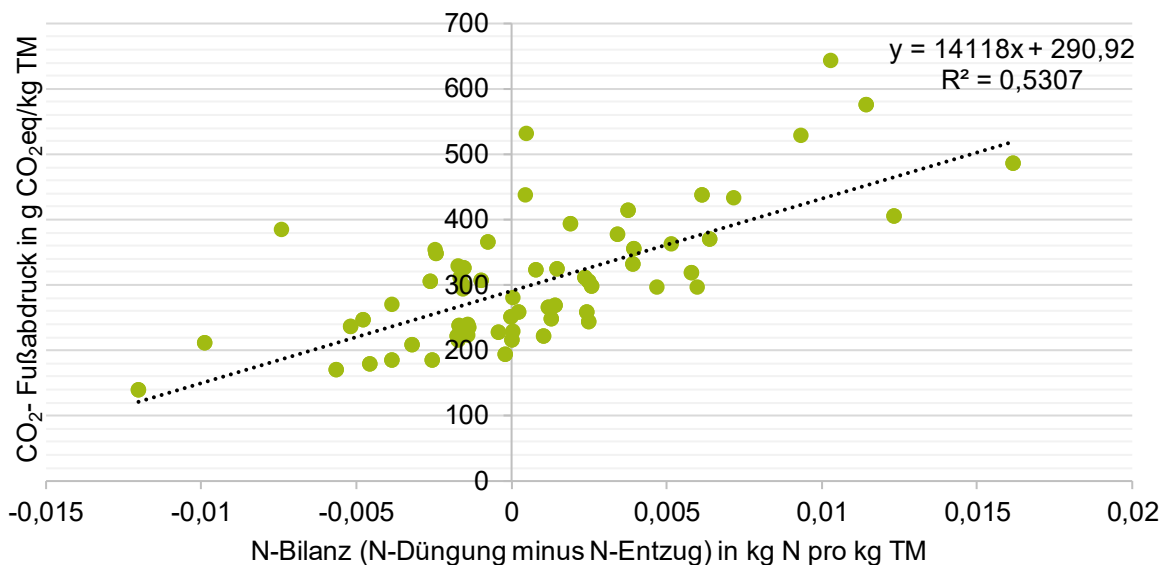
##### Düngemittel:

- **Mineraldüngung:** Hierbei werden synthetische Düngemittel wie Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumdünger verwendet. Diese Düngemittel sind hochkonzentriert und die enthaltenen Nährstoffe leicht verfügbar für die Pflanzen.
- **Organische Düngung:** Dazu gehören Gülle, Mist, Kompost und andere organische Materialien. Diese Düngemittel können neben der Verfügbarkeit von Nährstoffen die Bodenstruktur und das Bodenleben fördern. Sie können mit unterschiedlichen Techniken ausgebracht werden, die die Menge der dabei entstehenden Emissionen beeinflussen.
- **Gründüngung:** Pflanzen wie Klee oder Senf werden nach einer geernteten Kultur angebaut, später in den Boden eingearbeitet und dann über Umbauprozesse zu pflanzenverfügbaren Nährstoffen.

In der nachfolgenden Auswertung wurde für die Wintergetreidekulturen untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Getreides und der Effizienz des eingesetzten Stickstoffdüngers gibt. Die dazu erforderliche N-Bilanz als Bewertungsgrundlage wurde anhand folgender Formel berechnet:

##### Formel 3 Berechnung der N-Bilanz

$$N - \text{Bilanz} = N - \text{Düngung} \text{ minus } N - \text{Entzug}$$



**Abbildung 16 Zusammenhang zwischen der N-Bilanz und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausgewählter Wintergetreidekulturen**

Der Zusammenhang zwischen der N-Bilanz und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausgewählter Wintergetreidekulturen ist in Abbildung 16 dargestellt. Das R<sup>2</sup> von etwa 0,53 zeigt, dass ungefähr 53 % der Variabilität des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks durch die N-Bilanz erklärt werden kann.

Die Abbildung verdeutlicht, dass bei einer sinkenden N-Bilanz der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck tendenziell abnimmt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass langfristig negative N-Bilanzen als Indiz dafür gelten, dass im Boden Mineralisierungsprozesse stattgefunden haben, um den nicht über die Düngung zugeführten N-Bedarf der Pflanzen zu decken. Eine negative N-Bilanz ist daher in der Regel mit dem Abbau von Humus und damit einhergehenden CO<sub>2</sub>eq-Emissionen aus dem Boden verbunden. Dennoch ist eine Steigerung der Stickstoffeffizienz von zentraler Bedeutung, da Stickstoffverluste nicht nur die Erträge mindern, sondern auch erhebliche Treibhausgasemissionen verursachen. Im Folgenden sind einige mögliche Ansätze zur Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in Wintergetreidekulturen im Bereich N-Düngung aufgeführt:

- **Alternative Düngemittelherstellung:** Der Einsatz von Düngemitteln, die aus erneuerbaren Energien wie Wind-, Wasser- oder Solarenergie hergestellt werden, kann den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck senken.
- **Optimiertes Düngemanagement:** Eine ausgewogene Pflanzenernährung und die Wahl der effizientesten Stickstoffform sind entscheidend. Bedarfsgerechte und teilflächenspezifische Stickstoffdüngung können die Emissionen weiter reduzieren.
- **Precision Farming:** Der Einsatz digitaler Mess- und Regeltechnik unterstützt eine präzise, teilflächenspezifische Bewirtschaftung (z. B. bei Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen), welche ebenfalls zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks beiträgt.
- **Fruchtfolge und Bodengesundheit:** Durch die Optimierung der Fruchtfolge und andere landwirtschaftliche Praktiken kann die Bodengesundheit nachhaltig verbessert und die CO<sub>2</sub>-Bindung im Boden erhöht werden. Zudem kann der Ertrag bei gleicher Intensität gesteigert werden.

#### 4.1.4 Schlussbetrachtung Pflanzenbau

Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt 306 CO<sub>2</sub>-Bilanzen für unterschiedliche ackerbauliche Kulturen erstellt. Den größten Anteil an den erstellten Bilanzen stellten Wintergetreidearten dar, insbesondere Wintergerste (56 Bilanzen), Winterweizen (54 Bilanzen), Wintertriticale (30 Bilanzen) und Winterroggen (26 Bilanzen).

Für die Winterweizenproduktion konnten Emissionen von rund 360 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>eq) pro Kilogramm Trockenmasse (TM) ermittelt werden. Dabei war der Mineraldüngereinsatz mit 96 g CO<sub>2</sub>eq/kg TM die größte Emissionsquelle, gefolgt von der Mineraldüngerbereitstellung mit 58 g CO<sub>2</sub>eq/kg TM. Weitere relevante Emissionsquellen sind die Energiebereitstellung (41 g CO<sub>2</sub>eq/kg TM) sowie der Einsatz von Wirtschaftsdüngern (33 g CO<sub>2</sub>eq/kg TM).

Insgesamt resultieren 53 % der Treibhausgasemissionen aus Prozessemissionen, während 47 % durch vorgelagerte Emissionen wie die Herstellung von Maschinen, Pflanzenschutzmittel, Saatgut und Mineraldünger verursacht werden. Die Reduktion der Emissionen aus diesem Bereich gestalten sich schwieriger, da die Herstellung dieser Betriebsmittel außerhalb des direkten Einflussbereichs der Landwirte liegt. Die landwirtschaftlichen Betriebe haben in erster Linie die Möglichkeit, die Prozessemissionen durch ein optimiertes Management zu reduzieren.

Der Trockenmasseertrag wird von einer Vielzahl komplexer Faktoren beeinflusst, darunter die Bodenqualität, die Wasserverfügbarkeit, das Klima, die Düngestrategie, die Sortenwahl sowie das Anbauverfahren. Die Regressionsanalyse legt dar, dass der Trockenmasseertrag lediglich einen begrenzten Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausübt. Eine Steigerung des Ertrags kann prinzipiell zu einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks beitragen, sofern eine effiziente Nutzung der eingesetzten Ressourcen gewährleistet ist. Die Steigerung des Trockenmasseertrags allein, ist somit nicht der entscheidende Faktor zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks. Vielmehr kommt der Stickstoffeffizienz (N-Bilanz) eine weitaus größere Bedeutung zu. Obwohl nur ein Teil der Emissionsvariabilität durch die N-Düngung erklärt werden kann, ist die Optimierung der Nährstoffeffizienz der vielversprechendste Ansatz zur Minderung der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen. Langfristig müssen jedoch auch andere Bewirtschaftungspraktiken und Bodenbewirtschaftungsstrategien berücksichtigt werden, um die Klimabilanz des Pflanzenbaus weiter zu verbessern und zugleich unter dem Eindruck zunehmender Wetterextreme stabile Erträge zu gewährleisten.

Die klimatischen Bedingungen und die Bodenbeschaffenheit sind wesentlich für das Pflanzenwachstum und beeinflussen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Ackerkulturen. Temperatur, Niederschlag und Sonneneinstrahlung haben einen direkten Einfluss, wobei extreme Bedingungen wie Hitze und Trockenheit negative Auswirkungen auf das Wachstum haben. Böden mit guter Wasserspeicherfähigkeit und Nährstoffverfügbarkeit begünstigen langfristig stabile Erträge. Regionale Unterschiede in den natürlichen Bedingungen können durch eine entsprechend angepasste Bewirtschaftung, z.B. hinsichtlich Sortenwahl und Bodenbearbeitung, teilweise ausgeglichen werden.

## 4.2 Milchviehhaltung

### 4.2.1 Einordnung der Stichprobe in die Milchviehhaltung in NRW

2023 wurden laut IT.NRW auf 4.670 nordrhein-westfälischen Milchviehbetrieben insgesamt 378.939 Milchkühe gehalten. Dies entspricht einem Rückgang von 0,7 % im Vergleich zum Vorjahr. Ebenfalls verringerte sich die Zahl der Milchkuhhalter im gleichen Zeitraum um 3,9 %.

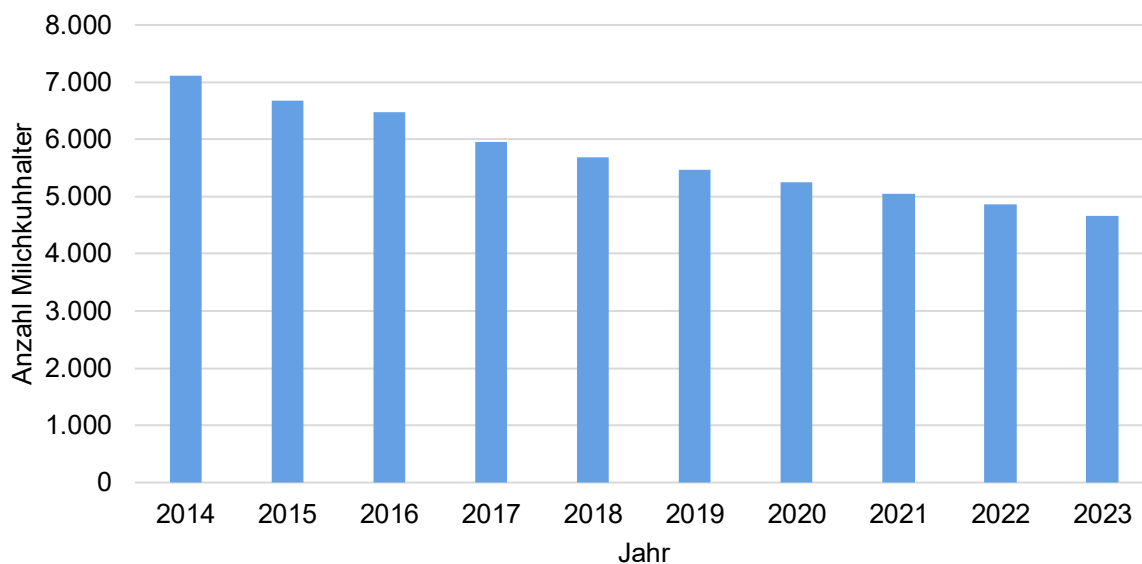


Abbildung 17 Anzahl Milchkuhhalter in NRW (verändert nach IT.NRW 2023)

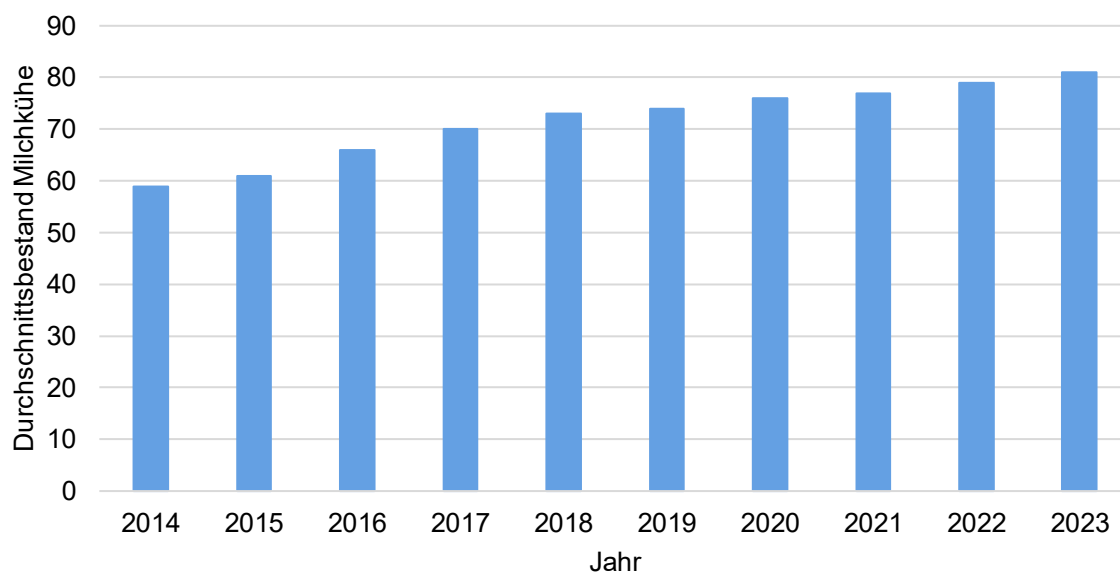


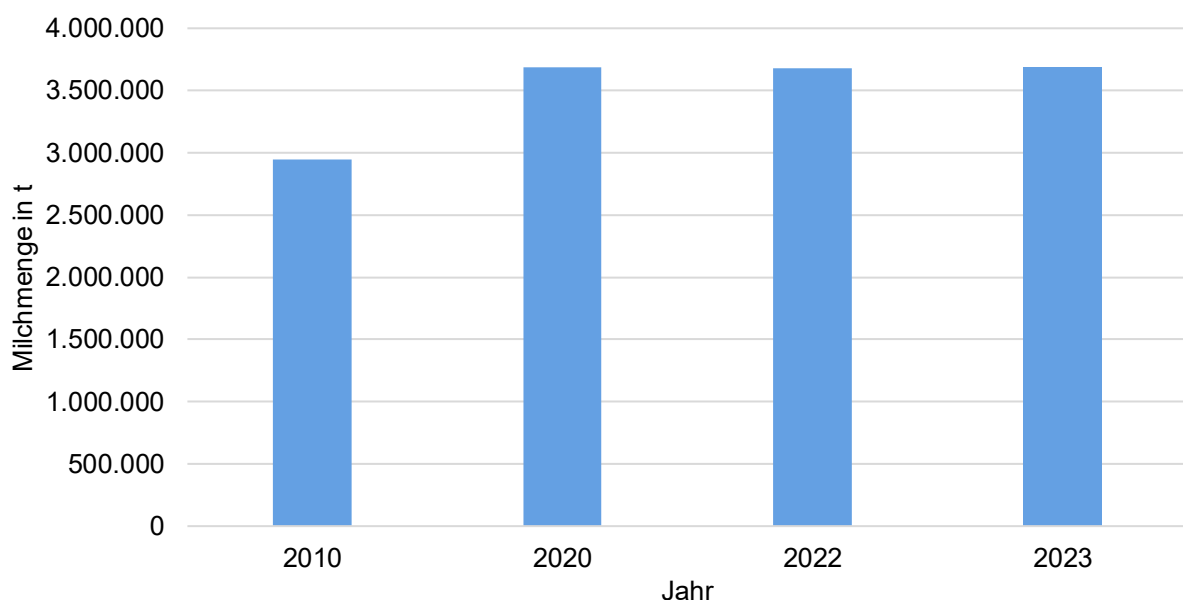
Abbildung 18 Durchschnittsbestand je Milchkuhhalter in NRW (verändert nach IT.NRW 2023)

Der Durchschnittsbesatz lag 2023 bei 81 Milchkühen je Milchviehalter und ist seit 2014 stetig angestiegen.

Jeweils rund ein Viertel der nordrhein-westfälischen Milchkühe wurde in den Regierungsbezirken Düsseldorf (100.596) und Münster (93.192) gehalten. Auf Kreisebene ist Kleve Spitzenreiter, dort wurden von 401 Milchviehaltern insgesamt 53.664 Milchkühe (Durchschnitt je Halter: 133 Milchkühe) gehalten. Die meisten Milchkuhhalter insgesamt gab es 2023 im Kreis Borken. Dort wurden auf 496 Betrieben insgesamt 38.846 Milchkühe (Durchschnitt je Halter: 78 Milchkühe) erfasst.

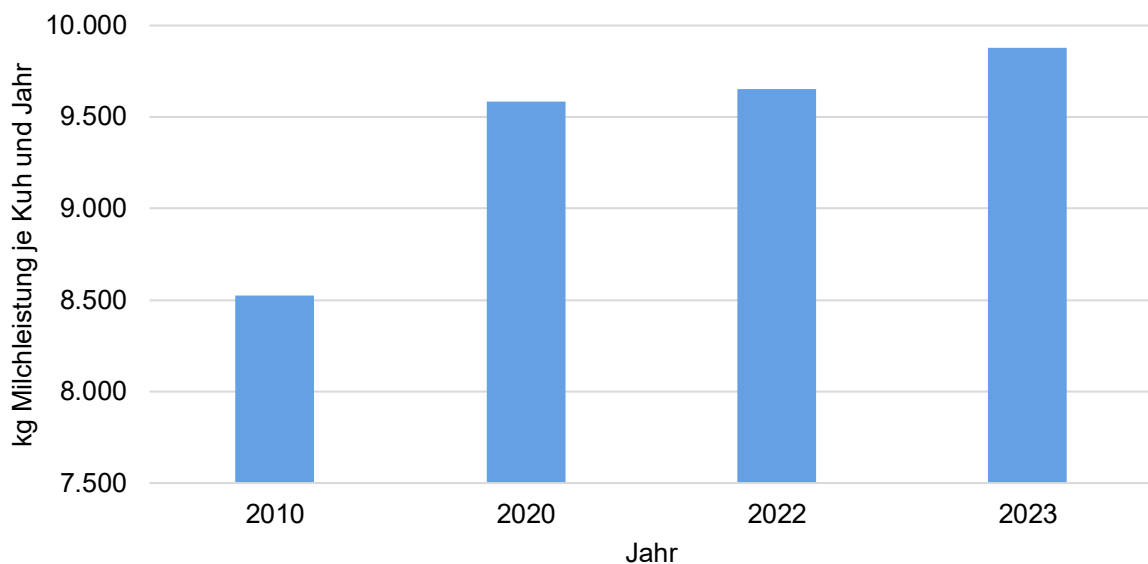
Die in Nordrhein-Westfalen am häufigsten anzutreffende Milchkuhrasse ist "Holstein-Schwarzbunt". Im Jahr 2023 betrug ihr Anteil am gesamten Milchkuhbestand 71,8 %. Die Rasse "Holstein-Rotbunt" erreichte einen Anteil von 16,0 %, während das "Fleckvieh" einen Anteil von 4,5 % und Kreuzungskühe aus Milch- und/oder Fleischrinderrassen einen Anteil von 5,6 % aufwies.

In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass es zwischen 2010 und 2020 einen deutlichen Aufschwung in der Milcherzeugung gab. Seit 2020 liegt die Milchmengenproduktion in NRW knapp unter 3.700.000 t Milch.



**Abbildung 19 Milcherzeugung insgesamt in NRW (Quelle: Jahresbericht 2023 der Milchvereinigung NRW)**

Ein ähnlicher Trend zeichnet sich auch in der Milcherzeugung je Kuh und Jahr ab. Zwischen den Jahren 2010 und 2022 stieg die Milchleistung von 8.526 kg auf 9.654 kg Milch pro Kuh und Jahr. Im Jahr 2023 stieg dieser Wert nochmals auf 9.880 kg Milchleistung pro Kuh und Jahr.



**Abbildung 20 Durchschnittliche Milchleistung pro Kuh und Jahr in NRW (Quelle: Jahresbericht 2023 der Milchvereinigung NRW)**

Insgesamt wurden im Rahmen des Projektes 51 Milchviehbetriebe beraten und für diese eine CO<sub>2</sub>-Bilanz für das Produkt Milch erstellt. Wie sich an der nachfolgenden Übersichtstabelle (Tabelle 2) erkennen lässt, wurden im Laufe des Projekts eher Betriebe beraten, die deutlich mehr Kühe halten als der Durchschnitt in NRW (Vergleich: NRW- Durchschnitt: 81 Kühe/Betrieb, Projekt-Durchschnitt: 140 Kühe/Betrieb). Auch die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh und Jahr liegt mit 10.300 kg über dem NRW Durchschnitt von 9.880 kg. Die Minimum- und Maximum-Werte verdeutlichen jedoch, dass im Zuge des Projekts sowohl unter- als auch überdurchschnittliche Betriebe beraten wurden.

In Anbetracht der Diversität und Komplexität der Milchkuhhaltung in Nordrhein-Westfalen kann der erfasste Datensatz keine repräsentative Gültigkeit beanspruchen. Im Hinblick auf den vergleichsweise geringen Stichprobenumfang wurde bei allen Korrelationsanalysen auf die Bestimmung des Signifikanzniveaus verzichtet. Dennoch erlauben die Ergebnisse in Kombination mit dem Expertenwissen der Beratung der Landwirtschaftskammer NRW Rückschlüsse auf die Größenordnung des produktbezogenen CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der Milchproduktion sowie die Identifikation wesentlicher Stellschrauben zur Reduzierung der Emissionen.

**Tabelle 2 Kenndaten der 51 Projektbetriebe Milchvieh**

|                                                      | Mittelwert | Minimum | Maximum |
|------------------------------------------------------|------------|---------|---------|
| Jahresdurchschnittsbestand (Anzahl Kühe pro Betrieb) | 140        | 47      | 339     |
| Milchleistung ECM in kg                              | 10.300     | 7.051   | 13.450  |
| Grundfutterleistung kg ECM                           | 4.975      | 2.692   | 6.796   |
| Kuhverluste in %                                     | 4          | 0       | 13      |

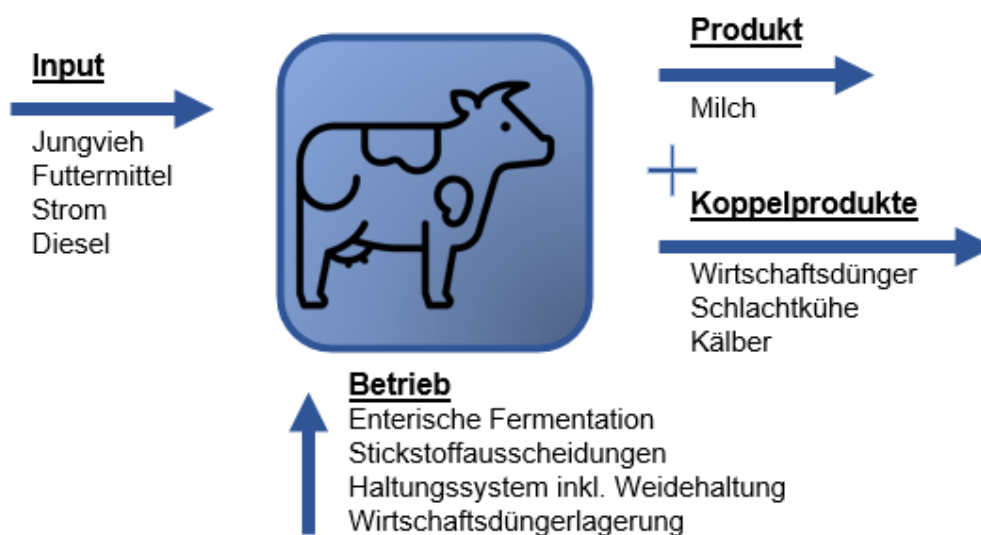
## 4.2.2 Von der Datengrundlage über die Emissionsquellen zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

### Betrachtung einzelner Betriebszweige

Die einzelnen Betriebszweige eines landwirtschaftlichen Betriebs werden immer getrennt voneinander bilanziert. Konsequenterweise erfolgt daher eine getrennte Betrachtung der Betriebszweige Jungviehaufzucht und Milchproduktion. Im Falle einer eigenständigen Jungviehaufzucht (vom Kalb bis zur Milchkuh) innerhalb eines Betriebes erfolgt die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks pro kg Lebendmasse (LM) auf Basis einer separaten Klimabilanzierung. Der errechnete Wert wird dann als Gutschrift auf die Milchproduktion übertragen. Die Bilanzierung der Jungrinder erfolgt analog zur Milchproduktion, wobei sich der Bilanzierungszeitraum nicht auf ein Jahr, sondern auf die gesamte Aufzuchtperiode bezieht. Falls der Betrieb keine eigene Jungrinderaufzucht betreibt, wird der entsprechende Standardwert nach BEK verwendet. Auf diese Weise werden die Betriebszweige bilanziell voneinander getrennt und Bilanzbrüche vermieden.

### Notwendige Betriebsdaten

Die folgende Grafik zeigt vereinfacht die Berechnung eines produktbezogenen CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in der Milchproduktion. Für die Berechnung werden sowohl die Inputfaktoren wie Futter, Einstreu, Diesel und Strom als auch die Betriebsfaktoren vor Ort wie Haltungssystem und Wirtschaftsdüngerlager genau erfasst. Bei der Milcherzeugung fallen neben dem Produkt Milch auch sogenannte Koppelprodukte wie Schlachtkühe, Kälber oder Wirtschaftsdünger an. Ein Teil der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen der Milchproduktion wird den Koppelprodukten zugeordnet und entsprechend dem Produkt Milch als Negativemissionen gutgeschrieben.



**Abbildung 21 Schematische Darstellung der Berechnung produktbezogener Klimabilanzen in der Milchviehhaltung**

Die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks mithilfe des im Projekt verwendeten Tools ist aufgrund der Vielzahl an zu erfassenden Daten sehr komplex. Um sicherzustellen, dass alle Betriebe die gleichen Eingangsdaten verwenden, wurde mit allen Klimaschutzberatern über die Produktionsbereiche hinweg ein

einheitliches methodisches Vorgehen vereinbart. Für die Berechnung einer CO<sub>2</sub>-Bilanz im Milchviehbereich wurden folgende Betriebsdaten herangezogen.

**Angaben zum Tierbestand:**

- Durchschnittstierbestand
- Anfangsbestand
- Endbestand
- Lebendgewicht der Tiere
- Anzahl der Schlachtkühe
- Gewicht der Schlachtkühe
- Zuchtviehverkäufe
- Gewicht der Zuchttiere
- Kuhverluste
- Gewicht der Kuhverluste
- Lebendgeburten
- Gewicht der Kälber 28 Tage
- Kälberverluste bis 28 Tage
- Zwischenkalbezeit
- Trockensteherzeit

**Leistung:**

- Milchleistung
- Fettgehalt
- Eiweißgehalt
- Harnstoffgehalt

**Haltungssystem:**

- Anzahl der Tiere in Anbindestall (stroh- oder güllebasiert)
- Festmisthaltung
- Boxenlaufstallhaltung mit Hoch – oder Tiefboxen
- Weidehaltung (Anzahl und Dauer)

**Wirtschaftsdüngerlagerung:**

- Art der Güllelagerung
- Gülleverwertung in Biogasanlage
- Mistverwertung in Biogasanlage

**Fütterung:**

- Einsatz von Gras- und Maissilage
- Einsatz von Saftfutter
- Einsatz von Kraftfutter
- Einsatz von Rapsextraktionsschrot
- Einsatz von Sojaschrot

- Einsatz von Mineralfutter
- Einsatz von Futterstroh

#### **Energie:**

- Stromverbrauch
- Anteil erneuerbarer Energien
- Dieserverbrauch für Futtermittel
- Anteil Biodiesel

#### **Emissionsquellen**

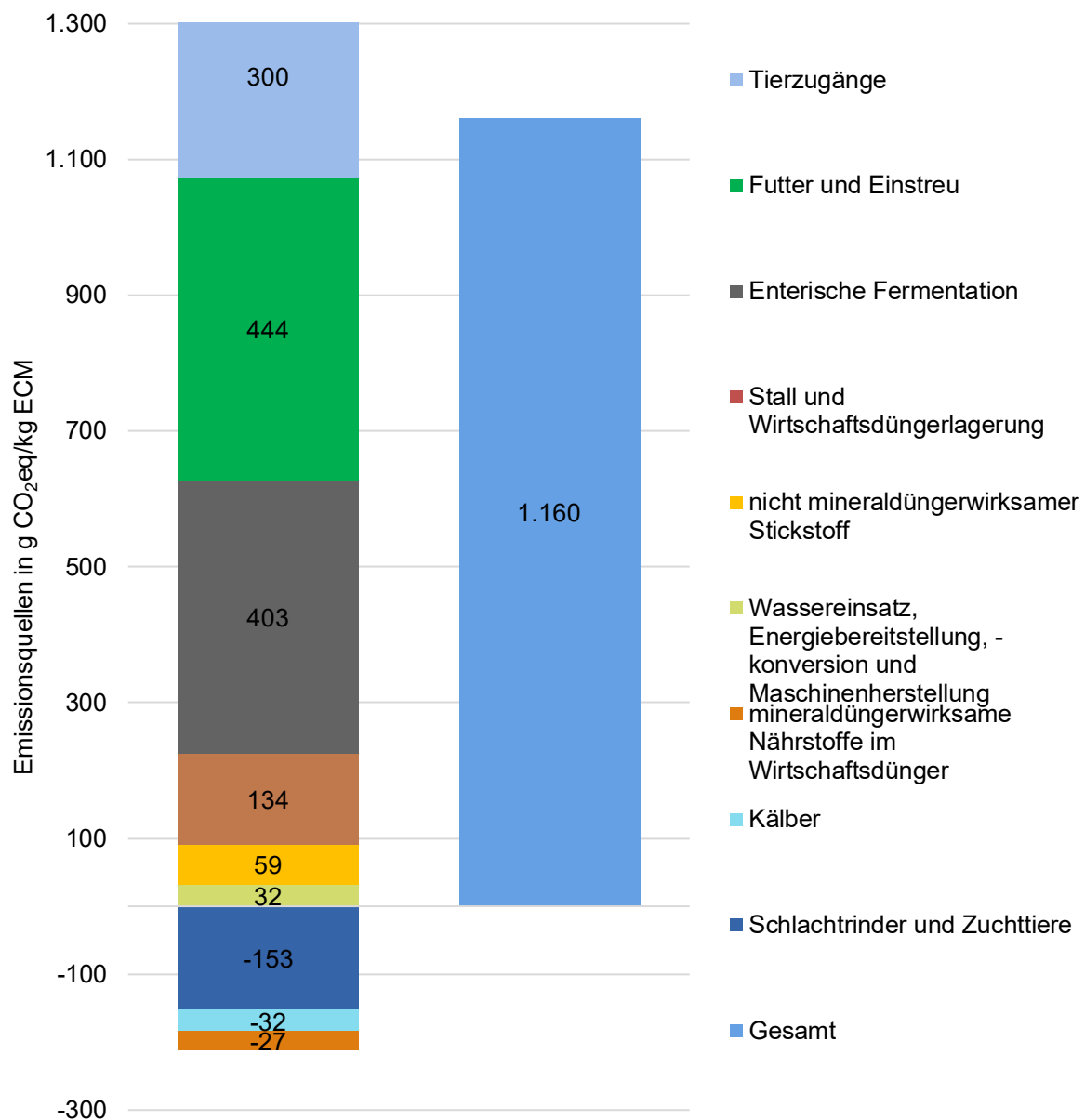
Alle oben aufgeführten Eingangsdaten beeinflussen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, jedoch in unterschiedlicher Gewichtung. Übergeordnetes Ziel ist es, die Hauptemissionsquellen der Betriebe zu lokalisieren, um darauf aufbauend geeignete Stellschrauben zur Reduktion der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen identifizieren und validieren zu können.

Da die Emissionsquellen auf den einzelnen Betrieben sehr unterschiedlich sind, werden im Folgenden beispielhaft die Emissionsquellen eines im Projekt untersuchten Beispielbetriebes vorgestellt, der hinsichtlich der Milchleistung von ca. 10.000 kg Milch/Kuh\*Jahr und der Bestandsgröße von 97 Tieren annähernd einen durchschnittlichen Milchviehbetrieb in NRW widerspiegelt.

**Tabelle 3 Betriebsdaten Beispielbetrieb Milchviehhaltung**

|                                                             |        |
|-------------------------------------------------------------|--------|
| Bestandsgröße (Anzahl Tiere)                                | 97     |
| Milchleistung in kg ECM Kuh                                 | 10.444 |
| Grundfutterleistung in kg/kg ECM                            | 5.918  |
| Tierverluste in %                                           | 3      |
| Weidehaltung                                                | Nein   |
| Gülle- und Mistverwertung in Biogasanleitung in %           | 0      |
| Anteil Einsatz erneuerbarer Energien in %                   | 20     |
| CO <sub>2</sub> -Fußabdruck in g CO <sub>2</sub> eq/ kg ECM | 1.160  |

Die nachfolgende Abbildung 22 zeigt den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck inklusive der einzelnen Emissionsquellen und den anzurechnenden Gutschriften des ausgewählten Beispielbetriebs. Jedes produzierte kg Energiekorrigierte Milchmenge (ECM) auf dem Betrieb verursacht insgesamt 1.160 g CO<sub>2</sub>eq.



**Abbildung 22 Emissionsquellen Milchviehhaltung Beispielbetrieb**

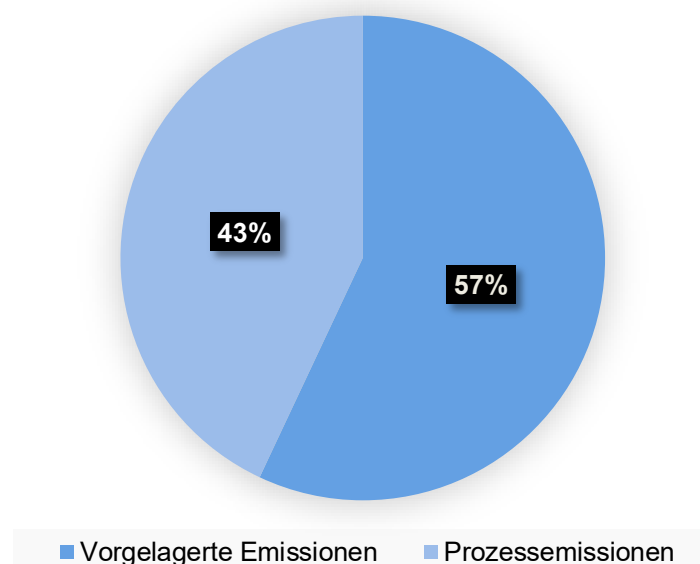
Im linken Stapeldiagramm lassen sich die größten drei Emissionsquellen dem Beispielbetrieb gut erkennen. Mit 444 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM verursachen Fütterung und Einstreu die meisten Emissionen, gefolgt von der enterischen Fermentation mit 403 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM, die stark von der Fütterung (Futtermenge und -qualität) abhängig ist. Als enterische Fermentation wird dabei der Verdauungsprozess bezeichnet, bei dem Mikroorganismen im Verdauungstrakt der Wiederkäuer Kohlenhydrate abbauen. Die Mikroorganismen zersetzen und fermentieren die Nahrung, wobei Methan als Nebenprodukt entsteht. Dieses Methan wird dann von den Tieren ausgestoßen und trägt zu den Treibhausgasemissionen bei.

Auch die Tierzugänge machen mit 300 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM einen erheblichen Anteil aus. Dieser Wert stammt aus dem vorgelagerten Bereich der Aufzucht und wird als „Rucksack“, d.h. als CO<sub>2</sub>eq-Lastschrift in die Berechnung einbezogen. Relativiert wird dieser Wert durch Gutschriften aus dem Schlacht- oder Zuchtrinderverkauf (-153 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM). Bei gleichbleibender Bestandsgröße werden diese Werte

gegeneinander aufgerechnet. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass die Tierverluste - auf dem Betrieb 3 % - geringgehalten werden, da für diese keine CO<sub>2</sub>eq-Gutschrift erfolgt.

Für die Stall- und Wirtschaftsdüngerlagerung fallen 134 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM an. Zudem wird deutlich, dass die Emissionsquellen Energieeinsatz und Maschinenherstellung (59 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM) nur einen relativ kleinen Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen.

Auch in der Milchviehhaltung entstehen Treibhausgasemissionen aus zwei Hauptquellen: den vorgelagerten Emissionen und den Prozessemissionen. Vorgelagerte Emissionen umfassen den Wasser- und Energieeinsatz, Tierzugänge, sowie die Produktion und den Transport von Futter und Einstreu. Diese Emissionen machen in der Milchviehhaltung einen großen Anteil von etwa 57 % der gesamten Emissionen aus. Prozessemissionen hingegen, die 43 % der Gesamtemissionen ausmachen, entstehen durch den direkten landwirtschaftlichen Betrieb, wie etwa bei der Stickstoffdüngung, der Weidehaltung, der Lagerung von Stall- und Wirtschaftsdünger sowie der enterischen Fermentation der Tiere.



**Abbildung 23 Treibhausgas-Quellen in der Milchviehhaltung (Beispielbetrieb)**

Im Allgemeinen haben Landwirte oft nur einen direkten Einfluss auf die Prozessemissionen, da diese eng mit den betrieblichen Abläufen und dem Management der Tiere und Flächen zusammenhängen. In der Milchviehhaltung ergibt sich jedoch eine Besonderheit: Obwohl die vorgelagerten Emissionen normalerweise schwer vom Landwirt zu beeinflussen sind, haben Milchviehhalter in vielen Fällen die Möglichkeit, auch auf diesen Bereich direkten Einfluss zu nehmen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Grundfutter für die Tiere auf dem eigenen Betrieb angebaut und produziert wird, was in der Praxis bei fast allen Milchviehbetrieben der Fall ist. Dadurch können Landwirte durch eine optimierte Bodenbewirtschaftung und Düngung die Emissionen, die mit der Futterproduktion verbunden sind, erheblich senken. Ein weiterer relevanter Aspekt betrifft die Aufzucht des Jungviehs. Findet diese ebenfalls auf dem eigenen Betrieb statt, kann der Landwirt nicht nur die Futterproduktion, sondern auch die Emissionen aus der Jungviehaufzucht selbst steuern. Durch die Optimierung der Fütterung und der Haltungsbedingungen kann die Emissionseffizienz verbessert werden.

In der weiteren Auswertung liegt der Fokus jedoch ausschließlich auf den Prozessemissionen aus dem Betriebszweig Milchviehhaltung. Obwohl vorgelagerte Emissionen einen Teil der Gesamtemissionen ausmachen und unter bestimmten Bedingungen vom Landwirt beeinflusst werden können, liegt der Schwerpunkt dieser Untersuchung auf den Emissionen, die direkt durch betriebliche Abläufe entstehen. Ziel ist es, Maßnahmen zu identifizieren, die Landwirte unmittelbar in ihrem täglichen Betrieb umsetzen können.

Für die genannten Bereiche Futter/Einstreu, enterische Fermentation und Tierzugänge gibt es vier Faktoren, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe der Emissionen ausüben:

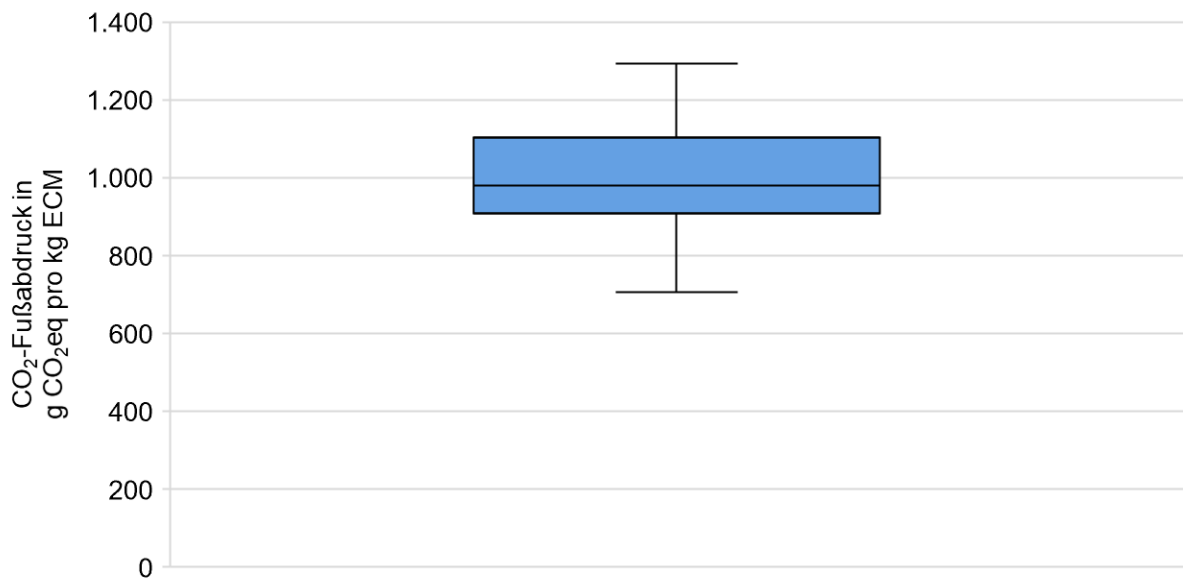
- **Enterische Fermentation:** Ist stark von der Fütterung (Futtermenge und -qualität) abhängig und lässt sich daher nur durch den Einflussfaktor Fütterung beeinflussen. Zurzeit gibt es keine zugelassenen Futterzusatzstoffe, die auf den Bereich der Fermentation selbst einwirken und den Methanausstoß in der Nutztierhaltung erwiesenermaßen senken können. Daher wird dieser Einflussfaktor im weiteren Bericht vernachlässigt.
- **Fütterung (Grundfutterleistung):** Die Grundfutterleistung bei Milchvieh bezieht sich dabei auf die Menge Milch, die eine Kuh aus dem Grundfutter, wie Gras, Heu oder Silage, produziert. Eine ausgewogene, wiederkäuergerechte Fütterung ist die Grundlage für gute Milchleistungen und Tiergesundheit. Durch hohe Grundfutterleistungen verschiebt sich das Verhältnis von gemolkener Milch aus Kraftfuttermitteln hin zum Grundfutter. Da die Erzeugung des Grundfutters mit einem niedrigeren CO<sub>2</sub>eq-Rucksack verbunden ist als die des Kraftfutters, kann durch diese Stellschraube der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck positiv beeinflusst werden.
- **Bestandszugänge und -abgänge:** Um den Tierbestand auf einer ungefähr einheitlichen Größe zu halten, werden die Tiere, die den Betrieb aus gesundheitlichen oder Altersgründen verlassen, durch Jungtiere ersetzt. Durch eine gute Tiergesundheit mit wenig Tierverlusten lässt sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck positiv beeinflussen.
- **Wirtschaftsdüngerverwertung:** Wird die anfallende Gülle oder der anfallende Mist direkt in einer Biogasanlage verwertet, beeinflusst dies die anfallenden Emissionen positiv.

Zudem gibt es einen weiteren wichtigen Einflussfaktor auf den Wert des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, der in dem Sinne zwar keine eingeständige Emissionsquelle darstellt, jedoch diesen stark beeinflusst:

- **Milchleistung:** Bei steigender Milchleistung können die anfallenden Emissionen auf eine größere Menge Milch verteilt werden. Dadurch sinkt der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro Kilogramm Milch. Dieser Faktor ist besonders relevant, da die milchleistungsunabhängigen Emissionen, die durch den sog. Grund- bzw. Erhaltungsumsatz einer Kuh ausgelöst werden, vergleichsweise hoch sind. Die pro Liter Milchleistung zusätzlich erzeugten Emissionen sind dagegen vergleichsweise gering.

### **CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Projektbetriebe Milchviehhaltung**

Die Größenordnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks des Produktes Milch der 51 Betriebe sind in der nachfolgenden Abbildung 24 CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Milch Projektbetriebe dargestellt.



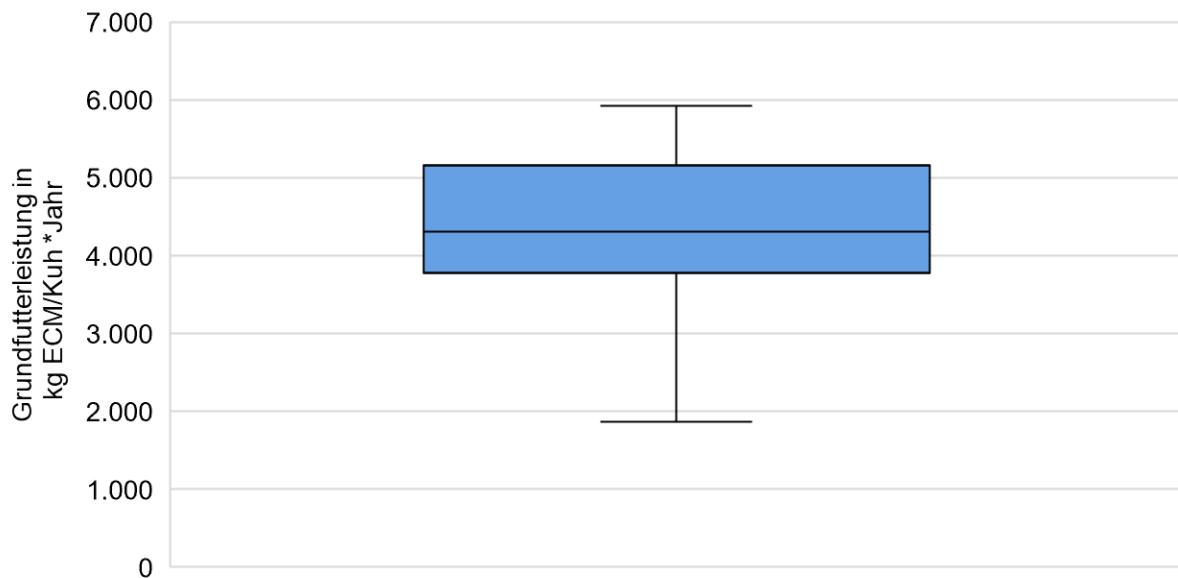
**Abbildung 24 CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Milch Projektbetriebe**

Der Median des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der untersuchten Betriebe lag bei 980 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM. Die Hälfte der Betriebe lag zwischen 909 und 1.103g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM. Die enorme Streuung der ermittelten CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke (705 bis 1.294 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM) war bemerkenswert und gab Anlass, die Einflussfaktoren näher zu untersuchen.

## 4.2.3 Einflussfaktoren auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

### 4.2.3.1 Fütterung - Grundfutterleistung

Eine Hauptemissionsquelle bei der Produktion von Milch ist die Fütterung (siehe Abbildung 22). Aus Sicht der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen ist dabei die Unterscheidung zwischen Grundfutterleistung und Kraffutterleistung wesentlich. Die Grundfutterleistung bezeichnet diejenige Menge an Milch, die nach Abzug derjenigen Milchmenge, die durch den Einsatz von Kraffutter erzeugt wurde, verbleibt.



**Abbildung 25 Grundfutterleistung Projektbetriebe Milchvieh**

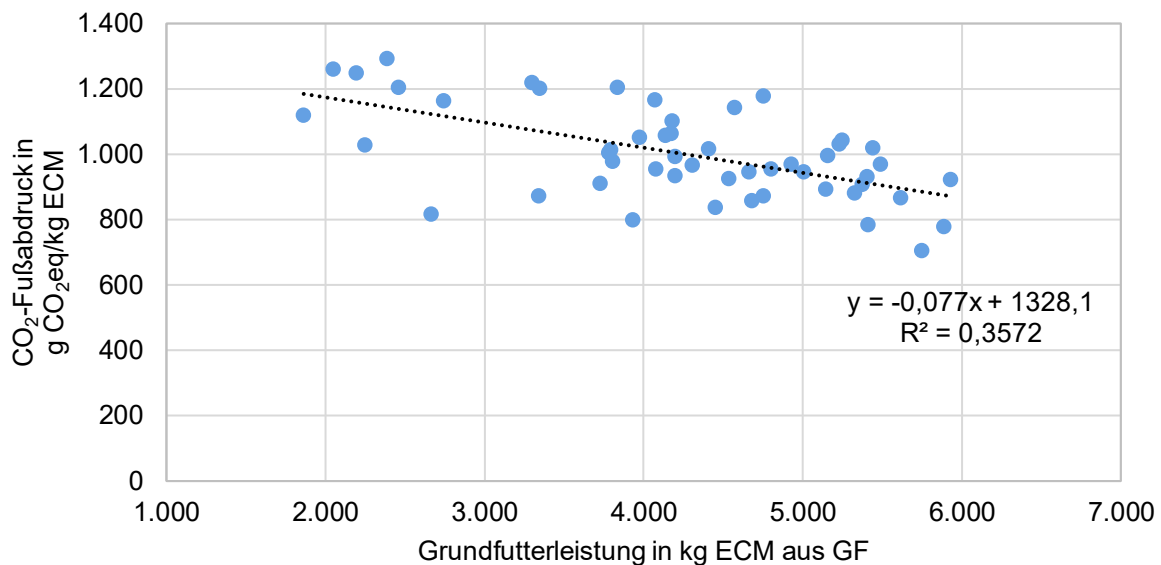
Zu beachten ist, dass der Kraffutterverbrauch und die damit rechnerisch verbundene Milchleistung unter Praxisbedingungen relativ einfach und sicher zu erheben sind. Das angewendete Verfahren erlaubt allerdings hinsichtlich der Grundfutterleistung keine Aussage über die tatsächliche Verwertung von Grund- oder Kraffutter, da rechnerisch alle Fehler im Fütterungsmanagement (z. B. ein mangelndes Tier-Fressplatz-Verhältnis) dem Grundfutter angelastet werden. Dennoch bietet der Wert der Grundfutterleistung eine Übersicht über das Verhältnis von Grund- und Kraffuttermitteln und gibt Aufschluss darüber, ob eine Reduzierung des Kraffuttereinsatzes zur Einsparung von Emissionen möglich ist und Verbesserungen im Fütterungsmanagement in Betracht kommen.

Die festgestellte Gesamtschwankungsbreite der Grundfutterleistung der untersuchten Betriebe lag zwischen 1.863 und 5.929 kg ECM/Kuh\*Jahr (Abbildung 25). Die meisten Betriebe liegen bei einer Grundfutterleistung zwischen 3.781 kg ECM und 5.159 kg ECM. Der Median liegt bei 4.304 kg ECM. Laut Beratungsempfehlung wird eine Grundfutterleistung von mindestens 4.000 kg ECM bzw. mindestens 50 % der Gesamtmilchleistung angestrebt. Dieser Empfehlung entsprechen mehr als die Hälfte der Projektbetriebe.

Die enorme Gesamtschwankungsbreite der Grundfutterleistung gibt Anlass, die diesbezüglichen Einflussfaktoren im Detail zu betrachten:

- **Qualität des Grundfutters:** Die Nährstoffzusammensetzung, Verdaulichkeit und der Energiegehalt des Grundfutters spielen eine entscheidende Rolle. Hochwertiges Grundfutter führt zu einer besseren Milchproduktion und mehr produzierte Milch zu einer Senkung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks je Produkteinheit.
- **Fütterungsstrategie:** Die richtige Balance zwischen Grundfutter und Kraftfutter sowie die Anpassung der Fütterung an die Laktationsphasen der Kühe können die Grundfutterleistung optimieren.
- **Futtermanagement:** Wie das Futter gelagert, zubereitet und den Kühen angeboten wird, kann die Aufnahme und Effizienz beeinflussen. Je optimaler das Futter eingesetzt wird, desto geringer ist der Fußabdruck. Regelmäßige Fütterungszeiten und das richtige Mischungsverhältnis von Futterkomponenten sind wichtige Einflussgrößen.
- **Gesundheit der Kühe:** Gesunde Kühe haben eine höhere Futteraufnahme und bessere Futterverwertung. Krankheiten oder Stress können die Futteraufnahme und -verwertung und damit die Grundfutterleistung verringern.
- **Genetik der Kühe:** Die genetische Veranlagung der Kühe beeinflusst ihre Fähigkeit, Futter in Milch umzuwandeln. Zuchtprogramme, die auf hohe Futtereffizienz abzielen, können die Grundfutterleistung verbessern.
- **Stallbedingungen:** Komfortable Stallbedingungen, wie ausreichend Platz, gute Belüftung und angenehme Temperaturen, fördern das Wohlbefinden der Kühe und damit ihre Futteraufnahme und Milchproduktion.
- **Wasserverfügbarkeit:** Ausreichend sauberes und leicht zugängliches Wasser ist essenziell für die Verdauung und die allgemeine Gesundheit der Kühe. Eine gute Wasserversorgung unterstützt die Futteraufnahme und Milchproduktion.

In Summe beeinflussen diese Faktoren maßgeblich, wie effizient Kühe das Grundfutter in Milch umwandeln. Die Aufzählung und die teils komplexen Wechselwirkungen liefern insofern eine Erklärung für die enorme Schwankungsbreite der Grundfutterleistung (Abbildung 25). Es wird deutlich, dass die produzierte Milchmenge aus dem Grundfutter auch von den individuellen Managementfähigkeiten der Betriebsleiter und Betriebsleiterinnen abhängt. Eine gezielte Optimierung der Grundfutterleistung kann die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion fördern und zugleich den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck senken. Dies wird auch durch die negative Korrelation zwischen der Grundfutterleistung und den CO<sub>2</sub>eq-Emissionen bestätigt (Abbildung 26).



**Abbildung 26 Zusammenhang zwischen Grundfutterleistung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Projektbetriebe Milch**

Der errechnete R<sup>2</sup>-Wert von 0,3572 bedeutet, dass etwa 35,72 % der Variation im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck durch die Grundfutterleistung erklärt werden können. Gleichzeitig deutet der Wert darauf hin, dass es noch weitere Faktoren gibt, die den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Milchproduktion beeinflussen.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass eine höhere Grundfutterleistung in der Regel mit tendenziell geringeren CO<sub>2</sub>eq-Emissionen pro Kilogramm Milch einhergeht. Diese Korrelation lässt sich auf folgende Zusammenhänge zurückführen:

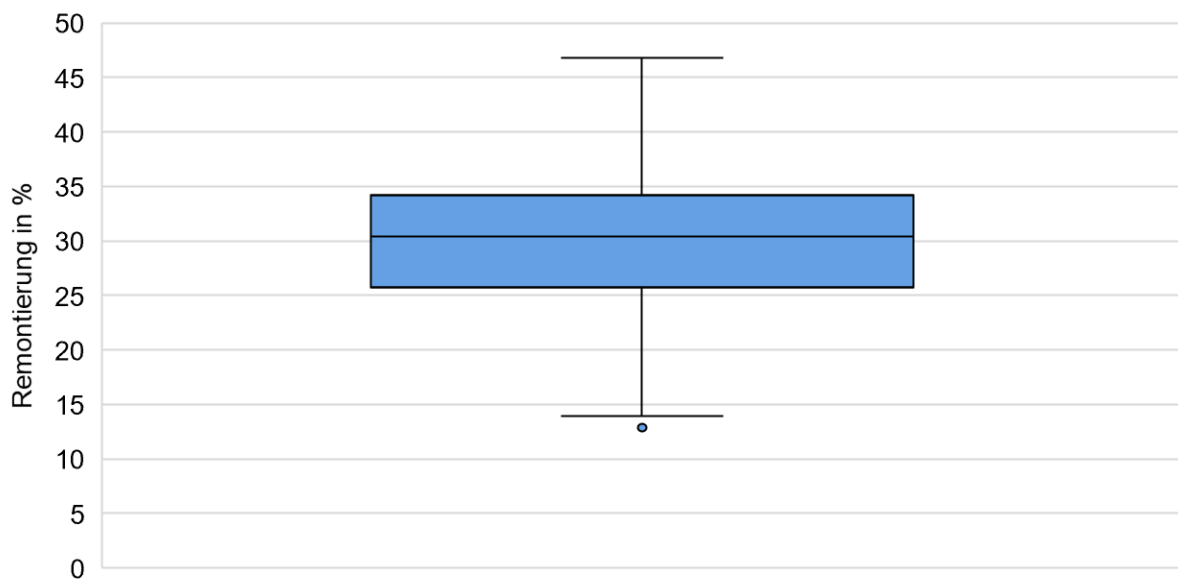
- **Regionale Futterproduktion:** Grundfutter wie Gras- und Maissilage werden regional produziert. Die Emissionen für Anbau, Transport und Verarbeitung sind gering.
- **Reduzierter Einsatz von Kraftfutter:** Eine hohe Grundfutterleistung bedeutet, dass weniger Kraftfutter benötigt wird. Die Produktion und der Transport von Kraftfutter verursachen zusätzliche CO<sub>2</sub>eq-Emissionen. Durch die Reduktion des Kraftfuttereinsatzes sinken die gesamten Emissionen.
- **Gesündere Kühe:** Kühe, die eine hohe Grundfutterleistung haben, sind oft gesünder und haben eine bessere Verdauung. Dies führt zu einer geringeren Methanproduktion.

Insgesamt trägt eine hohe Grundfutterleistung dazu bei, die Effizienz der Milchviehfütterung und gleichzeitig der Milchproduktion zu steigern und somit die Treibhausgasbelastung zu verringern.

#### 4.2.3.2 Bestandszugänge und -abgänge

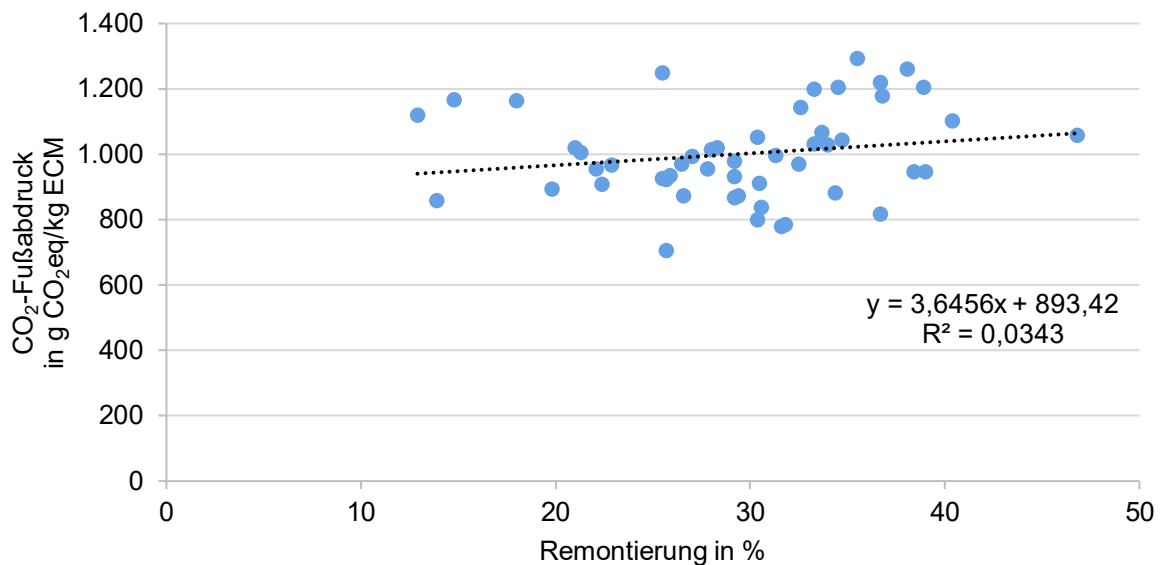
Bestandszugänge und -abgänge werden in der Milchviehhaltung als Remontierung zusammengefasst. Remontierung bezeichnet den Prozess der Bestandsergänzung durch Färsen (junge weibliche Rinder) um den Durchschnittsbestand an Milchkühen zu erhalten. Dies ist notwendig, da Kühe im Laufe der Zeit aus verschiedenen Gründen wie Alter, Unfruchtbarkeit, Eutererkrankungen oder Klauenproblemen den Betrieb verlassen.

Die Remontierungsrate gibt an, wie viele Färsen eines Bestandes jährlich benötigt werden, um die abgehenden Kühe (Schlacht- und Verlustkühe) zu ersetzen. Eine typische Remontierungsrate liegt zwischen 25 und 30 %. Eine hohe Remontierungsrate kann hohe Aufzucht- und Futterkosten verursachen, während eine niedrige Rate die Milchproduktion und die genetische Verbesserung der Herde negativ beeinträchtigen kann.



**Abbildung 27 Remontierung der Projektbetriebe Milchvieh**

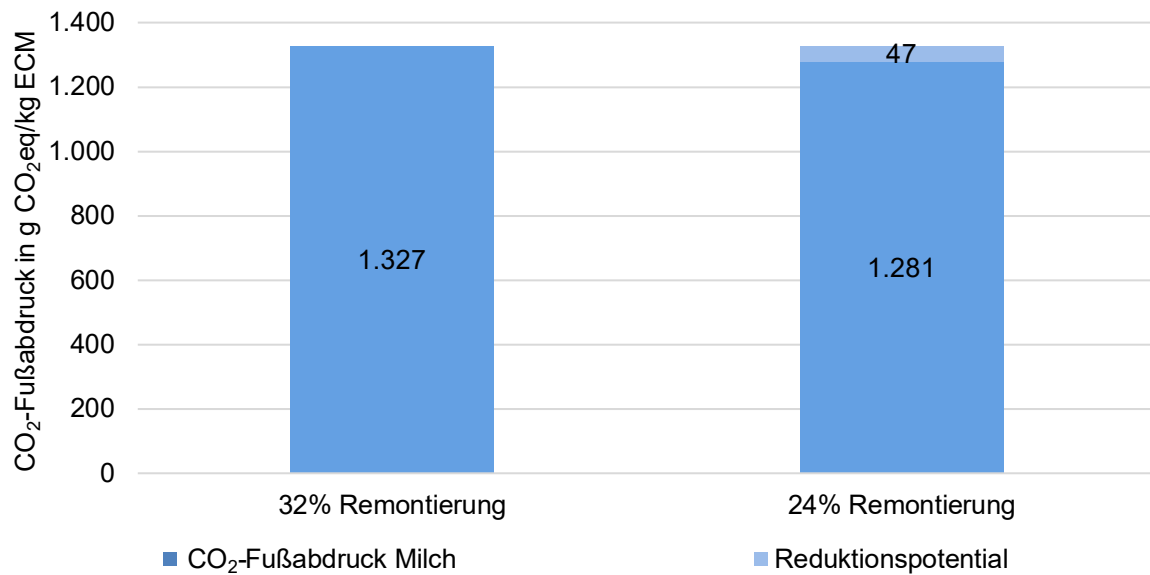
Abbildung 27 zeigt die Remontierung der untersuchten Projektbetriebe. Die Remontierung auf den Betrieben schwankt zwischen 13 % und 47 %, der Hauptteil der Betriebe liegt zwischen 26 % und 34 %. Die Hälfte der Betriebe liegt oberhalb des Medians von 30 % und somit auch über der anzustrebenden Zielgröße von 25 % bis 30 % Remontierung.



**Abbildung 28 Zusammenhang zwischen Remontierung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Milchvieh**

Die Korrelation zwischen der Remontierung und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck war für die untersuchten Betriebe gering ( $R^2 = 0,0344$ ; Abbildung 28). Ursächlich für den geringen statistischen Zusammenhang von Remontierung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck sind die sich gegenseitig relativierenden Gut- bzw. Lastschriften. Bei geringer Remontierung sind die für die Jungviehaufzucht anzusetzenden CO<sub>2</sub>eq-Lastschriften zwar gering. Allerdings ist die geringe Remontierung – bei gleichbleibender Bestandsgröße - zugleich verbunden mit weniger Schlachtrinderabgängen und folglich geringeren Gutschriften durch den Verkauf von Schlachtkühen, wodurch sich die Effekte von Zu- und Abgängen auf die Remontierung wechselseitig vermindern.

Dennoch lässt sich insbesondere bei einzelbetrieblicher Betrachtung feststellen, dass auch die Optimierung der Remontierung ein Reduktionspotenzial für Treibhausgase birgt. Für einen Beispielbetrieb mit einer Remontierung von 32 % ergibt sich durch die Verbesserung der Remontierung auf 24 % insgesamt ein produktbezogenes Reduktionspotenzial für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von 47 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM (Abbildung 29). Der Emissionsreduzierung (63 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM) infolge geringeren Jungviehbedarfs stehen dabei sinkende Gutschriften für die Schlachtrinderabgänge (16 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM) gegenüber.



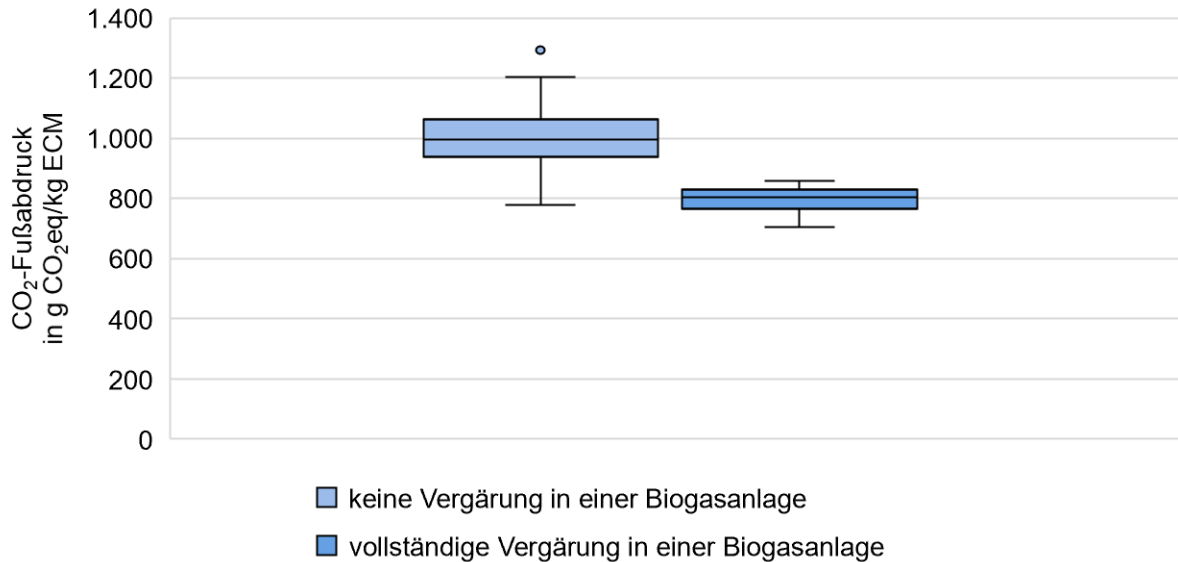
**Abbildung 29 Minderungspotenzial der Treibhausgasemissionen in der Milchviehhaltung durch eine Optimierung der Remontierungsrate**

Folgende Aspekte sollten daher bei Betrachtung der Remontierung im Zusammenhang mit dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck berücksichtigt werden:

- **Aufzucht der Jungrinder:** Durch die Optimierung der anfallenden Emissionen von der Aufzucht der Kälber bis zur Milchkuh können Emissionen eingespart werden, da die Jungtiere mit einem geringeren CO<sub>2</sub>eq-Rucksack in den Betriebszweig Milchvieh eintreten.
- **Verbesserte Tiergesundheit und somit eine Verlängerung der Lebensdauer der Milchkuhe:** Gesundere und produktivere Kühe, die länger im Betrieb bleiben, können den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck senken, da sie über ihre Lebensdauer mehr Milch produzieren und weniger Ressourcen für die Nachzucht benötigen.
- **Anteil Kuhverluste sowie Anteil an Schlachtkühen:** Hohe Kuhverluste sind durch ein optimales Haltungsmanagement zu reduzieren. Bei den Kuhverlusten kann im Gegensatz zu den Schlachtkühen keine Gutschrift für ein Koppelprodukt angesetzt werden, da hier das Fleisch nicht verwertet wird. Kuhverluste erhöhen insofern unmittelbar die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen.

#### 4.2.3.3 Lagerung und Vergärung von Wirtschaftsdünger

Bei der Milchproduktion entstehen während der Lagerung von Wirtschaftsdüngern erhebliche Treibhausgasemissionen. Im Fall des Beispielbetriebs liegen diese Emissionen mit 134 CO<sub>2</sub>eq/kg ECM mengenmäßig an vierter Stelle (Abbildung 22).

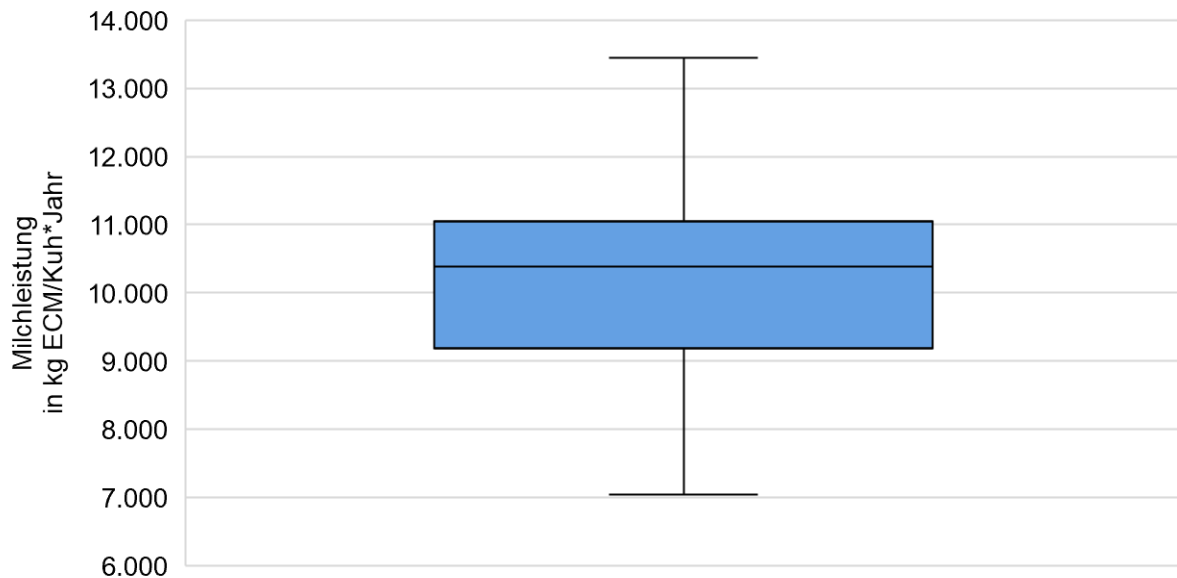


**Abbildung 30 Wirtschaftsdüngerlagerung Milchviehhaltung: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in Abhängigkeit vom Anteil der Vergärung von Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage**

Die Abbildung 30 zeigt den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Milch in Abhängigkeit vom Anteil der Vergärung von Wirtschaftsdüngern in einer Biogasanlage. Es lässt sich feststellen, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro kg ECM bei Betrieben, die Wirtschaftsdünger vollständig in einer Biogasanlage vergären, deutlich geringer ist als bei Betrieben, die keine Vergärung durchführen. In Summe kann die Vergärung von Wirtschaftsdüngern in einer Biogasanlage in Kombination mit der systembedingt gasdichten Lagerung die Treibhausgasemissionen (Methan, Lachgas und dem indirekt klimawirksamen Ammoniak) deutlich reduzieren. Bei der konventionellen Lagerung von Rindergülle gehen 10 % bis 17 % des Methanbildungspotenzials der Gülle in die Atmosphäre verloren. Nicht gasdichte Abdeckungen zur Ammoniakminderung (Zelt-dach, Betondecke, Schwimmfolie) reduzieren diese Emissionen ausdrücklich nicht. Eine vermehrte Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen könnte somit dazu beitragen, den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Milch zu verbessern.

#### 4.2.3.4 Milchleistung

Die Milchleistung der untersuchten Projektbetriebe liegt durchschnittlich bei 10.300 kg ECM pro Kuh und Jahr (Abbildung 31). Damit liegen die Beratungsbetriebe im Durchschnitt über dem NRW-Mittel von 9.880 kg ECM pro Kuh und Jahr.



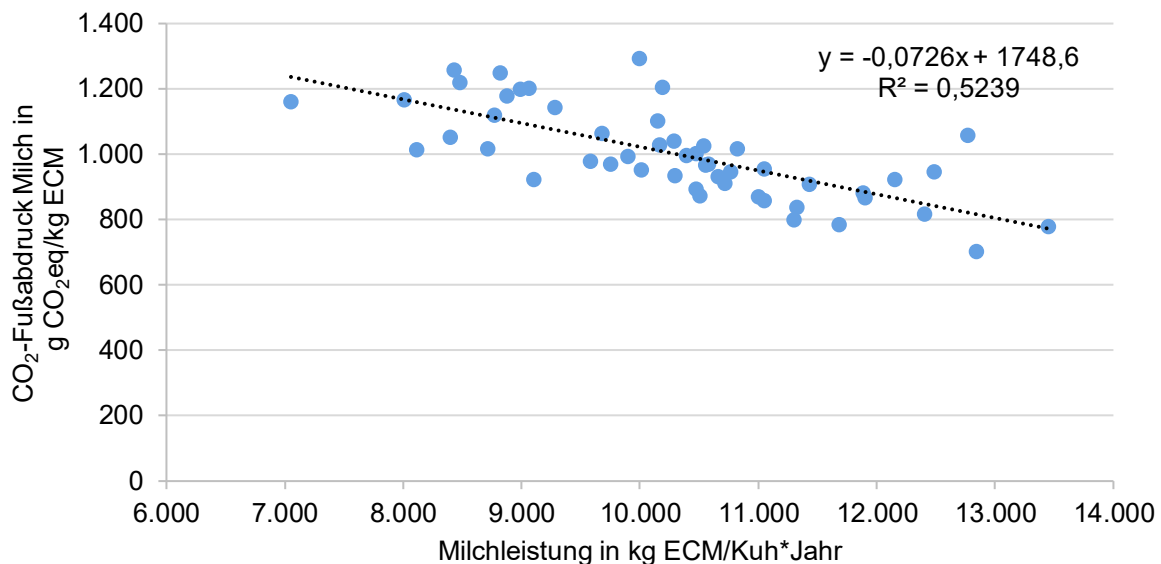
**Abbildung 31 Milchleistung der untersuchten Betriebe**

Im Boxplot-Diagramm (Abbildung 31) lässt sich erkennen, dass die Milchleistung pro Kuh und Jahr zwischen den einzelnen Betrieb mit minimal 7.052 kg ECM und maximal 13.450 kg ECM sehr stark schwankt. Der Hauptteil der Betriebe liegt bei einer Milchleistung je Kuh und Jahr zwischen 9.103 kg ECM und 11.054 kg ECM.

Die Milchleistung einer Kuh wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Diese sind unter anderem:

- **Fütterung:** Die Qualität und die Inhaltsstoffe des Futters sind Wichtig für eine bedarfsgerechte Ernährung mit ausreichend Energie, Proteinen und Mineralstoffen.
- **Gesundheit der Herde:** Krankheiten, Stoffwechselkrankheiten und Erkrankungen am Bewegungsapparat können die Milchproduktion erheblich beeinträchtigen.
- **Genetik:** Die genetische Veranlagung der Kühe spielt eine große Rolle. Durch Einsatz von Rassen mit höherem Milchleistungspotenzial kann die Milchleistung gesteigert werden.
- **Haltungsbedingungen:** Gute Stallhygiene, ausreichend Platz und Komfort sowie ein stressfreies Umfeld sind wichtig für die Gesundheit und Produktivität der Kühe.
- **Management:** Regelmäßige Gesundheitskontrollen, optimierte Melkroutinen und gutes Herdenmanagement tragen zur Maximierung der Milchleistung bei.
- **Umweltfaktoren:** Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Belüftung im Stall können die Milchproduktion beeinflussen. Extreme Temperaturen sollten vermieden oder soweit möglich abgemildert werden (z. B. Einsatz von Ventilatoren).

In Abbildung 32 wird der Zusammenhang zwischen der Milchleistung in kg ECM und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in kg CO<sub>2</sub>eq je kg ECM dargestellt. Der Zusammenhang zwischen der Milchleistung und dem CO<sub>2</sub>eq-Ausstoß pro kg ECM ist negativ korreliert. Bei höherer Milchleistung sinkt in der Regel der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Der R<sup>2</sup>-Wert von 0,5239 bedeutet, dass 52,39 % der Variation im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck durch die Milchleistung erklärt werden kann.



**Abbildung 32 Zusammenhang zwischen Milchleistung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Projektbetriebe**

Der Zusammenhang zwischen der Milchleistung einer Kuh und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Produkts Milch ist komplex, lässt sich im Allgemeinen aber durch folgende Faktoren beeinflussen:

- **Effizienz der Produktion:** Bei einer höheren Milchleistung werden die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen, die mit der Milchproduktion verbunden sind, auf eine größere Menge Milch verteilt. Dadurch sinkt der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro Kilogramm Milch.
- **Enterische Fermentation:** Kühe produzieren Methan als Nebenprodukt der Verdauung. Die milchleistungsunabhängigen Emissionen, die durch den sog. Grund- bzw. Erhaltungsumsatz der Kühe ausgelöst werden, sind vergleichsweise hoch. Die leistungsabhängigen Emissionen pro Liter erzeugter Milch sind dagegen vergleichsweise gering. Kühe mit höherer Milchleistung können effizienter Futter in Milch umwandeln, was zu einer geringeren Methanproduktion pro Kilogramm Milch führen kann.
- **Futterqualität und -zusammensetzung:** Hochleistende Kühe benötigen hochwertigeres Futter, das besser verdaulich ist und weniger Methanemissionen verursacht. Dies kann den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck weiter reduzieren.
- **Management:** Betriebe, die auf hohe Milchleistung abzielen, setzen oft effizientere Managementpraktiken ein, die den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck senken können. Dazu gehören unter anderem optimierte Fütterungsstrategien oder den Tierkomfort fördernde Haltungsbedingungen.
- **Gesundheit und Langlebigkeit:** Gesunde Kühe haben oft eine längere Lebensdauer und eine höhere Gesamtproduktivität, was den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro Kilogramm Milch weiter senken kann, da weniger Jungvieh zur Remontierung benötigt wird.

Zusammengefasst kann eine höhere Milchleistung pro Kuh zu einer effizienteren Nutzung von Ressourcen und einer Reduktion der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen pro produzierter Milcheinheit führen. Dies ist jedoch stark von den spezifischen Managementpraktiken und der Futterqualität abhängig.

#### **4.2.4 Schlussbetrachtung Milcherzeugung**

Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt 51 Milchviehbetriebe umfassend untersucht und auf Basis der CO<sub>2</sub>-Bilanzen für das Produkt Milch beraten.

Ein zentrales Ziel des Projekts war es, die Größenordnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in der Milchproduktion in Nordrhein-Westfalen abzuleiten. Die Ergebnisse aus den untersuchten Betrieben zeigen, dass dieser im Median bei 980 g CO<sub>2</sub>eq pro kg energiekorrigierter Milch (ECM) liegt. Die meisten untersuchten Betriebe liegen in der Spanne zwischen 909 und 1.103 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM.

Anhand eines ausgewählten Beispielbetriebs, der hinsichtlich Bestandsgröße und Milchleistung näherungsweise einen durchschnittlichen Betrieb in Nordrhein-Westfalen widerspiegelt, wurden die Emissionsquellen identifiziert und die Einflussmöglichkeiten aufgezeigt und eingeordnet. Die größten Emissionen werden durch die Fütterung und Einstreu verursacht (444 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM), gefolgt von der enterischen Fermentation (403 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM) und den Tierzugängen (300 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM). Die Lagerung von Stall- und Wirtschaftsdünger ist mit 134 g CO<sub>2</sub>eq/kg ECM verbunden.

Die Treibhausgasemissionen in der Milchviehhaltung lassen sich in zwei Kategorien unterteilen. Die vorgelagerten Emissionen mit 57 % der Gesamtemissionen sind durch den Wasser- und Energieverbrauch, die Futterproduktion sowie die Jungviehaufzucht bedingt. Die verbleibenden 43 % der Emissionen der Prozessemissionen entstehen direkt im Betrieb. Dazu zählen u.a. Emissionen, die aus der Stickstoffdüngung, der Weidehaltung sowie der Lagerung von Wirtschaftsdüngern resultieren. Während Landwirte in der Regel lediglich die Prozessemissionen unmittelbar beeinflussen können, besteht für Milchviehhalter zudem die Möglichkeit, vorgelagerte Emissionen zu reduzieren. Insbesondere dann, wenn die Grundfutterproduktion und die Aufzucht des Jungviehs ebenfalls auf dem eigenen Betrieb stattfinden.

Die Resultate der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass eine wesentliche Stellschraube in der Steigerung der Milchleistung liegt. Der Erhaltungsbedarf von Milchkühen, der unabhängig von der Milchleistung ist, ist mit vergleichsweise großen Emissionen verbunden. Demgegenüber sind die spezifischen Emissionen pro Kilogramm Milchleistung gering, sodass eine höhere Milchleistung zu einer Reduktion der produktbezogenen CO<sub>2</sub>eq-Emissionen führt. Dieser Zusammenhang erweist sich als einer der maßgeblichsten Einflussfaktoren zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in der Milchwirtschaft.

Ein weiterer Ansatz von entscheidender Bedeutung ist die verstärkte Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen. Die Maßnahme führt zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen, indem Methanemissionen, die während der Lagerung und Ausbringung von Gülle entstehen, verringert werden. Gleichzeitig stellt die Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen eine Möglichkeit zur Erzeugung erneuerbarer Energie dar.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen stellt die Optimierung der Fütterung dar, wobei insbesondere eine Erhöhung der Grundfutterleistung positive Auswirkungen zeigt. Eine Steigerung der Milchleistung aus betriebseigenen Futtermitteln, welche in der Regel mit geringen Emissionen erzeugt werden können, bedingt eine Reduktion der Einsatzmenge von Kraftfutter. Dies führt zu einer Verringerung der Emissionen pro erzeugtem Kilogramm Milch.

Zusätzlich kann die Optimierung der Remontierung einen Beitrag zur Reduktion von Emissionen leisten. Obgleich der Einfluss auf die Gesamtemissionen im Vergleich zu anderen Maßnahmen im Durchschnitt moderat ausfällt, können einzelne Betriebe, in Abhängigkeit von der spezifischen Ausgangssituation, durch entsprechende Optimierungen ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck effektiv reduzieren.

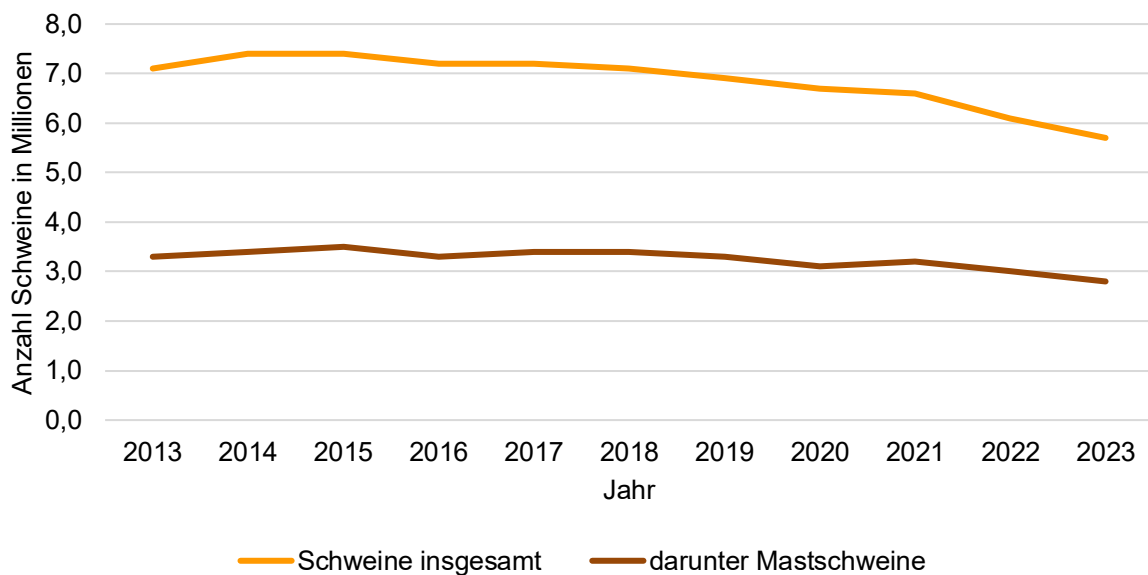
In der Gesamtschau wird ersichtlich, dass im Kontext der Milchproduktion diverse Optionen zur Reduktion der THG-Emissionen bestehen. In vielen Fällen beeinflussen sich die genannten Stellschrauben gegenseitig, wobei die Wechselwirkungen als komplex zu bezeichnen sind. Es wird ersichtlich, dass das Management auf den Betrieben, sei es in Bezug auf die Fütterung, das Herden- und Wirtschaftsdüngermanagement oder die Haltung, von hoher Komplexität geprägt ist. Die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung ermöglicht es der Beratung, die wesentlichen Einflussfaktoren zu identifizieren und in Zusammenarbeit mit der Betriebsleitung geeignete Maßnahmen zu erarbeiten und umzusetzen.

In Anbetracht der thematischen Komplexität sowie der Notwendigkeit, die individuellen betrieblichen Rahmenbedingungen und Möglichkeiten in hohem Maße zu berücksichtigen, ist eine fachkundige Individualberatung durch geschulte Beratungskräfte unabdingbar.

## 4.3 Veredelung

### 4.3.1 Einordnung der Stichprobe in die Mastschweineproduktion in NRW

Laut Viehbestandserhebung Schweine von IT.NRW wurden 2023 in den nordrhein-westfälischen Betrieben mit Schweinehaltung insgesamt 5,73 Millionen Schweine registriert (Abbildung 33). Die Anzahl der Schweine ist im Vergleich zu November 2022 um 1,0 % gesunken. 2023 wiesen rund 5.410 Betriebe in Nordrhein-Westfalen einen Mindestbestand von 50 Schweinen oder zehn Zuchtsauen auf. Insgesamt sank die Zahl der Mastschweine um 2,9 % auf 2,84 Millionen Tiere. Mastschweine repräsentierten folglich nahezu die Hälfte des Gesamtschweinebestandes.



**Abbildung 33 Haltung von Schweinen in landwirtschaftlichen Betrieben in NRW**

Die landesweite Verteilung der Schweinehaltungen zeigt eine Heterogenität hinsichtlich der verschiedenen Regierungsbezirke. Der Regierungsbezirk Münster repräsentiert mit 3.608.200 Schweinen einen Anteil von über 60 % des gesamten Schweinebestandes. Die nachfolgenden Plätze werden von den Regierungsbezirken Detmold mit 1.118.000 Schweinen, Amsberg mit 537.800 Schweinen sowie Düsseldorf mit 423.300 Schweinen eingenommen. Der Regierungsbezirk Köln bildet mit lediglich 41.800 Schweinen das Schlusslicht.

Im Verlauf des Projekts wurden insgesamt 64 Betriebsberatungen im Bereich der Veredelung durchgeführt und entsprechende CO<sub>2</sub>-Bilanzen erstellt. Davon entfielen 45 Beratungen auf die Mastschweinehaltung. Die folgende Auswertung konzentriert sich daher auf die CO<sub>2</sub>-Bilanzen im Bereich der Mastschweinehaltung. Obwohl im Rahmen des Projekts kein spezifisches Stichprobenverfahren verwendet wurde und die Stichprobengröße mit 45 Betrieben relativ klein ist, liefern die erhobenen Daten wertvolle Hinweise auf mögliche Tendenzen und Effekte in der Mastschweinehaltung in NRW. Angesichts des vergleichsweise geringen Stichprobenumfangs wurden die Ergebnisse der statistischen Analysen einer fachlichen Plausibilisierung unterzogen.

### 4.3.2 Von der Datengrundlage über die Emissionsquellen zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

Zur Berechnung einer Klimabilanz für die Schweinemast ist eine klare Abgrenzung der einzelnen Produktionsabschnitte notwendig. Der Produktionszweig Schweinemast beginnt mit dem Einstallen der Ferkel mit 25 kg Lebendmasse und endet mit dem Ausstallen der schlachtreifen Mastschweine. Die CO<sub>2</sub>eq-Lastschrift, die jedes eingestellte Ferkel mitbringt, wird mit einem Standardwert nach KTBL Parameterdatenbank berücksichtigt. Durch die klimabilanzielle Trennung der Betriebszweige werden Bilanzierungsbrüche vermieden. Die Berechnung der Klimabilanz in der Schweinemast umfasst eine Reihe von Einzelschritten. Die in die Produktion eingehenden CO<sub>2</sub>eq-Lastschriften der Vorprodukte (Ferkel, Futter- und Einstreumittel, Strom, Diesel) werden aufsummiert. Während der Mastphase werden auf dem Betrieb weitere klimarelevante Gase emittiert, beispielsweise durch die Ausscheidung von Stickstoff oder durch die Lagerung von Wirtschaftsdünger. Auch bei der Verdauung von Schweinen entstehen Gase wie Ammoniak oder Methan, wenngleich in geringeren Mengen als bei Wiederkäuern. Im Rahmen der Schweinemast anfallende Koppelprodukte werden mit einer CO<sub>2</sub>eq-Gutschrift versehen. Dadurch werden die in der Gülle enthaltenen Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor und Kalium) mit einer CO<sub>2</sub>eq-Gutschrift äquivalent zu den Treibhausgasemissionen bei der Herstellung der entsprechenden Mineraldüngermenge versehen.

#### Notwendige Betriebsdaten

Das im Projekt verwendete Tool zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks setzt wegen der anspruchsvollen Erhebung und Plausibilisierung der Eingangsdaten den Einsatz von geschultem Personal voraus. Damit alle Betriebe die gleichen Ausgangsdaten verwenden, wurde in Zusammenarbeit mit den Klimaschutzberatungskräften im Bereich der Schweinehaltung ein standardisiertes methodisches Verfahren entwickelt. Bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bilanz werden folgende Betriebsdaten berücksichtigt.

#### Tierbestand und Leistung:

- Mastverfahren
- Anfangsbestand Tiere
- Gewicht der Tiere
- Gewicht der eingestellten Tiere
- Anzahl verkaufter Tiere
- Lebendgewicht verkaufter Tiere
- Ausschachtungsgrad
- Endbestand der Tiere
- Endgewicht Tiere
- Gewicht der Verlusttiere

#### Haltung und Wirtschaftsdüngerlagerung:

- Art der Stallhaltung
- Einstreuverbrauch
- Weidehaltungsdauer
- Art des Wirtschaftsdüngerlagers
- Vergärung in Biogasanlage

**Fütterung:**

- Futtermittelart
- Futtermittelmenge

**Energie:**

- Stromverbrauch
- Anteil erneuerbarer Energien
- Brennstoffverbrauch für Wärme
- Anteil erneuerbarer Wärme
- Dieserverbrauch für Futtervorlage
- Anteil Biodiesel

**Emissionsquellen**

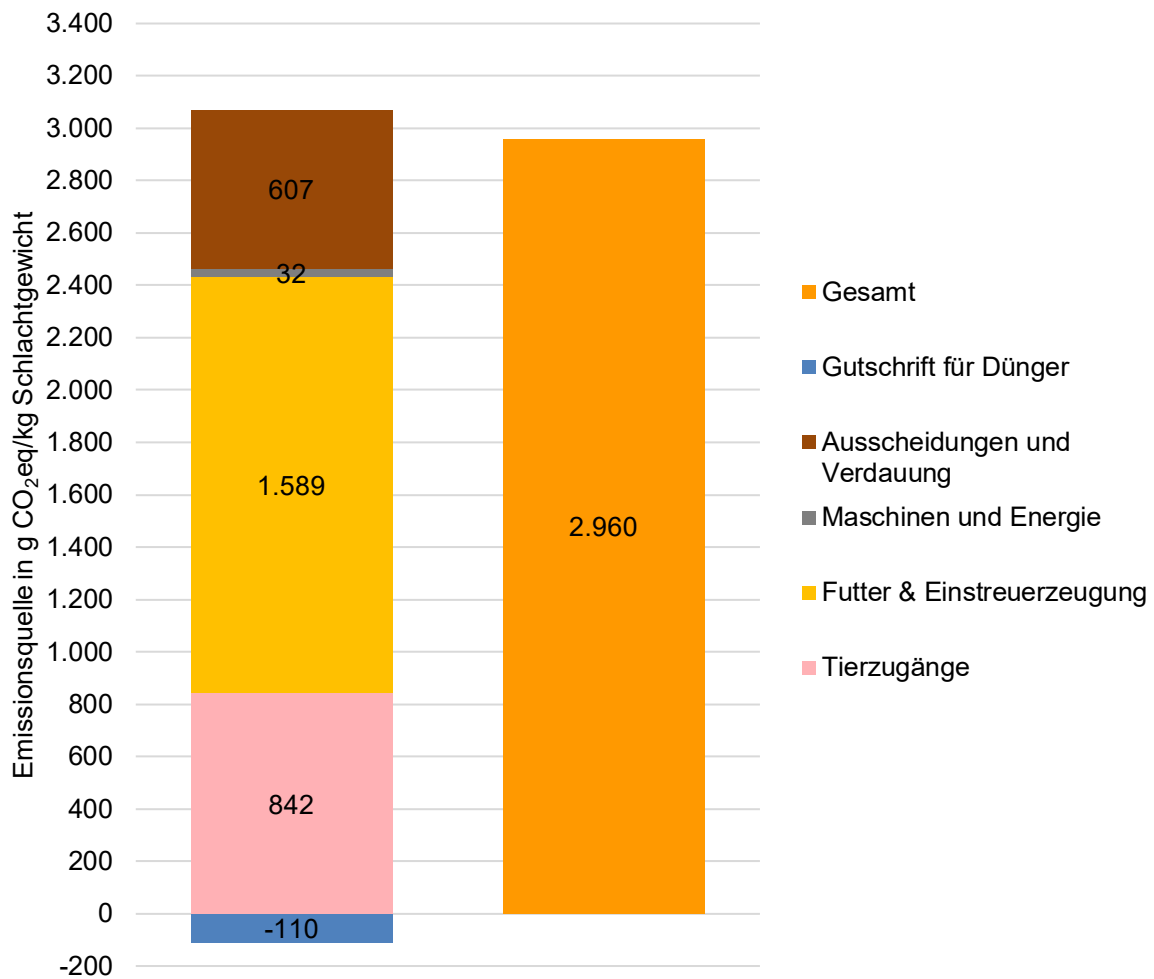
Alle zuvor genannten Eingabedaten beeinflussen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Mastschweinehaltung, jedoch in unterschiedlicher Gewichtung. Das übergeordnete Ziel besteht darin, die Hauptquellen der Emissionen in den Betrieben zu identifizieren, um darauf aufbauend gezielte Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen festlegen zu können. Im Folgenden werden die wesentlichen Emissionsquellen der Schweinemast anhand eines ausgewählten Beispielbetriebs, der den Durchschnitt der Stichprobe repräsentiert, aus dem Projekt untersucht.

|                                                           | Beispielbetrieb |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|
| CO <sub>2</sub> -Fußabdruck in g CO <sub>2</sub> eq/kg SG | 2.960           |
| Stallplätze                                               | 1.060           |
| Anzahl gemästeter Schweine                                | 3.021           |
| Futterverwertung in kg Futter/kg LG                       | 2,85            |
| Tageszunahmen in g                                        | 924             |
| Anteil Wirtschaftsdünger in Biogasanlage in %             | 0               |

**Tabelle 4 Betriebsdaten Beispielbetrieb Mastschweinehaltung**

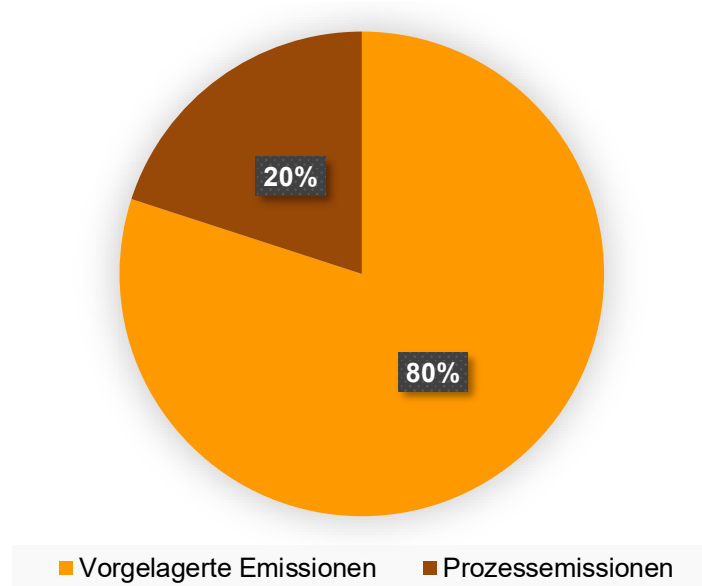
In Abbildung 34 Emissionsquellen Schweinemast Beispielbetrieb ist der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des ausgewählten Beispielbetriebs unter Berücksichtigung der verschiedenen Emissionsquellen sowie der anzurechnenden Gutschriften dargestellt. Für jedes auf dem Betrieb produzierte Kilogramm Schlachtgewicht (SG) fallen insgesamt 2.960 g CO<sub>2</sub>eq an.

Der größte Anteil der Emissionen entfällt mit 1.589 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht auf die Kategorie Futter- und Einstreuerzeugung. Tierzugänge tragen mit 842 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht ebenfalls erheblich zu den Gesamtemissionen bei. Ein weiterer relevanter Faktor sind die Ausscheidungen und Verdauung der Tiere, die Emissionen in Höhe von 607 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht verursachen.



**Abbildung 34 Emissionsquellen Schweinemast Beispielbetrieb**

Der Beitrag der Maschinen- und Energieeinsätze auf dem Betrieb ist mit 32 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht relativ gering. Die Gutschrift für Dünger von -110 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht reduziert die Gesamtemissionen. Es wird deutlich, dass die Futter- und Einstreuerzeugung die dominierende Emissionsquelle darstellt. Außerdem wichtig sind die Emissionen durch Tierzugänge und Ausscheidungen der Tiere.

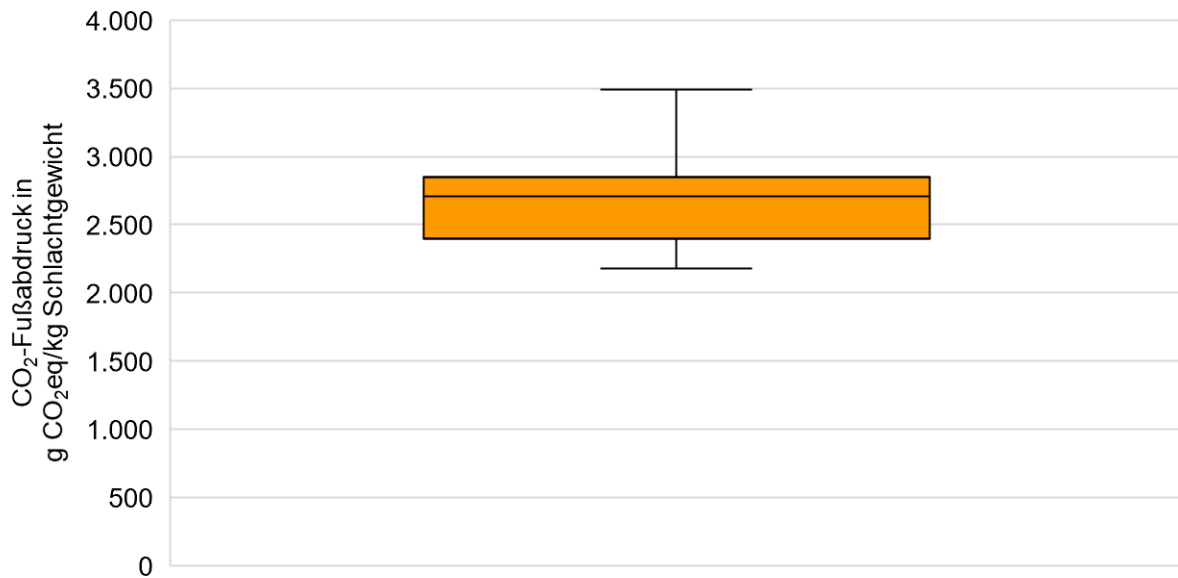


**Abbildung 35 Treibhausgas-Quellen in der Mastschweinehaltung (Beispielbetrieb)**

Der Anteil an vorgelagerten Emissionen in der Mastschweinehaltung ist im Vergleich zu anderen Produktionsrichtungen mit 80% deutlich höher. Zwar können Landwirte den Einsatz von Betriebsmitteln aus dem vorgelagerten Bereich wie Futter, Einstreu, Maschinen und Energie optimieren, jedoch haben sie keinen unmittelbaren Einfluss auf die Emissionen, die bei der Herstellung dieser Betriebsmittel entstehen. Ebenso ist der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Ferkelerzeugung – hier dargestellt durch die Tierzugänge – häufig außerhalb des direkten Einflussbereichs eines Schweinemastbetriebs. In diesem Fall sind Landwirte auf die Auswahl ihrer Lieferanten angewiesen und können diesen Faktor nicht eigenständig beeinflussen. Der wesentliche Beitrag zur Emissionsminderung der Schweinemastbetriebe liegt daher in der Verringerung der Prozessemissionen (Abbildung 35), da diese direkt durch den Landwirt und ein gezieltes Management gesteuert werden können.

#### **CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Schweinemast**

Im Rahmen des Projekts wurde bei 45 Mastbetrieben der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in der Mastschweinehaltung ermittelt. In Abbildung 36 ist die Verteilung und die Spannweite der Treibhausgasemissionen in g CO<sub>2</sub>eq pro kg Schlachtgewicht als Boxplot dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der untersuchten Betriebe zwischen 2.176 und 3.491 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht variiert. Der Median liegt bei 2.706 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht. Die untersuchten Betriebe in den mittleren Quantilen liegen in dem Bereich zwischen 2.400 g und 2.850 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht.



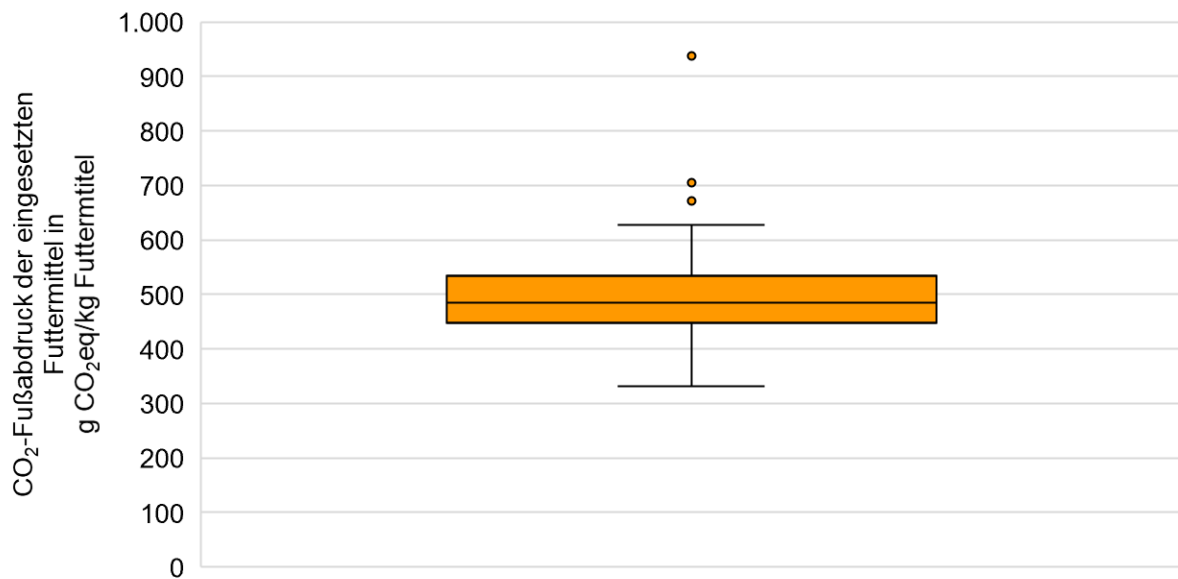
**Abbildung 36 CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro kg Schlachtgewicht Schweinemast**

Angeichts der deutlichen Schwankungsbreite des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks über die untersuchten Betriebe lohnt es sich, die Ursachen und mögliche Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen zu untersuchen. Dazu ist es erforderlich, zunächst die wesentlichen Einflussfaktoren zu identifizieren. Dabei spielen insbesondere die Aspekte Herkunft und Herstellung von Futtermitteln, Futterverwertung, die Tiergesundheit sowie die Lagerung und Vergärung der Wirtschaftsdüngers eine zentrale Rolle.

### 4.3.3 Einflussfaktoren auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

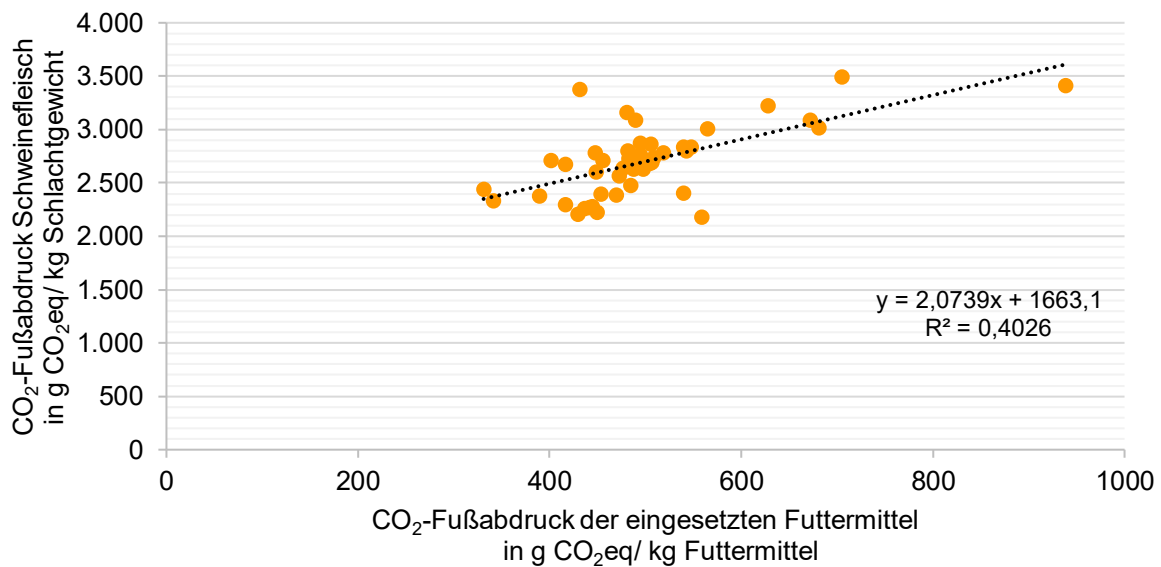
#### 4.3.3.1 Herkunft und Herstellung von Futtermitteln

Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Schweinefleisch ist eng mit der Herkunft und Herstellung der verwendeten Futtermittel verbunden. Die nachfolgende Abbildung 37 zeigt die Spannbreite der CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke der eingesetzten Futtermittel in g CO<sub>2</sub>eq. Insgesamt schwanken die Werte zwischen 331 g und 938 g CO<sub>2</sub>eq pro kg Futtermittel. Die Hälfte der Betriebe setzt Futtermittel mit einem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zwischen 448 und 534 g CO<sub>2</sub>eq pro kg Futtermittel ein.



**Abbildung 37 CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der eingesetzten Futtermittel in der Schweinemast**

Der Zusammenhang zwischen dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Futtermittel und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Schweinefleisch ist in Abbildung 38 dargestellt. Das R<sup>2</sup> von 0,40 zeigt, dass ungefähr 40 % der Variabilität des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks Schweinefleisch durch den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der eingesetzten Futtermittel erklärt werden kann. Die Korrelationsanalyse verdeutlicht, dass bei steigendem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der eingesetzten Futtermittel auch der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck für das Produkt Schweinefleisch steigt.



**Abbildung 38 Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Futtermittel und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Schweinefleisch**

Wichtige Aspekte des Zusammenhangs sind unter anderem:

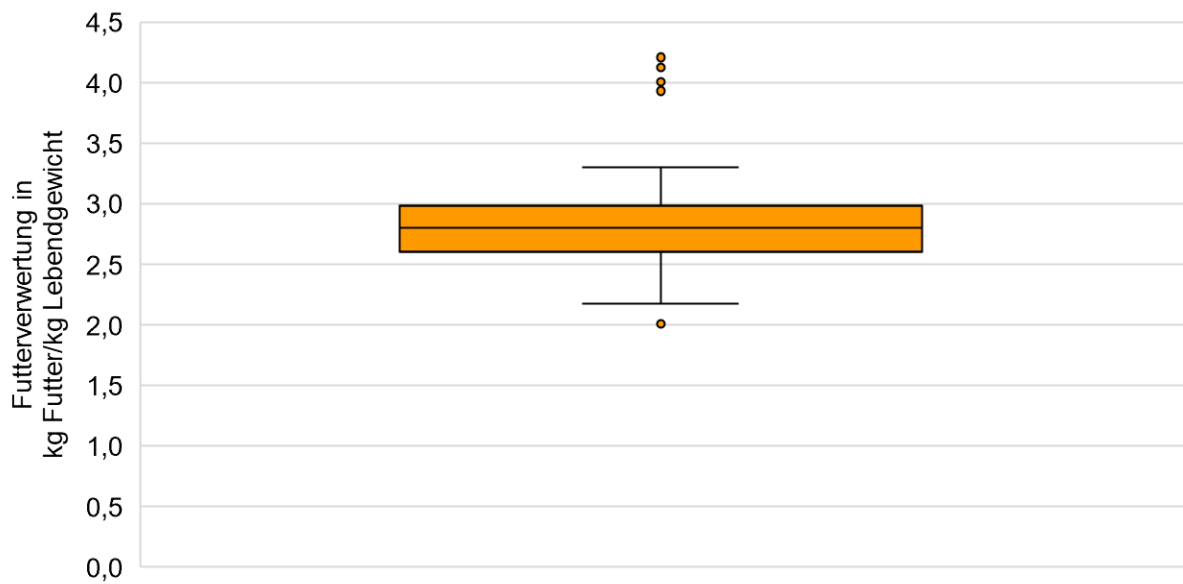
- **Futtermittel als Hauptfaktor im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck:** Insgesamt ist der Futtermiteinsatz der größte Emissionsfaktor in der Schweinefleischerzeugung, oft verantwortlich für etwa 50–75 % der gesamten Emissionen. Der Anbau und Transport der Futtermittel verursachen dabei große Mengen an CO<sub>2</sub>eq-Emissionen.
- **Herstellung der Futtermittel:** Der Anbau der verschiedenen Futtermittel verursacht unterschiedlich hohe CO<sub>2</sub>eq-Emissionen. Die zur Mastschweinefütterung eingesetzten Futtermitteln benötigen Dünger und Pflanzenschutzmittel, die bei ihrer Produktion im vorgelagerten Bereich CO<sub>2</sub>eq freisetzen.
- **Herkunft der Futtermittel:** Je weiter das Futtermittel transportiert werden muss, desto größer ist der CO<sub>2</sub>eq-Ausstoß und somit der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Futtermittels. Der Import von Soja aus Übersee, der üblicherweise mit Schiffen oder LKWs transportiert wird, erhöht die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen. Lokal produzierte Futtermittel können hier eine nachhaltigere Option sein.

Trotz des großen Anteils der Futtermittel am gesamten CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in der Mastschweineproduktion ist noch mal zu betonen, dass hier der Einfluss des Betriebsleiters nur eingeschränkt vorhanden ist.

#### 4.3.3.2 Futterverwertung

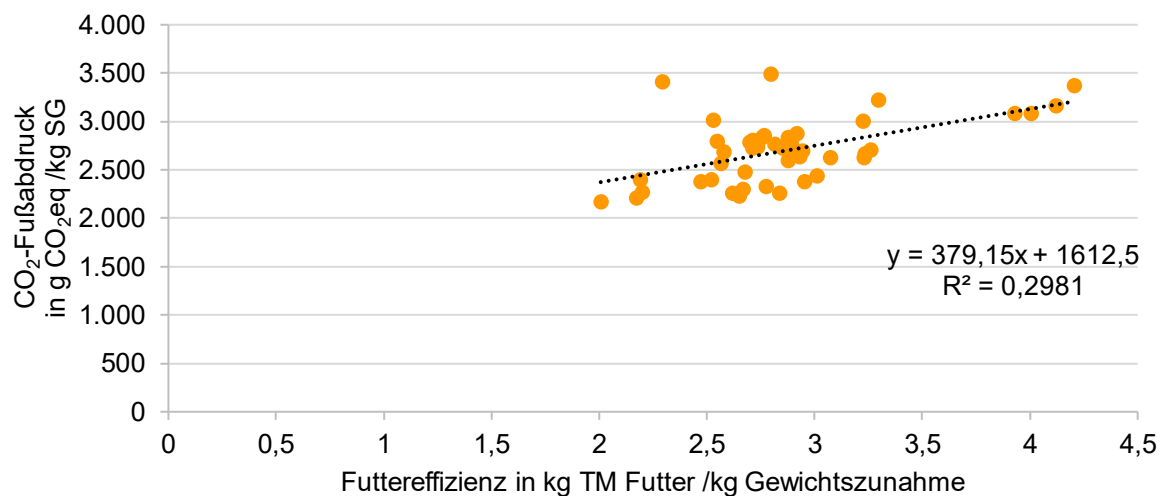
Der nachfolgende Boxplot in Abbildung 39 veranschaulicht die Futterverwertung der Projektbetriebe in der Schweinemast, ausgedrückt in kg eingesetztem Futter pro kg Schlachtgewicht. Die Futterverwertung ist ein wesentlicher Indikator in der Schweinemast, da sie beschreibt, wie viel Futter erforderlich ist, um eine bestimmte Menge Schlachtgewicht zu erzeugen. Eine bessere Futterverwertung bedeutet, dass weniger Futter pro Kilogramm Gewichtszunahme benötigt wird, was nicht nur ökonomische Vorteile für den Betrieb hat, sondern auch einen geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zur Folge haben kann.

Die Betriebe mit der effizientesten Futterverwertung setzen 2,2 kg Futter pro kg Schlachtgewicht ein, während bei den Betrieben mit der geringsten Effizienz bis zu 3,3 kg Futter pro kg Schlachtgewicht erforderlich sind. Die Grafik weist zudem einen Ausreißer nach unten mit 2 und mehrere nach oben mit 3,9 bis 4,2 kg Futter pro kg Schlachtgewicht auf. Der Median der Futterverwertung in den untersuchten Betrieben liegt bei 2,8 kg Futter pro kg Schlachtgewicht.



**Abbildung 39 Futterverwertung Projektbetriebe Schweinemast**

Die Unterschiede in der Futterverwertung wirken sich auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Schweinemast aus. Dieser Zusammenhang wird durch Abbildung 40 verdeutlicht.



**Abbildung 40 Zusammenhang zwischen Futterverwertung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Schweinemast**

Der R<sup>2</sup>-Wert von 0,30 beschreibt, dass 30 % der Variation im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck durch die Futterverwertung beschrieben werden kann. Je effizienter die Futterverwertung, desto weniger Futter wird für die gleiche Gewichtszunahme der Tiere benötigt und dementsprechend geringer ist der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro produziertem Kilogramm Schlachtgewicht.

Folgende Aspekte verdeutlichen diesen Zusammenhang:

- **Reduzierter Ressourcenverbrauch:** Eine bessere Futterverwertung führt dazu, dass weniger Futtermittel produziert, transportiert und verarbeitet werden müssen. Da die Futtermittelproduktion (insbesondere die Anbau- und Transportprozesse von Getreide und Soja) mit erheblichen CO<sub>2</sub>eq-Emissionen verbunden ist, werden durch einen geringeren Futterverbrauch auch die damit verbundenen Emissionen reduziert.
- **Effiziente Nährstoffnutzung:** Bei einer höheren Futtereffizienz wird das verfügbare Futter besser in Körpermasse umgewandelt. Dies führt zu geringen Ausscheidungen und damit einhergehend auch zu einer geringeren Freisetzung von klimaschädlichen Gasen.

Eine verbesserte Futterverwertung reduziert nicht nur den Ressourcenverbrauch und die Emissionen, die bei der Futtermittelproduktion entstehen, sondern führt auch zu einer effizienteren Nährstoffnutzung im Tier. Damit stellt sie einen zentralen Hebel zur Reduzierung der Emissionen in der Schweinemast dar.

Um die Futterverwertung zu verbessern, können auf den Betrieben folgende Maßnahmen ergriffen werden:

#### **Optimierung der Fütterung**

- **Bedarfsgerechte Fütterung:** Die Futterzusammensetzung sollte an die verschiedenen Entwicklungsstadien angepasst werden, um eine Über- oder Unterversorgung zu vermeiden.
- **Futterqualität:** Hochwertige Futtermittel und optimierte Mischungen (z. B. gut verdauliche Rohfasern, essentielle Aminosäuren wie Lysin) verbessern die Verdaulichkeit.
- **Enzymzusätze:** Enzyme wie Phytase können die Verwertung von Nährstoffen, insbesondere von Phosphor, verbessern.

#### **Verbesserung der Tiergesundheit**

- **Vermeidung von Krankheiten:** Gesunde Tiere setzen Futter effizienter um. Regelmäßige Gesundheitskontrollen sind wichtig.
- **Darmgesundheit fördern:** Probiotika, Präbiotika oder organische Säuren können die Darmflora stabilisieren und die Futterverwertung unterstützen.
- **Stress reduzieren:** Stress (z. B. durch Überbelegung, Transport oder Umstallung) beeinträchtigt die Futteraufnahme und -verwertung.

## **Stallmanagement**

- Optimale Haltungsbedingungen:

Temperatur und Lüftung: Schweine benötigen eine angenehme Umgebungstemperatur, um Energieverluste zu vermeiden.

Platzangebot: Ausreichender Platz fördert Wohlbefinden und Wachstum.

Sauberkeit: Hygiene verhindert Krankheiten und Parasitenbefall.

- Futter- und Wasserzugang: Ständiger Zugang zu sauberem Wasser ist entscheidend. Futterautomaten und Tröge sollten so gestaltet sein, dass Futterverluste minimiert werden.

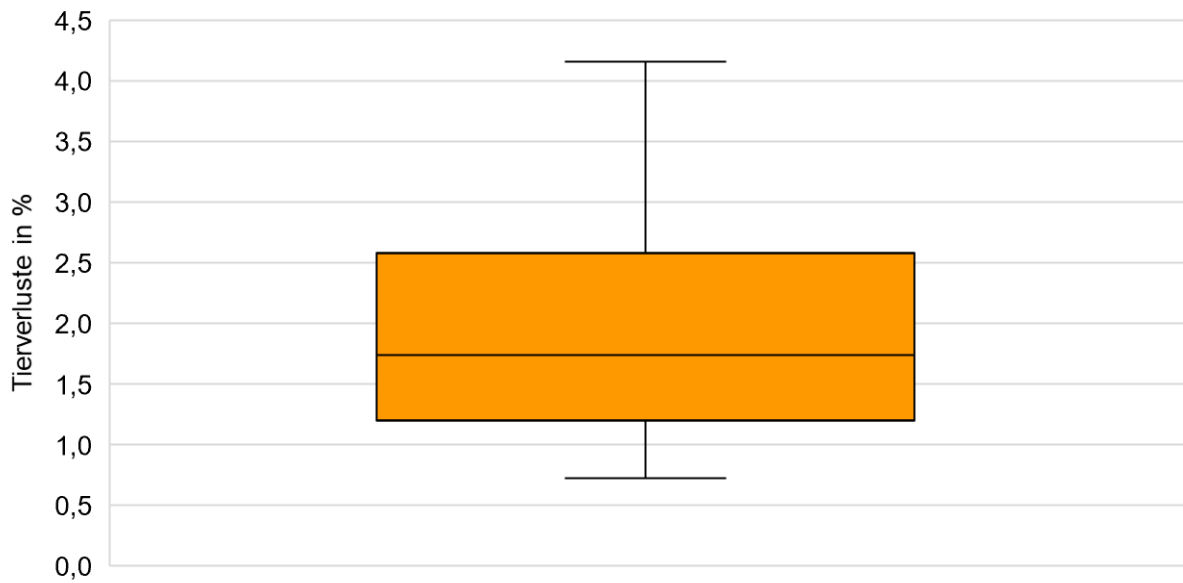
## **Genetische Selektion**

- Zucht auf Effizienz: Zucht von Mastschweinen mit genetischer Veranlagung für gute Futterverwertung und schnelles Wachstum.
- Kreuzungszucht: Hybridzucht kann die Leistung steigern und die Effizienz verbessern.

Durch eine Kombination dieser Maßnahmen kann die Futterverwertung nachhaltig verbessert werden, die sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile mit sich bringt.

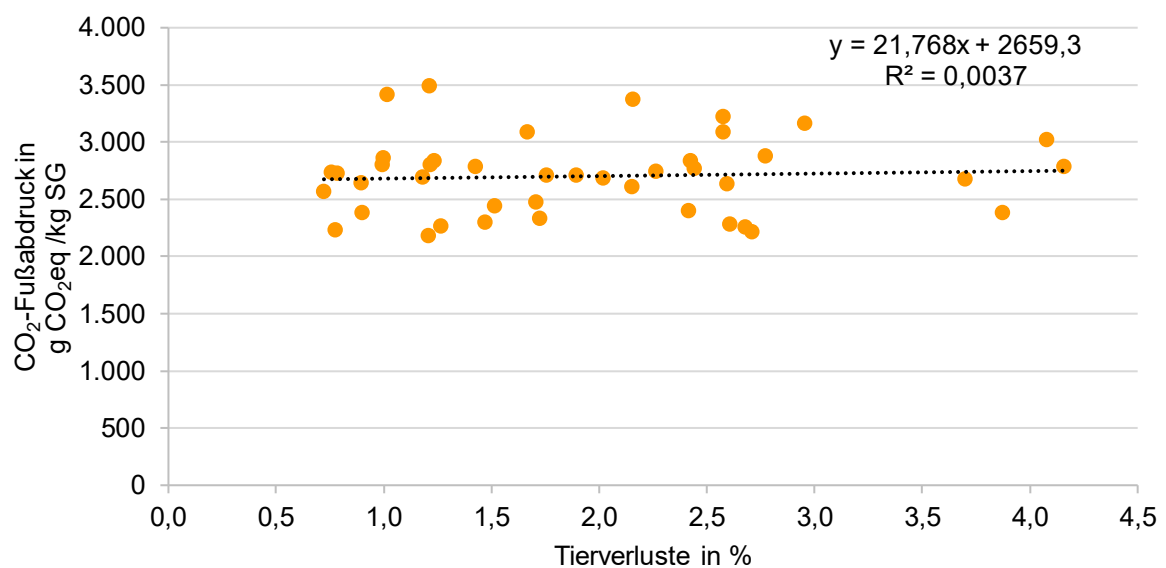
### **4.3.3.3 Tiergesundheit**

Die Tiergesundheit hat maßgeblichen Einfluss auf die Mastleistungen. Der Indikator „Tierverluste“ ermöglicht Rückschlüsse auf die Tiergesundheit in der Mastschweinehaltung. Ein hoher Verlust an Tieren kann ein Anzeichen für Managementdefizite oder Krankheiten auf einem Betrieb sein. Zudem kann der Verlust von Tieren auf unzureichende Haltungsbedingungen oder mangelnde Hygiene hinweisen. Die nachfolgende Grafik zeigt die Verteilung der Tierverluste auf den untersuchten Schweinemastbetrieben. Die Werte für die Tierverluste reichen von 0,7 bis 4,2 %. Die Betriebe in den mittleren Quantilen liegen zwischen 1,2 und 2,6 %. Der Median liegt bei 1,8 %.



**Abbildung 41 Verlustanteil Projektbetriebe Schweinemast**

In der nachfolgenden Regressionsanalyse wurde der Zusammenhang zwischen Tierverlusten und dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in der Schweinemast untersucht.



**Abbildung 42 Zusammenhang zwischen Tierverlusten und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Schweinemast**

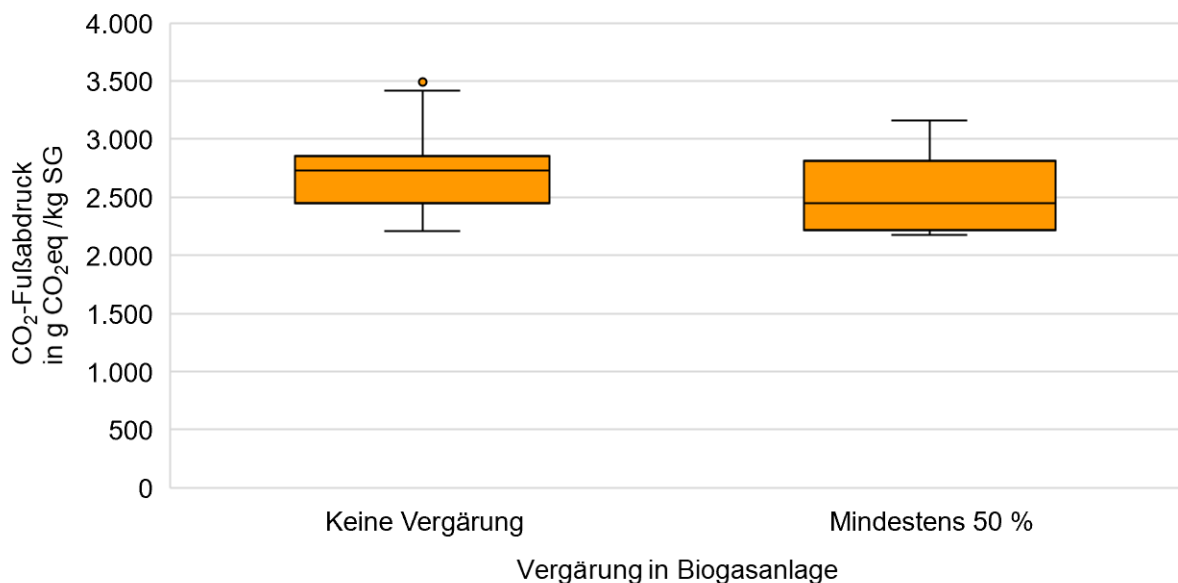
Die durchgeführte Analyse zeigt, dass sich die Variation im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck nicht von den individuellen Tierverlusten auf einem Betrieb beeinflusst wird. Ein R<sup>2</sup>-Wert von 0,01 lässt keinen Zusammenhang zwischen der Variation im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und den Verlusten vermuten. Nur in absoluten Ausnahmesituationen müssen hohe Verlusten genauer betrachtet werden.

#### 4.3.3.4 Lagerung und Vergärung von Wirtschaftsdünger

In der Schweinehaltung entstehen – wie bei der Milchviehhaltung – während der Lagerung von Wirtschaftsdüngern erhebliche Treibhausgasemissionen. Durch die Vergärung der Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen können die Treibhausgasemissionen reduziert werden.

Der Einfluss der Vergärung auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Mastschweinehaltung, gemessen in g CO<sub>2</sub>eq pro kg Schlachtgewicht, ist in Abbildung 43 dargestellt. Die Abbildung zeigt zwei Szenarien, die sich durch den Anteil des Wirtschaftsdüngers unterscheiden, der in einer Biogasanlage vergoren wird: keine oder mind. 50 % Vergärung. Diese Aufteilung wurde ausgewählt, da es in der Schweinemast im Gegensatz zur Milchviehhaltung nicht genug Betriebe gab, die ihre Gülle oder ihren Mist zu 100% in einer Biogasanlage vergären.

Im Szenario ohne Vergärung (0 %) liegt der Median des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks bei 2731 g CO<sub>2</sub>eq pro kg Schlachtgewicht, wobei die Wertespanne insgesamt vergleichsweise groß ist. Bei mindestens 50 % Vergärung des Wirtschaftsdüngers in einer Biogasanlage, sinkt der Median auf 2448 g CO<sub>2</sub>eq/ kg Schlachtgewicht.



**Abbildung 43 Wirtschaftsdüngerlagerung Mastschweinehaltung: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in Abhängigkeit vom Anteil der Vergärung der Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage**

Die Ergebnisse (Abbildung 43) machen deutlich, dass die Vergärung des Wirtschaftsdüngers aus der Schweinemast in einer Biogasanlage einen positiven Effekt auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck haben kann. Zugleich ist der Effekt in Summe geringer als bei der Vergärung von Wirtschaftsdüngung aus der Milchviehhaltung. Nichtsdestotrotz ist festzustellen, dass die Nutzung von Biogasanlagen zur Verarbeitung von Wirtschaftsdünger eine wirksame Maßnahme zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung sein kann.

#### 4.3.4 Schlussbetrachtung Schweinehaltung

Während der Projektlaufzeit wurden 45 Beratungen im Bereich der Mastschweinehaltung durchgeführt. Dieser Produktionszweig beginnt mit der Einstellung der Ferkel mit einem Gewicht von 25 kg und endet mit dem Ausstallen der schlachtreifen Mastschweine.

Die Auswertungen zeigen, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der untersuchten Betriebe in der Mastschweinehaltung zwischen 2.176 und 3.491 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht variiert. Die Hälfte der Betriebe liegt in dem Bereich zwischen 2.400 und 2.850 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht, der Median bei 2.706 g CO<sub>2</sub>eq/kg Schlachtgewicht

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz eines exemplarisch ausgewählten Betriebs zeigt, dass der größte Anteil der Emissionen mit 1.589 g CO<sub>2</sub>eq/kg SG aus der Futter- und Einstreuerzeugung stammt. Auch Tierzugänge tragen mit 842 g CO<sub>2</sub>eq/kg SG erheblich zu den Emissionen bei, während Ausscheidungen und Verdauung der Tiere Emissionen von 607 g CO<sub>2</sub>eq/kg SG verursachen. Die Emissionen aus Maschinen- und Energieeinsätzen sind mit 32 g CO<sub>2</sub>eq/kg SG relativ gering. Im Gegensatz dazu führt die Gutschrift für Dünger zu einer Verringerung der Emissionen um -110 g CO<sub>2</sub>eq/kg SG.

Die Reduktion der Emissionen erweist sich in der Mastschweinehaltung als herausfordernd, da die landwirtschaftlichen Betriebe hauptsächlich Einfluss auf die anfallenden Prozessemissionen haben, die in der Mastschweinehaltung jedoch nur bei einem Anteil von 20 % der Gesamtemissionen liegen. Zwar können Landwirte den Einsatz von Betriebsmitteln aus dem vorgelagerten Bereich wie Futter, Einstreu, Maschinen und Energie optimieren, jedoch haben sie keinen unmittelbaren Einfluss auf die Emissionen, die bei der Herstellung dieser Betriebsmittel entstehen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in der Mastschweinehaltung maßgeblich (ca. 40 %) vom CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der eingesetzten Futtermittel aus dem vorgelagerten Bereich abhängt. Einhergehend zeigt die Auswertung zur Futterverwertung, dass die Effizienz der Futterverwertung durch weniger benötigte Futtermittel pro Kilogramm Schlachtgewicht ebenso einen Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausübt. Die Variation im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der untersuchten Betriebe kann zu etwa 29 % durch die Unterschiede in der Futterverwertung erklärt werden. Ansatzpunkte zur Verbesserung der Futterverwertung sind die Optimierung der Fütterung, Verbesserung der Tiergesundheit, des Stallmanagements sowie die genetische Selektion auf effizientere Futterverwertung. Der Parameter der Tierverluste hat hingegen keinen nachweisbaren Einfluss auf die Variation des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks und kann insofern keinen Ansatzpunkt für Reduktionsmaßnahmen sein.

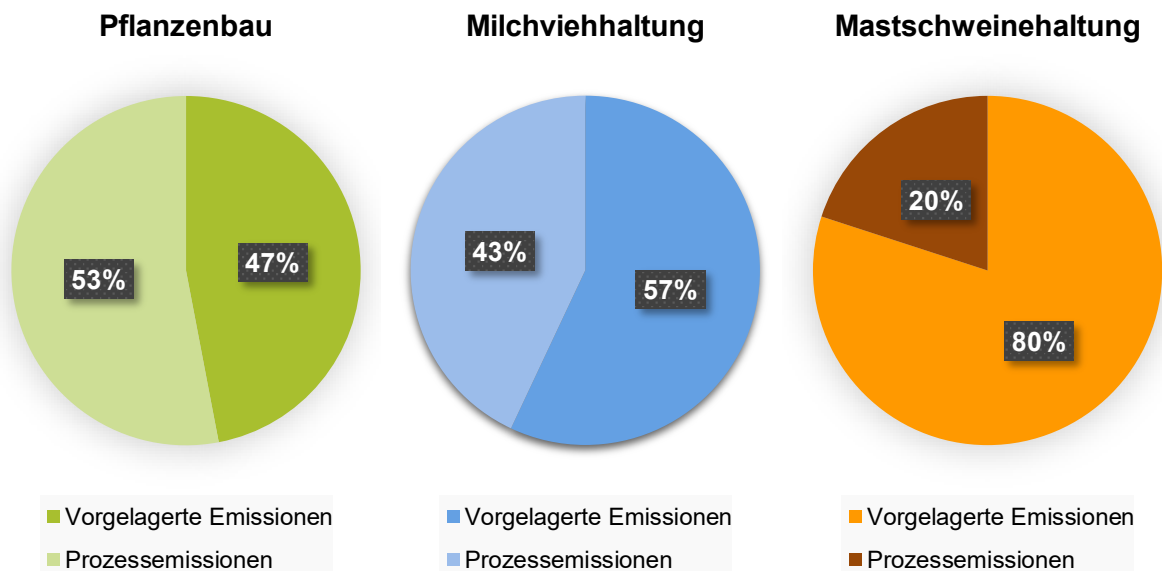
Die Vergärung von Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage kann zu einer Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks beitragen. Durch die Vergärung des anfallenden Wirtschaftsdüngers können die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen gesenkt werden. Darüber hinaus können Biogasanlagen zur Wärme- und Stromversorgung beitragen.

Die Ergebnisse der untersuchten Stichprobe lassen erste Rückschlüsse auf Zusammenhänge und Stellschrauben des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks in der Schweinemast zu. Bei zukünftigen Analysen sollte der Aspekt der Genetik der Schweine stärker Berücksichtigung finden, da diese einen erheblichen Einfluss auf die Futterverwertung und damit auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ausübt. Die genetisch bedingten Merkmale wirken

sich somit direkt auf den Ressourcenverbrauch und die entstehenden Emissionen aus. Außerdem sollten managementabhängige Faktoren, wie Stallklima und Fütterungstechnik, detaillierter untersucht werden. Solche weiterführenden Untersuchungen sind wichtig, um zusätzliche Hebel zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Schweinehaltung zu identifizieren und langfristig klimafreundlichere Produktionssysteme zu entwickeln.

## 5 Diskussion

Die CO<sub>2</sub>-Bilanzen der drei untersuchten landwirtschaftlichen Bereiche – Pflanzenbau, Milchproduktion und Schweinemast – zeigen klare Unterschiede im Verhältnis von Prozessemissionen zu Emissionen aus dem vorgelagerten Bereich.



**Abbildung 44 Aufteilung der Treibhausgas-Quellen der untersuchten Produktionsverfahren**

Im Pflanzenbau entfallen 53 % der Emissionen auf Prozesse wie den Düngermiteinsatz oder der Bodenbearbeitung, während 47 % durch den vorgelagerten Bereich, wie die Produktion von Betriebsmitteln, verursacht werden. Bei der Milchproduktion liegt der Anteil der Prozessemissionen bei 43 %, während 57 % der Emissionen aus vorgelagerten Bereichen stammen. In der Schweinemast hingegen zeigt sich ein noch stärkeres Ungleichgewicht. Nur 20 % der Emissionen sind Prozessemissionen, während 80 % aus der vorgelagerten Lieferkette resultieren. Diese unterschiedlichen Verteilungen zeigen, dass die Möglichkeiten eines Schweinemästers, die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen auf seinem Betrieb zu senken, in einem deutlich kleineren direkten Einflussbereich liegen, als die eines Milchviehhalters.

Da die Landwirte primär Einfluss auf die Prozessemissionen haben, kann die Beratung bei der Optimierung der landwirtschaftlichen Praxis entscheidende Unterstützung leisten. Dies umfasst alle in den vorherigen Kapiteln dargestellten Minderungsmaßnahmen. Insbesondere sind in diesem Zusammenhang die Implementierung effizienterer Fütterungsstrategien, die Verbesserung des Düngemanagements und die Integration technologischer Innovationen zu nennen. Darüber hinaus kann die Beratung in einem weiteren Ansatz die Landwirte darin unterstützen, die Einsatzmengen von Betriebsmitteln zu optimieren. Durch diese Maßnahmen wird ein indirekter Einfluss auf die vorgelagerten Emissionen ausgeübt.

Die durchgeführten Korrelationsanalysen haben bereits wichtige Einflussfaktoren auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck identifiziert. Im Pflanzenbau zeigt sich, dass der TM-Ertrag zwar einen gewissen Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hat ( $R^2=0,17$ ), der Zusammenhang mit der N-Bilanz jedoch deutlich ausgeprägter ist ( $R^2=0,53$ ). In der Milchviehhaltung ergibt sich ebenfalls ein gemischtes Bild: Die Grundfutterleistung weist mit einem Korrelationskoeffizienten von  $R^2=0,36$  einen Zusammenhang mit dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

auf. Die Milchleistung mit  $R^2=0,52$  zeigt sogar eine stärkere Korrelation. Im Bereich der Mastschweinehaltung ist der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der eingesetzten Futtermittel von höchster Bedeutung, da dieser mit einem Korrelationskoeffizienten von  $R^2=0,40$  einen Zusammenhang mit dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aufweist. Des Weiteren liegt in der Optimierung der Futterverwertung ein weiterer Ansatzpunkt ( $R^2=0,3$ ).

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass bereits einige relevante Zusammenhänge erkannt wurden. Dennoch bedarf es weiterer Forschung, um zusätzliche Einflussfaktoren zu identifizieren und bestehende Erkenntnisse zu vertiefen und statistisch abzusichern.

## 5.1 Forschung

Für die zukünftige Verbesserung der Treibhausgas-effizienz in der Landwirtschaft gibt es zahlreiche Ansatzpunkte, die auf bereits etablierten Maßnahmen aufbauen und neue Potenziale erschließen können. Während vielversprechende Maßnahmen zur Emissionsreduktion etabliert sind, bleibt der Forschungsbedarf in Bereichen wie Pflanzenbau, Milchviehhaltung und Schweinemast groß. Es gibt noch viele unerschlossene Potenziale, die verstärkte Forschung und Entwicklung erfordern, um praktikable und klimafreundlichere Lösungen für die Landwirtschaft zu finden.

Im Pflanzenbau liegt der Fokus weiterhin auf der Optimierung der Düngerausbringung und der ressourcenschonenden Bewirtschaftung. Zukünftige Forschungsansätze sollten sich auf präzisere, teilflächenspezifische Düngungssysteme sowie auf alternative Düngemittel konzentrieren, die eine geringere Umweltbelastung verursachen. Darüber hinaus könnten innovative Verfahren zur Bodenbearbeitung und alternative Anbaumethoden, wie der Einsatz von Leguminosen zur natürlichen Stickstofffixierung, untersucht werden.

Im Milchsektor sind Futtereffizienz und Tiergesundheit zentrale Hebel. Hier besteht Forschungsbedarf zur Wirkung neuer Futtermittelzusatzstoffe, insbesondere zur Reduktion von Methanemissionen. Ebenso sollte untersucht werden, wie Haltungsbedingungen und Managementpraktiken die Emissionen beeinflussen. Der Einsatz digitaler Tools zur Überwachung und Steuerung von Fütterung und Tiergesundheit könnte das Emissionsminderungspotenzial zusätzlich steigern.

Für die Schweinemast liegt der Schwerpunkt auf der Verbesserung der Futterverwertung und der Entwicklung CO<sub>2</sub>-reduzierter Futtermittel. Zusätzlich sollten Nebenprodukte aus der Lebensmittelindustrie verstärkt genutzt werden, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen. Auch digitale Lösungen zur Überwachung des Futtereinsatzes und zur Verbesserung des Tiermanagements können erhebliche Fortschritte ermöglichen.

Die abgeschlossenen, bestehenden und zukünftigen Forschungsvorhaben sollten systematisch auf ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz hin ausgewertet werden, um weiterführende Ergebnisse zu erzielen. Dazu ist es notwendig, produktionstechnische Kenntnisse gezielt um Aspekte der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung zu erweitern. Die gezielte Analyse bereits bestehender Daten könnte wertvolle Hinweise auf effiziente Stellschrauben zur Emissionsreduktion liefern.

Wegen der komplexen Verflechtungen in der landwirtschaftlichen Produktionstechnik sind multifaktorielle Szenarien notwendig. Ganzheitliche Analysen, die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Produktionsfaktoren berücksichtigen, können dabei helfen, umfassende Empfehlungen zu erarbeiten.

Diese multifaktoriellen Ansätze ermöglichen es, die vielschichtigen Herausforderungen der Klimabilanzierung gezielt anzugehen und die Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft effektiver zu gestalten.

## **5.2 Demonstrationsbetriebe**

Im Rahmen des Beratungsprojekts zum Klimaschutz in der Landwirtschaft hat sich gezeigt, dass die Veranschaulichung von Maßnahmen zur Umsetzung von Klimaschutzstrategien eine entscheidende Rolle spielt. Um Landwirte bestmöglich zu unterstützen und den Transfer von Wissen zu fördern, ist die Einführung von Demonstrationsbetrieben von großer Bedeutung.

Demonstrationsbetriebe bieten eine hervorragende Plattform, um für viele Landwirte innovative Ansätze und Techniken im Bereich der nachhaltigen Landwirtschaft direkt zu erleben. Hier können Landwirte in einer praxisnahen Umgebung sehen, wie unterschiedliche Maßnahmen zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks umgesetzt werden und welche positiven Effekte sich daraus ergeben. Der Austausch von Erfahrungen und die Möglichkeit, Fragen direkt an Praktiker zu stellen, fördern das Verständnis und die Akzeptanz neuer Strategien.

Durch die Einführung von Demonstrationsbetrieben kann eine Brücke zwischen Theorie und Praxis geschlagen werden, die Landwirten hilft, fundierte Entscheidungen zu treffen. Dies wird nicht nur den Klimaschutz auf den Betrieben vorantreiben, sondern auch das Bewusstsein für nachhaltige Praktiken in der Landwirtschaft stärken. Die Nutzung der Vorteile von Demonstrationsbetrieben ist ein wichtiger Beitrag, um eine nachhaltigere Landwirtschaft zu gestalten und die politisch geforderten Emissionsziele zu erreichen.

## **5.3 Begleitung der Betriebe durch fachkundige Beratung**

Landwirte verfügen über jahrzehntelange Erfahrung und praxisnahes Wissen in ihren spezifischen Bereichen, doch die Implementierung innovativer, emissionsmindernder Maßnahmen erfordert oft zusätzliche Kenntnisse in neuen Technologien, Praktiken und Konzepten. Diese Maßnahmen umfassen unter anderem eine optimierte Dünge- und Bodenbewirtschaftung, eine Reduktion der Emissionen aus der Tierhaltung durch Fütterungsstrategien sowie die Einführung von Biogasanlagen.

Eine spezialisierte Beratung kann den Betrieben helfen, diese Maßnahmen nicht nur zu identifizieren, sondern auch passgenau in die individuellen Betriebsstrukturen zu integrieren. Sie dient als Schnittstelle zwischen der wissenschaftlichen Forschung und der landwirtschaftlichen Praxis und trägt dazu bei, dass neue Erkenntnisse in den Betriebsalltag übertragen werden. Zudem kann eine qualifizierte Beratung langfristig zur Effizienzsteigerung in der Produktion beitragen, was sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile mit sich bringt.

Die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen ist ein kontinuierlicher Prozess, der regelmäßig überprüft und angepasst werden muss. Eine individuelle Begleitung durch Berater kann sicherstellen, dass Betriebe nicht nur initial Maßnahmen ergreifen, sondern diese auch langfristig und wirksam umsetzen. Dies kann durch regelmäßige Betriebsbesuche, Schulungen und die Bereitstellung von technischen Hilfsmitteln geschehen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Beratung liegt in der Unterstützung bei der Auswahl von Förderprogrammen und Finanzierungsmöglichkeiten. Viele emissionsmindernde Maßnahmen erfordern Investitionen, die ohne finanzielle Hilfen schwer umzusetzen sind. Hier können Berater dazu beitragen, passende Förderprogramme aufzuzeigen und Landwirte bei der Antragstellung zu unterstützen.

Die Beratung kann durch die Kombination von Einzel- und Gruppenansätzen noch effektiver gestaltet werden. Neben der individuellen Unterstützung der Betriebe bietet sich die Gruppenberatung als wertvolle Ergänzung an, um Landwirten die Möglichkeit zu geben, voneinander zu lernen und ihre Erfahrungen auszutauschen. Dabei sind sowohl vertikale Vergleiche – zwischen verschiedenen Produktionsstufen eines Betriebs – als auch horizontale Vergleiche – zwischen Betrieben gleicher Produktionsrichtung – besonders hilfreich. Diese Vergleiche ermöglichen es, Optimierungspotenziale auf verschiedenen Ebenen zu identifizieren und gemeinsame Lösungsansätze zu entwickeln. Der Austausch in der Gruppe fördert zusätzlich das Verständnis für den Klimaschutz und kann durch positive Beispiele aus der Praxis zur Umsetzung von Maßnahmen motivieren.

Die Beratung ist ein entscheidender Schlüssel, um die Herausforderungen der Treibhausgasreduktion in der Landwirtschaft aktiv anzugehen. Sie begleitet die Betriebe von der Planung bis zur erfolgreichen Umsetzung und hilft dabei, Risiken zu minimieren und nachhaltige Innovationen auf den Höfen zu etablieren. Nur durch eine qualifizierte und kontinuierliche Beratung können die vollen Potenziale wirklich ausgeschöpft werden. Doch es geht nicht nur um die theoretische Berechnung von CO<sub>2</sub>-Bilanzen – der eigentliche Klimaschutz beginnt erst mit der tatkräftigen Umsetzung von Maßnahmen. Ziel ist es, gemeinsam mit den Betrieben die erarbeiteten Lösungsansätze konsequent in die Praxis zu bringen und so echte Veränderungen zu bewirken.

## **5.4 Übergreifende Maßnahmen zur Emissionsminderung in der Tierhaltung**

Eine zentrale Rolle bei der Reduzierung von Treibhausgasemissionen spielt die Optimierung des Wirtschaftsdüngermanagements. Eine effiziente Lagerung von Wirtschaftsdüngern kann durch die Trennung von Kot und Harn sowie die Lagerung von Gülle in Behältern mit fester Abdeckung oder Folienabdeckung erreicht werden. Dadurch werden die Emissionen von Treibhausgasen wie Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>) reduziert. Allerdings führt eine bloße Veränderung der Lagerbedingungen in der Regel nur zu einer veränderten Zusammensetzung der emittierenden Gase, ohne die Gesamtemissionen spürbar zu senken.

Besonders effizient ist jedoch die Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen, da hierdurch weite Teile der Emissionen vermieden werden. Diese Maßnahme zählt zu den effektivsten Methoden zur Treibhausgasminderung auf landwirtschaftlichen Betrieben. Aus diesem Grund ist es besonders positiv, wenn zumindest Teile des Wirtschaftsdüngers der Vergärung zugeführt werden. Eine technische Separation von Gülle in feste und flüssige Bestandteile erhöht zudem die Transportwürdigkeit des Düngers zur Biogasanlage und verbessert damit die Wirtschaftlichkeit dieses Prozesses.

Damit die Umsetzung erfolgreich ist, bedarf es sowohl einer fachkundigen Begleitung als auch passender Rahmenbedingungen für landwirtschaftliche Betriebe. Eine fundierte und praxisorientierte Beratung ist unerlässlich, um die Landwirte bei Planung, Bau und Betrieb der Biogasanlagen zu unterstützen.

Diese Begleitung hilft dabei, technische, ökologische und wirtschaftliche Fragen zu klären und den maximalen Nutzen aus der Anlage zu ziehen. Die rechtlichen Rahmenbedingungen, unter anderem durch vereinfachte Genehmigungsverfahren, müssen so angepasst werden, dass der Bau und Betrieb von Biogasanlagen erleichtert wird. Um die finanzielle Hürde für den Bau von Biogasanlagen zu senken, sind Förderprogramme und Investitionsanreize nötig.

Ein weiterer wichtiger Beitrag zur Emissionsminderung besteht im Ersatz fossiler Brennstoffe durch alternative Antriebsstoffe wie Biodiesel sowie die Elektrifizierung betrieblicher Prozesse. Diese Maßnahmen tragen direkt zur Dekarbonisierung der Betriebe bei. Gleichzeitig kann die Energieeffizienz durch die Nutzung erneuerbarer Energien, beispielsweise aus Photovoltaikanlagen (PV), und die Nutzung von Abwärme aus Biogasanlagen gesteigert werden. Technische Verbesserungen wie der Einsatz von LED-Lampen, Frequenzumrichtern sowie eine regelmäßige Wartung und Modernisierung der Betriebstechnik tragen ebenfalls zu einer deutlichen Energieeinsparung bei.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch eine Kombination aus verbessertem Wirtschaftsdünge-  
management, der Nutzung von Biogasanlagen sowie einer effizienten Energienutzung erhebliche Treibhausgasemissionen auf den landwirtschaftlichen Betrieben vermieden werden können. Solche technischen und strukturellen Maßnahmen leisten somit einen wichtigen Beitrag zur Emissionsreduktion und zur nachhaltigen Betriebsführung.

## 6 Fazit

Die Ergebnisse des Projekts verdeutlichen, dass allgemeine Empfehlungen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft formuliert werden können. Die Produktionsrichtungen Pflanzenbau, Milchviehhaltung und Mastschweinehaltung verfolgen teils ähnliche Strategien zur Emissionsminderung, weisen jedoch auch spezifische, auf ihre jeweiligen Prozesse angepasste Maßnahmen auf. Während übergreifende Ansätze wie die Steigerung von Effizienzen durch ein verbessertes Management und die Nutzung von Biogasanlagen relevant sind, erfordert jede Produktionsrichtung zudem individuelle Lösungen, um ihre spezifischen Emissionsquellen effektiv zu reduzieren.

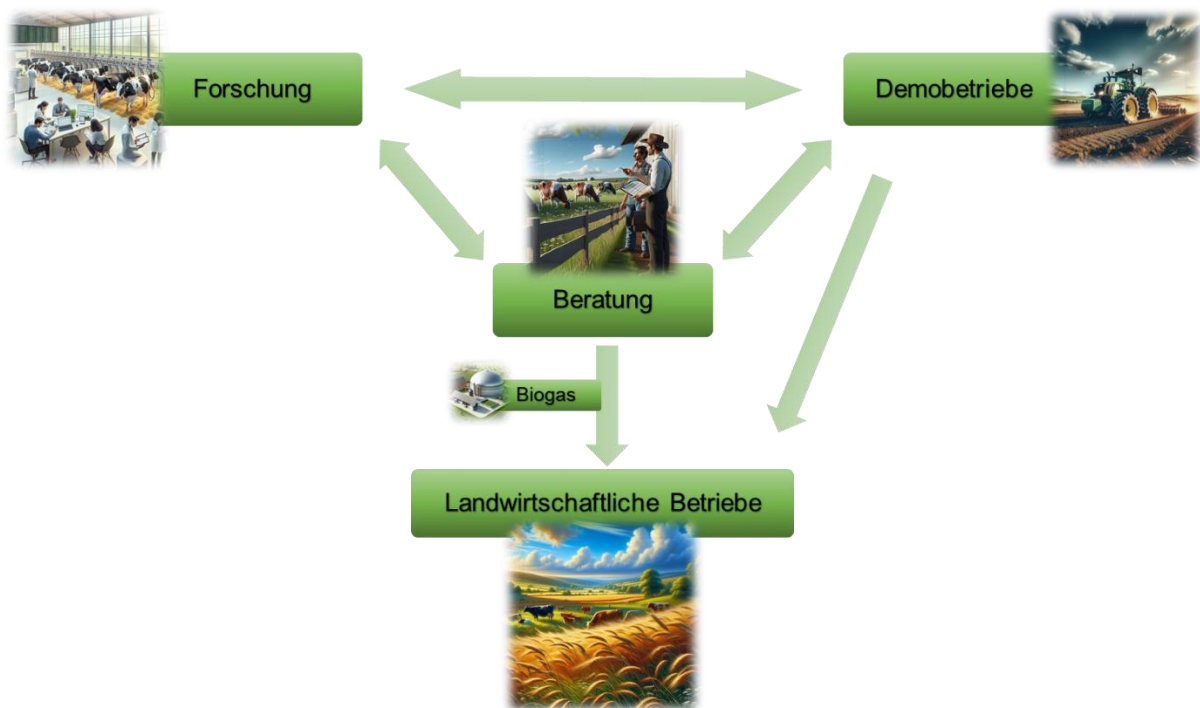
Zusammenfassend zeigt sich im Pflanzenbau, dass 53 % der Emissionen aus direkt beeinflussbaren Prozessemissionen stammen, während die übrigen 47 % auf vorgelagerte Bereiche wie der Herstellung von Betriebsmitteln entfallen. Daher konzentrieren sich die Reduktionspotenziale größtenteils auf die Prozessemissionen, die durch ein gezieltes Management direkt beeinflussbar sind. Die Analysen verdeutlichen, dass eine Ertragssteigerung allein nur begrenzt zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks beiträgt. Entscheidender ist die Effizienz der Düngung, insbesondere der Stickstoffnutzung. Die Optimierung der Nährstoffeffizienz ist daher der wirksamste Ansatz zur Emissionsminderung. Langfristig sind auch angepasste Bewirtschaftungspraktiken wichtig, um den Pflanzenbau trotz Wetterextremen klimafreundlicher und stabiler zu gestalten. Regionale Unterschiede in Klima und Bodenverhältnissen können teilweise durch eine angepasste Bewirtschaftung, wie die Sortenwahl und Bodenbearbeitung, ausgeglichen werden.

In der Milchviehhaltung kann die Reduktion von Treibhausgasemissionen sowohl bei den vorgelagerten als auch bei den Prozessemissionen ansetzen, da die Grundfutterproduktion und zum großen Anteil auch die Aufzucht des Jungviehs auf dem eigenen Betrieb stattfinden. Dennoch liegt der Fokus für eine wirksame Emissionsminderung weiterhin auf den Prozessemissionen, da hier die wesentlichen Schrauben des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks zu finden sind. Besonders wirksam erweist sich die Steigerung der Milchleistung, da höhere Milchleistungen den Erhaltungsbedarf der Kühe effizienter nutzen und damit die spezifischen CO<sub>2</sub>eq-Emissionen pro Kilogramm Milch senken. Auch die Optimierung der Fütterung, insbesondere durch eine Erhöhung der Grundfutterleistung, trägt zur Emissionsreduktion bei. Eine gesteigerte Milchproduktion aus betriebseigenen Futtermitteln – die typischerweise mit geringeren Emissionen verbunden ist – verringert den Einsatz von Kraftfutter und senkt so die Emissionen weiter. Schließlich kann auch die Optimierung der Remontierung zur Verbesserung der Klimabilanz beitragen, wenn auch in moderaterem Ausmaß. Darüber hinaus bietet die Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen ein großes Potenzial zur Emissionsminderung, indem Methanemissionen, die während der Lagerung von Gülle entstehen, reduziert werden.

In der Mastschweinehaltung stellt die Emissionsreduktion eine besondere Herausforderung dar, da die Betriebe hauptsächlich nur die Prozessemissionen beeinflussen können, die in der Mastschweinehaltung jedoch lediglich 20 % der Gesamtemissionen ausmachen. Die Analyse verdeutlicht, dass der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck in der Mastschweinehaltung maßgeblich (ca. 40 %) vom CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der eingesetzten Futtermittel aus dem vorgelagerten Bereich abhängt. Auch die Effizienz der Futterverwertung spielt eine wichtige Rolle: Je weniger Futtermittel pro Kilogramm Schlachtgewicht benötigt werden, desto geringer

fällt der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aus. Die Unterschiede in der Futterverwertung zwischen den Betrieben erklären dabei etwa 29 % der Variation im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Ebenso wie in der Milchviehhaltung kann die Vergärung der Wirtschaftsdünger in einer Biogasanlage die Emissionen von schweinehaltenden Betrieben senken. Bei zukünftigen Analysen sollte der Aspekt der Genetik der Schweine stärker Berücksichtigung finden. Die genetisch bedingten Merkmale wie eine verbesserte Futterverwertung wirken sich unter anderem direkt auf den Ressourcenverbrauch und die entstehenden Emissionen aus.

Auf Grundlage der Ergebnisse des Projekts können abschließend allgemeine Handlungsempfehlungen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>eq-Emissionen auf landwirtschaftlichen Betrieben abgeleitet werden.



**Abbildung 45 Veranschaulichung der Handlungsempfehlungen**

### **Forschung**

Das Projekt hat wichtige Hinweise auf weitere Ansatzpunkte geliefert, die im Rahmen zukünftiger Forschung vertieft untersucht werden sollten. Dabei gilt es, zusätzliche Faktoren zu identifizieren, die sich auf die Klimabilanz auswirken und weitere Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasen in der Landwirtschaft aufzeigen könnten.

### **Demonstrationsbetriebe**

Die Veranschaulichung von Klimaschutzmaßnahmen und der Erfahrungsaustausch vor Ort fördert das Verständnis und die Akzeptanz neuer Strategien. Die Einführung von Demonstrationsbetrieben spielt dabei eine zentrale Rolle, da sie Landwirten ermöglicht, innovative Ansätze und Techniken zur Emissionsminderung in der Landwirtschaft direkt zu erleben.

## **Beratung**

Die Beratung der landwirtschaftlichen Betriebe stellt ein wichtiges Instrument dar, um die Umstellung auf eine klima- und ressourcenschonendere Bewirtschaftung zu fördern. Die Beratung kann den Betrieben durch gezielte Unterstützung in Managementfragen helfen, die richtigen Maßnahmen zur Emissionsminderung zu identifizieren und erfolgreich umzusetzen. Dazu gehören sowohl die Auswahl geeigneter Technologien als auch die Unterstützung bei der Umsetzung effizienter Düngemanagement- und Fütterungsstrategien. Eine verstärkte Beratung und Schulung im Bereich nachhaltiger Landwirtschaft könnte somit einen wichtigen Beitrag zur breiten Anwendung von Klimaschutzmaßnahmen leisten.

## **Übergreifende Maßnahmen zur Emissionsminderung in der Tierhaltung**

Ein weiteres zukunftsweisendes Thema ist die Förderung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen. Durch die Umwandlung von Wirtschaftsdüngern in Biogas können nicht nur Treibhausgasemissionen reduziert, sondern auch wertvolle Energie gewonnen werden. Die Verbesserung der Infrastruktur zur Vergärung, insbesondere die Erweiterung von Biogasanlagen, sowie die Förderung von innovativen Vergärungsverfahren sind entscheidend, um die Klimabilanz der Landwirtschaft weiter zu optimieren.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Landwirtschaft einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten kann, wenn konkrete Emissionsminderungsmaßnahmen in der Praxis umgesetzt werden. Forschung, Demonstrationsbetriebe, gezielte Beratung und der Ausbau von Biogasanlagen stellen zentrale Handlungsempfehlungen dar, um die Emissionen auf landwirtschaftlichen Produkten zu senken. Eine breite Anwendung dieser Strategien ist daher unerlässlich, um die nationalen und internationalen Klimaschutzziele erfolgreich zu erreichen und als Teil einer ressourcenschonenden Landwirtschaft zu fördern.

## 7 Quellenverzeichnis

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. IEA/OECD, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit, Hayama, Kanagawa, Japan.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2021): Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft. Handbuch, Darmstadt, Arbeitsgruppe BEK, 2. Auflage.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (2023): Jahresbilanz 2023 – das wärmste und nasseste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen, Mittlere Jahrestemperatur in NRW - <https://www.klimaatlas.nrw.de/service/aktuelles/jahresbilanz-2023-das-waermste-und-nasseste-jahr-seit-beginn-der-aufzeichnungen> (Zuletzt aufgerufen am 18.11.2024)

Landesbetrieb IT.NRW (IT.NRW) (2023): Bodennutzungshaupterhebung

Landesbetrieb IT.NRW (IT.NRW) (2023): Erhebung über Rinderbestände

Landesbetrieb IT.NRW (IT.NRW) (2023): Viehbestandserhebung Schweine

Umweltbundesamt (2023): Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland im Sektor Landwirtschaft Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#treibhausgas-emissionen-nach-kategorien> (zuletzt aufgerufen am 18.11.2024)

Verein Deutscher Ingenieure (1977): VDI 2450 Messen von Emission, Transmission und Immission luftverunreinigender Stoffe, Berlin, Beuth Verl.

## 8 Anhang

### Anhang 1 Übersichtskarte Klimaschutzberatung Veredelung

#### Ihr Team der Klimaschutzberatung Veredelung

##### Ihr Kontakt in der Team-Zentrale

###### Melanie Müller

Sitz: Geschäftsbereich 2 - Standortentwicklung, Ländlicher Raum  
Gartenstraße 11, 50765 Köln-Auweiler

Telefon: 0221 5340-332

E-Mail: [melanie.mueller@lwk.nrw.de](mailto:melanie.mueller@lwk.nrw.de)

##### Klimaschutzberatung für Betriebe vor Ort – Ihre Ansprechpartner

###### Beratung West

###### Martin Tangerding

Sitz: Kreisstelle Borken  
Johann-Walling-Str. 45, 46325 Borken

Telefon: 02861 922772

E-Mail: [martin.tangerding@lwk.nrw.de](mailto:martin.tangerding@lwk.nrw.de)

###### Christian Kalthoff

Sitz: Kreisstellen Coesfeld/ Recklinghausen  
Borkener Str. 25, 48653 Coesfeld

Telefon: 02541 910243

E-Mail: [christian.kalthoff@lwk.nrw.de](mailto:christian.kalthoff@lwk.nrw.de)



###### Beratung Ost

###### Anna Hornkamp

Telefon: 02945 989356  
E-Mail: [anna.hornkamp@lwk.nrw.de](mailto:anna.hornkamp@lwk.nrw.de)

###### Jasmin Temme

Telefon: 02945 989354  
Email: [jasmin.temme@lwk.nrw.de](mailto:jasmin.temme@lwk.nrw.de)

Sitz: Kreisstellen Märkischer Kreis, Ennepe-Ruhr, Ruhr-Lippe, Soest  
Ostinghausen (Haus Düsse), 59505 Bad Sassendorf

###### Jürgen Amediek

Sitz: Kreisstellen Höxter/Lippe/Paderborn  
Bohlenweg 3, 33034 Brakel

Telefon: 05272 3701217

Email: [juergen.amediek@lwk.nrw.de](mailto:juergen.amediek@lwk.nrw.de)

## Anhang 2 Übersichtskarte Klimaschutzberatung Pflanzenbau

### Ihr Team der Klimaschutzberatung Pflanzenbau

#### Ihr Kontakt in der Team-Zentrale

##### Melanie Müller

Sitz: Geschäftsbereich 2 - Standortentwicklung, Ländlicher Raum  
Gartenstraße 11, 50765 Köln-Auweiler

Telefon: 0221 5340-332

E-Mail: [melanie.mueller@hwk.nrw.de](mailto:melanie.mueller@hwk.nrw.de)

#### Klimaschutzberatung für Betriebe vor Ort – Ihre Ansprechpartner

##### Beratung Bergisches Land, Südwestfalen

###### Sören Röttger

Sitz: Kreisstellen Märkischer Kreis, Ennepe-Ruhr, Ruhr-Lippe, Soest  
Platanenallee 56, 59425 Unna

Telefon: 02945 989557

Email: [soeren.roetger@hwk.nrw.de](mailto:soeren.roetger@hwk.nrw.de)

##### Beratung Rheinland Nord

###### Nicolai Dreißen

Sitz: Kreisstellen Heinsberg, Viersen  
Gereonstraße 80, 41747 Viersen

Telefon: 02162 370617

E-Mail: [nicolai.dreissen@hwk.nrw.de](mailto:nicolai.dreissen@hwk.nrw.de)

##### Beratung Ostwestfalen

###### Norbert Hermelingmeier

Sitz: Kreisstellen Höxter/Lippe/Paderborn  
Bohlenweg 3, 33034 Brakel

Telefon: 05272 3701230

E-Mail: [norbert.hermelingmeier@hwk.nrw.de](mailto:norbert.hermelingmeier@hwk.nrw.de)

###### Leonard Tacke

Sitz: Kreisstellen Herford-Bielefeld/Minden-Lübbecke  
Kaiserstraße 17, 32312 Lübbecke

Telefon: 05741 342541

E-Mail: [leonard.tacke@hwk.nrw.de](mailto:leonard.tacke@hwk.nrw.de)

##### Beratung Rheinland Süd

###### Marvin Serve

Sitz: Kreisstellen Aachen, Düren, Euskirchen  
Rütger-von-Scheven-Straße 44, 52349 Düren

Telefon: 02421 592318

E-Mail: [marvin.serve@hwk.nrw.de](mailto:marvin.serve@hwk.nrw.de)

##### Beratung Westliches Münsterland

###### Heribert Große-Enking

Sitz: Kreisstellen Coesfeld/Recklinghausen  
Borkener Str. 25, 48653 Coesfeld

Telefon: 02541 910254

E-Mail: [heribert.grosse-enking@hwk.nrw.de](mailto:heribert.grosse-enking@hwk.nrw.de)

##### Beratung Münsterland Nordost

###### Johannes Hold

Sitz: Kreisstelle Steinfurt  
Hembergener Straße 10, 48369 Saerbeck

Telefon: 02574 927786

E-Mail: [johannes.hold@hwk.nrw.de](mailto:johannes.hold@hwk.nrw.de)

###### Burkhard Linneweber

Sitz: Kreisstellen Gütersloh/Münster/Warendorf  
Waldenburger Straße 6, 48231 Warendorf

Telefon: 02581 637970

E-Mail: [burkhard.linneweber@hwk.nrw.de](mailto:burkhard.linneweber@hwk.nrw.de)

Landwirtschaftskammer  
Nordrhein-Westfalen



## Anhang 3 Übersichtskarte Klimaschutzberatung Rinderhaltung

### Ihr Team der Klimaschutzberatung Rinderhaltung

#### Ihr Kontakt in der Team-Zentrale

##### Melanie Müller

Sitz: Geschäftsbereich 2 - Standortentwicklung, Ländlicher Raum  
Gartenstraße 11, 50765 Köln-Auweiler

Telefon: 0221 5340-332

E-Mail: [melanie.mueller@lwk.nrw.de](mailto:melanie.mueller@lwk.nrw.de)

#### Klimaschutzberatung für Betriebe vor Ort – Ihre Ansprechpartner

##### Beratung West

###### Heinz Peters

Sitz: Kreisstellen Kleve, Wesel  
Eisenpaß 5, 47533 Kleve

Telefon: 02821 996211

E-Mail: [heinz.peters@lwk.nrw.de](mailto:heinz.peters@lwk.nrw.de)

###### Yasmin Schmitz

Sitz: Kreisstellen Aachen, Düren, Euskirchen  
Rütger-von-Scheven-Straße 44, 52349 Düren

Telefon: 02421 592374

E-Mail: [yasmin.schmitz@lwk.nrw.de](mailto:yasmin.schmitz@lwk.nrw.de)

##### Beratung Süd

###### Dominik Schelle

Sitz: Kreisstellen Märkischer Kreis, Ennepe-Ruhr, Ruhr-Lippe, Soest  
Platanenallee 56, 59425 Unna

Telefon: 02303 9616162

E-Mail: [dominik.schelle@lwk.nrw.de](mailto:dominik.schelle@lwk.nrw.de)



##### Beratung Nord

###### Simon Ickerott

Sitz: Kreisstellen Coesfeld/ Recklinghausen  
Borkener Str. 25, 48653 Coesfeld

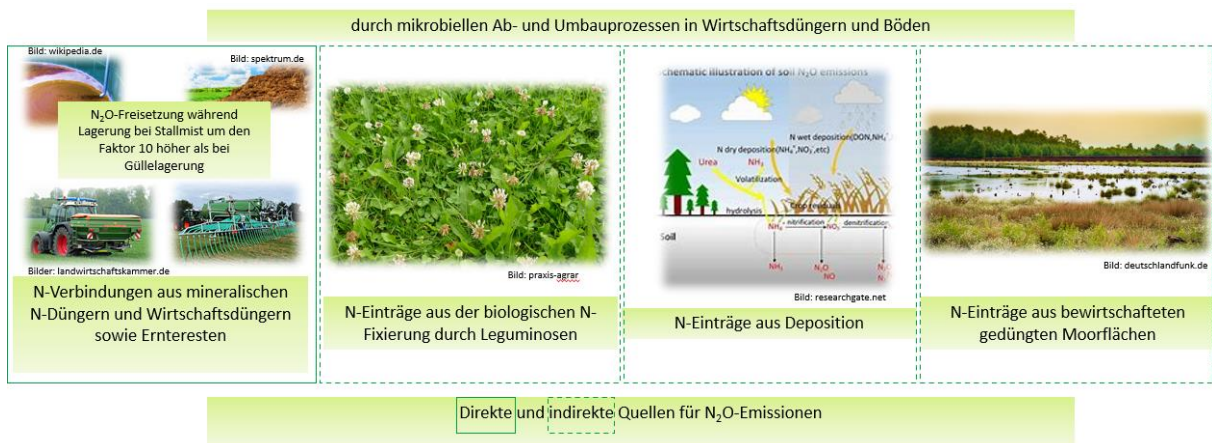
Telefon: 02541 910240

E-Mail: [simon.ickerott@lwk.nrw.de](mailto:simon.ickerott@lwk.nrw.de)

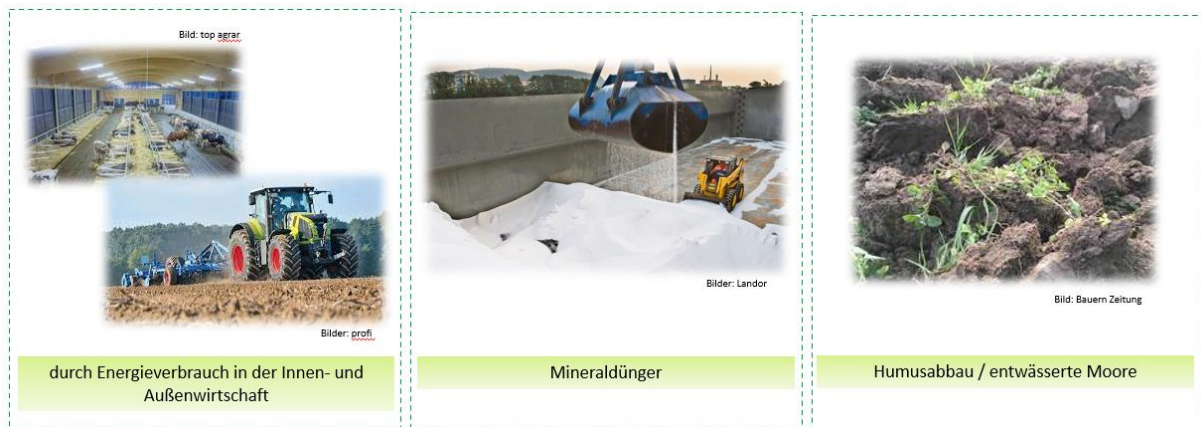
## Anhang 4 Methan-Emissionen in der Landwirtschaft



## Anhang 5 Lachgas-Emissionen in der Landwirtschaft



## Anhang 6 Kohlendioxid-Emissionen in der Landwirtschaft



## Anhang 7 Kategorisierung der Treibhausgasemissionen im Pflanzenbau (KTBL, 2021)

| <b>I.1 Pflanzenproduktion<br/>Treibhausgasemissionen aus dem Feld</b>                 |                                                                                                   | <b>Emissions-<br/>Kategorie</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| PF 1                                                                                  | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei der Düngung mit Wirtschaftsdüngern | Düngung                         |
| PF 2                                                                                  | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus NH <sub>3</sub> -Verlusten bei der mineralischen Düngung          | Düngung                         |
| PF 3                                                                                  | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Düngung mit Wirtschaftsdüngern                                | Düngung                         |
| PF 4                                                                                  | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Mineraldüngung                                                | Düngung                         |
| PF 5                                                                                  | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen, Nebenprodukten                      | Humusabbau, Rotte               |
| PF 6                                                                                  | N <sub>2</sub> O-Emissionen für Wirtschaftsdünger-N aus Vorjahren                                 | Düngung                         |
| PF 7                                                                                  | CO <sub>2</sub> -Feldemissionen aus Kalkdüngung und Harnstoffdüngung                              | Düngung                         |
| PF 8                                                                                  | CO <sub>2</sub> -Feldemissionen aus dem Humusabbau bzw. -aufbau der angebauten Fruchtart          | Humusabbau, Rotte               |
| PF 9                                                                                  | N <sub>2</sub> O-Feldemissionen aus dem Humusabbau der angebauten Fruchtart                       | Humusabbau, Rotte               |
| PF 10                                                                                 | CO <sub>2</sub> -Feldemissionen bei Grünland bzw. Ackerlandumwandlung                             | Humusabbau, Rotte               |
| PF 11                                                                                 | N <sub>2</sub> O-Feldemissionen bei Grünlandumwandlung in Ackerland                               | Humusabbau, Rotte               |
| PF 12                                                                                 | CO <sub>2</sub> aus Humusabbau bei Moornutzung                                                    | Humusabbau, Rotte               |
| <b>I.2: Pflanzenproduktion –<br/>Treibhausgasemissionen aus Betriebsmitteleinsatz</b> |                                                                                                   |                                 |
| PB 1                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq aus Mineraldüngereinsatz                                                       | Düngung                         |
| PB 2                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq aus Wirtschaftsdüngereinsatz                                                   | Düngung                         |
| PB 3                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq aus Nährstofflieferung der Vorfrucht und Beweidung                             | Düngung                         |
| PB 4                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq aus Saatguteinsatz                                                             | Saatgut, PSM                    |
| PB 5                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq aus Pflanzenschutzmitteleinsatz                                                | Saatgut, PSM                    |
| PB 6                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq aus Energieverbrauch                                                           | Energie, Maschinen              |
| PB 7                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq aus Maschinenherstellung                                                       | Energie, Maschinen              |
| <b>I.3: Treibhausgasgutschriften für Nebenernteprodukte</b>                           |                                                                                                   |                                 |
| PN 1                                                                                  | CO <sub>2</sub> -Bindung durch Humusaufbaupotential der Nebenernte-<br>produkte                   | Humusaufbau, N-<br>Gutschrift   |
| PN 2                                                                                  | CO <sub>2</sub> eq Ersatzwert der Nährstofflieferung für die Folgefrucht                          | Humusaufbau, N-<br>Gutschrift   |

## Anhang 8 Kategorisierung der Treibhausgasemissionen in der Tierhaltung (KTBL, 2021)

### Lfd. Nr. Emissionsart und -quelle

Direkte und indirekte Treibhausgasemissionen aus enterischer Fermentation und Wirtschaftsdünger inklusive treibhausgasrelevanter NH<sub>3</sub>-Emissionen

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| TV1 | CH <sub>4</sub> -Emissionen aus enterischer Fermentation                 |
| TW1 | NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Stall/befestigtem Auslauf                |
| TW2 | NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlager                   |
| TW3 | NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Weidehaltung                             |
| TW4 | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager         |
| TW5 | N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Weidehaltung                             |
| TW6 | N <sub>2</sub> O-Emissionen des nicht mineraldüngerwirksamen Stickstoffs |
| TW7 | CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Wirtschaftsdüngerlager                   |
| TW8 | CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Ausscheidungen auf der Weide             |

### Vorgelagerte Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz

|     |                                                                       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|
| TB1 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Tierzugängen                          |
| TB2 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Kraftfuttermittelbereitstellung       |
| TB3 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Grundfuttermittelbereitstellung       |
| TB4 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Mineralfuttermittelbereitstellung     |
| TB5 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Einstreubereitstellung                |
| TB6 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Wassereinsatz (Tränke, Reinigung)     |
| TB7 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Energiebereitstellung und -konversion |
| TB8 | CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Maschinenherstellung                  |





