

Klimaschutz in der Landwirtschaft

Lösungsansätze zur Reduktion von
Treibhausgas-Emissionen am Betrieb

Klimaschutz in der Landwirtschaft

Lösungsansätze zur Reduktion von
Treibhausgas-Emissionen am Betrieb

Irdning-Donnersbachtal 2023



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft
Raumberg 38, 8952 Irdning
raumberg-gumpenstein.at

Autoren und für den Inhalt verantwortlich:

Fritz, C., Finotti, E., Gaier, L., Guggenberger, T., Lehner, D., Heidinger, B., Herndl, M., Klingler, A.,
Pabst, S., Pöllinger-Zierler, A., Resch, R., Steinwider, A., Terler, G., Zentner, A.

Satz und Layout: Brettschuh S., Brandmüller J.
alle HBLFA Raumberg-Gumpenstein.

Bildquelle Titelblatt: von Liggraphly über pixabay

ISBN: 978-3-902849-99-1

Alle Rechte vorbehalten

Irdning-Donnersbachtal 2023

Vorwort

Klimaschutz ist wohl eine der größten Verantwortungen und zugleich eine der schwierigsten Herausforderungen unserer Zeit. Der Anstieg von Treibhausgas-Emissionen, insbesondere durch menschliche Aktivitäten wie der Verbrauch fossiler Brennstoffe, führt zu einer bedrohlichen Erhöhung der Durchschnittstemperaturen auf der Erde.

Die Veränderung des Weltklimas hat viele schwerwiegende Folgen, welche die Umwelt sowie die Welt-Bevölkerung im Allgemeinen und speziell auch die Landwirtschaft massiv treffen. Dazu zählen heftige und nicht steuerbare Veränderungen in den Niederschlagsmustern, Trockenperioden und Starkregenereignisse, die Schädigung der Lebensräume und das Aussterben von Tier- und Pflanzenarten wie auch direkte negative Auswirkungen auf das menschliche Leben, etwa bei Hitzewellen und Dürrekatastrophen.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, müssen wir uns bemühen, den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren und die Erderwärmung zu begrenzen. Klimaschutzmaßnahmen wie die Förderung erneuerbarer Energien, Energieeffizienz, eine nachhaltige Landnutzung und Bewirtschaftung der Wälder können helfen, die Bedrohungen zu verringern und unsere heimische Landwirtschaft zukunftsfit aufzustellen.

Landwirtinnen und Landwirte in Österreich sind einerseits vom Klimawandel direkt betroffen, andererseits aber auch ein wichtiger Teil der Lösung. Die Landwirtschaft in Österreich hat über Jahrzehnte einen ökologischen Weg beschritten und kann auch in den nächsten Jahren noch an vielen Stellen Treibhausgas-Emissionen einsparen. Die Landwirtschaft versteht sich daher als ein wichtiger Player im Klimaschutz, da sie eine Reihe von Möglichkeiten hat, um ihre Emissionen zu reduzieren. Dies reicht bis hin zum Erhalt von Bodenstrukturen und Bodenhumus zur Sicherung einer nachhaltigen Produktivität der österreichischen Agrar-Flächen für künftige Generationen.

Indem Landwirtinnen und Landwirte in Österreich ihre Aktivitäten und ihr Tun anpassen und auf eine nachhaltige Landwirtschaft setzen, können sie konkret dazu beitragen, den Klimawandel zu verlangsamen und gleichzeitig ihre Betriebe zukunftsfähiger zu machen. Einige Beispiele sind der zielgerichtete Einsatz von Düngemitteln, die Nutzung erneuerbarer Energien auf dem eigenen Betrieb oder der standortangepasste Anbau von Kulturen mit geringerem CO₂-Fußabdruck, z.B. von Hülsenfrüchten.

Die vorliegende Broschüre gibt einen umfassenden Überblick über den Stand des Wissens und die praktische Anwendung am Betrieb. Sie ist ein wertvolles Instrument für Landwirtinnen und Landwirte, aber auch für die Beratung, um das Wissen zu erweitern und neue Technologien und Praktiken zu implementieren. Die Broschüre vermittelt auch vielfältige relevante Informationen zu den Aspekten rund um die Landwirtschaft wie Bodengesundheit, Pflanzenzucht, Tierhaltung, Energieeffizienz und erneuerbare Energien.

Aufgabe von Bund und Ländern wird es sein, Unterstützungsmaßnahmen zu schaffen, mit denen Landwirtinnen und Landwirte die In-Wertsetzung einer klimafreundlichen Landwirtschaft ermöglicht wird. Dieses Vorhaben ist von der Gesellschaft und von den Betrieben gemeinsam zu meistern und nicht nur wichtig für den Klimaschutz, sondern auch für die Zukunftsfähigkeit unserer heimischen Landwirtschaft.

Dr. Johann Gasteiner, Direktor

Inhalt

Wie hängen Betrieb und Klimaschutz zusammen?	7
Welche Angaben enthält die Broschüre?.....	8
Was bedeuten die Infografiken auf jeder Seite?.....	9
Welche Treibhausgase entstehen in der Landwirtschaft?	10

Ackerbau/Feldfutter

N-Düngung in Fahrspuren reduzieren	13
Bodenbearbeitung reduzieren	14
Futterleguminosen in der Fruchtfolge.....	15
Körnerleguminosen in der Fruchtfolge.....	16
Hecken an Feldrändern auf Ackerland	17

Acker-/Grünland

Angepasste N-Düngung auf Acker-/Grünland	19
Bodenverdichtung und Befahrung.....	20
Organische Böden reduziert bewirtschaften.....	21

Grünland/Wiederkäuer

Umbruchlose Erneuerung von Dauergrünland	23
Grundfutter am Standort optimieren	24
Milchleistung gemäß Standort umsetzen	25
Tiergesundheit und Nutzungsdauer Milchkühe.....	26
Weideanteil bei Milch- und Mastrindern	27

Fütterung

Reduktion der Methanbildung im Pansen.....	29
Proteinoptimierte Fütterung Milchkühe	30
Proteinoptimierte Fütterung Stiere.....	31
Phasenfütterung Monogastrier N-optimiert	32
Zertifizierte Futtermittel	33

Wirtschaftsdüngermanagement

Vergärung Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen.....	35
Abdeckung bestehender Güllelager.....	36
Bodennahe Gülleausbringung.....	37

Energie- und Betriebsmanagement

Erneuerbare Energieträger am Betrieb	39
Energieeffiziente Feldarbeit und Maschinen.....	40
Energieeffiziente Gebäudetechnik	41
Maschinenauslastung verbessern	42
Klimacheck für landwirtschaftliche Betriebe	43
Weitere diskutierte Minderungsoptionen	44
Treibhausgas-Emissionen Landwirtschaft Österreich.....	46
Literaturverzeichnis.....	47

Wie hängen Betrieb und Klimaschutz zusammen?

Diese Broschüre enthält Informationen darüber, welche Beiträge ein Landwirtschaftsbetrieb zum Klimaschutz leisten kann. Wir zeigen verschiedene Handlungsfelder und Möglichkeiten und beschreiben die Vor- und Nachteile einzelner Optionen für den Betrieb. Damit möchten wir einen neutralen Blick auf das Thema bieten, abseits von medialen Stimmungsbildern und wirtschaftlichen Interessen.

Objektiv betrachtet entstehen Treibhausgase bei fast allen Aufgaben am Landwirtschaftsbetrieb. Sie entweichen zum Beispiel beim Betrieb von Traktoren, aus Böden und im Stall und gelangen als Emission in die Erdatmosphäre. Je nach chemischer Zusammensetzung tragen sie dazu bei, dass bestimmte Wellenlängen an Sonnenstrahlung und Erdwärmeabstrahlung die Luftschichten mehr oder weniger gut durchdringen können.

Diese Broschüre fasst den abgesicherten Wissensstand zur Einsparung von Treibhausgasen zusammen. Sie beschreibt, was am Landwirtschaftsbetrieb für den Klimaschutz getan werden kann und welche Maßnahmen je nach betrieblichen Umständen zielführend sind.

Treibhausgas-Emissionen

Das auf lange Sicht wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂). Es entsteht, weil wir fossile Rohstoffe wie Erdöl, Kohle und Erdgas aus der Erdkruste fördern und verbrennen. Bei der Verbrennung gelangt der enthaltene Kohlenstoff als CO₂ in die Atmosphäre. CO₂-Moleküle lassen weniger Wärmestrahlung ins Weltall entweichen als andere Bestandteile der Luft.

Die Auswirkungen auf das Leben auf der Erde sind problematisch, weil der Anstieg der CO₂-Konzentration derzeit extrem schnell erfolgt, es aber mehr als 500 Jahre benötigt, bis die emittierten CO₂-Mengen wieder über natürliche Prozesse abgebaut werden. Bisher gibt es noch keinen leistbaren Ansatz, um den Kohlenstoff wieder auf technischem Wege wieder zurück in die Gesteinsschichten der Erdkruste einzulagern. Alle bisherigen Versuchsanlagen benötigen enorm große Energiemengen. Daher ist der mit Abstand günstigste Vermeidungsansatz, fossile Energieträger erst gar nicht zu verbrennen und Treibhausgase zu reduzieren. Eine produktive und zugleich klimaneutrale Landwirtschaft wird viele Lösungsvarianten benötigen, die Lebensmittelproduktion von der Verbrennung fossiler Energieträger und der Emission von Treibhausgasen zu entkoppeln.

Veränderungspotenziale

Die Broschüre beschreibt bereits heute vorhandene Veränderungspotenziale zur Verringerung unserer Emissionen im Sinne nachfolgender Generationen. Sie zeigt wichtige Handlungsfelder am Betrieb in den Bereichen Acker- und Futterbau, Grünlandwirtschaft und Viehhaltung sowie Wirtschaftsdünger- und Energiemanagement auf. Einerseits ist klar, dass mit den beschriebenen Handlungsmöglichkeiten alleine der Klimawandel nicht gestoppt werden kann. Auf der anderen Seite zählt für die physikalische Strahlungsbilanz in der Atmosphäre jedes nicht ausgestoßene Treibhausgas, und damit zählt jede Möglichkeit für einen Beitrag zum Klimaschutz.

Welche Angaben enthält die Broschüre?

Die Broschüre beschreibt eine Auswahl von 26 Handlungsmöglichkeiten. Wir legen das Augenmerk auf wissenschaftlich abgesicherte Fakten und zeigen, durch welche Praktiken für bestimmte Gase Emissionsminderungen möglich sind. Die abgebildeten Maßnahmen sind generell erfolgsversprechend und unter verschiedenen betrieblichen Umständen zielführend. Den fachlichen Hintergrund für die einzelnen Handlungsoptionen liefern vor allem nationale Fachstudien und Expertisen.

Der Fokus liegt auf Ideen, bei denen die produktionstechnische Machbarkeit, die gute landwirtschaftliche Praxis und der Klimaschutz Hand in Hand gehen.

Die folgenden Bereiche werden behandelt:

[Ackerbau/Feldfutter](#)

[Acker-/Grünland](#)

[Grünland/Wiederkäuer](#)

[Fütterung](#)

[Wirtschaftsdüngermanagement](#)

[Energie- und Betriebsmanagement](#)

Grenzen der Broschüre

Während wir hier einzelne betriebliche Handlungsfelder aufzeigen, ist die Frage der Gesamtausrichtung des einzelnen Betriebs ebenso wichtig, aber nicht Aufgabe dieser Broschüre. Es werden auch keine agrar- und wirtschaftsstrukturellen Ideen oder Maßnahmen beschrieben.

Beschrieben wird der produzierende Sektor Landwirtschaft, also die Seite der Nahrungsmittelherstellung, und zwar bei einer Fortführung des Beitrags zur Ernährungssicherung. Zugleich wird es auch in der Verarbeitungskette, bei Transporten und bei den Konsumgewohnheiten Veränderungen brauchen. Denn die Produktionsseite nimmt nur einen indirekten und beschränkten Einfluss darauf, wie das Ernährungssystem aussieht.

Hintergrund

Die Grundlage der Broschüre bildet der Abschlussbericht zum Dafne-Projekt Nr. 101324/2, das an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft erstellt wurde. Ziel des Projekts war die ökonomische Analyse von unterschiedlichen Lösungsansätzen zur Verminderung von Treibhausgas-Emissionen in der österreichischen Landwirtschaft. Die Auswahl der Handlungsoptionen erfolgte in Anlehnung an dieses Projekt. Zusätzliche Literaturquellen können dem Projektbericht entnommen werden.

raumberg-gumpenstein.at/projektbericht-thg-effizienz

Was bedeuten die Infografiken auf jeder Seite?

Auf jeder Seite finden Sie Informationen über die Auswirkungen von bestimmten Handlungsoptionen. Diese werden in Form von drei Infografiken beschrieben.

Der QR-Code bringt Sie zu einer umfassenden Sammlung an Fachbroschüren.



Hintergrund und Lösungsansatz

Der erste Textabschnitt erklärt die Idee hinter der Handlungsoption und den möglichen Lösungsansatz auf nationaler und betrieblicher Ebene.

Die erste Grafik zeigt, ob mit der Handlungsoption wenig oder viele Treibhausgas-Emissionen eingespart werden können. Die grüne Blume steht symbolisch dafür, wie hoch die Treibhausgaseinsparung typischerweise ausfällt. Eine einzelne Blume symbolisiert Vorteile für den Klimaschutz, zwei Blumen bedeuten eine bereits deutliche Treibhausgaseinsparung, und drei grüne Blumen bedeuten, dass durch eine Handlungsoption ein sehr hoher Beitrag für den Klimaschutz möglich ist.

Klimaschutz		
wenig	mittlere Reduktion	viel

Grafik 1 zeigt, wie hoch der Anteil an eingesparten Treibhausgas-Emissionen ist.

Was bedeutet das für den Betrieb?

Unter diesem Punkt wird beschrieben, welche Vor- und Nachteile sich aus der Umsetzung einer Maßnahme am Landwirtschaftsbetrieb ergeben können. Dabei wird auch speziell berücksichtigt, welche Kosten und welcher Arbeitsaufwand für einen Betrieb entstehen und ob die Handlungsoption die Erträge und die Erlöse negativ oder positiv beeinflusst.

Die Euro-Zeichen in der zweiten Grafik stehen symbolisch dafür, wie hoch die Kosten des Klimaschutzes typischerweise ausfallen, wenn ein Betrieb im jeweiligen Handlungsfeld Aktivitäten umsetzt.

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe	mittlere Kosten	hohe

Grafik 2 zeigt, wie hoch die Kosten der Handlungsoption für den Betrieb sind.

Was ist die Klimawirkung?

Die Beschreibung der Klimawirkung zeigt, auf welche Weise und durch welche Mechanismen die jeweilige Handlungsoption zu Verbesserungen führt.

Die Symbole stehen für die Art der eingesparten Treibhausgase. Sie stellen die verschiedenen Treibhausgase bzw. die verschiedenen Klimawirkungen dar.

Betroffene Treibhausgase
, N_2O , ..
<p>Grafik 3: Einsparung von.. Ölfass - Fossile Energieträger CO₂ - Kohlendioxid N₂O - Lachgas CH₄ - Methan LUC - Landnutzung (Land-Use-Change)</p>

Grafik 3 zeigt anhand von Symbolen, welche Treibhausgase eingespart werden.

Welche Treibhausgase entstehen in der Landwirtschaft?

Die Landwirtschaft hat insofern klimarelevante Auswirkungen, als sie bei der Produktion mehr oder weniger Treibhausgase emittiert und indem sie die Bedingungen für die Freisetzung oder für die Einlagerung von Kohlenstoffvorräten in der Biomasse (ober- und unterirdisch) schafft.

Böden

Das Vermeiden einer Kohlenstofffreisetzung und das Schaffen von Bedingungen für eine Kohlenstoffbindung sind für den Erhalt eines gesunden Bodens von unschätzbarem Wert. Der Fokus auf Bodenerhalt und Bodenfruchtbarkeit hat daher oberste Priorität. Vergleicht man die Spielräume zur Kohlenstoffeinlagerung mit dem Ausmaß der gesamten Treibhausgasemissionen, so spielt die Einlagerung aber nur eine untergeordnete Rolle. Im besten Fall könnten damit einige Promille der österreichweiten Treibhausgasemissionen kompensiert werden.

Kohlendioxid (CO₂)

Das global wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂). Es entsteht bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern, aber auch beim Ausatmen von Menschen und Tieren. Bei der Ausatmung stammt das CO₂ und der enthaltene Kohlenstoff aus einer biogenen Quelle und wird als klimaneutral gewertet. Emissionen aus fossilem Ursprung sind hingegen maßgeblich, da die fortlaufende Extraktion von Rohstoffen aus den Gesteinsschichten der Erde zu einer Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt. CO₂ aus fossilen Quellen entsteht derzeit bei den meisten Traktions- und Transportvorgängen. Außer bei der Verbrennung von Energieträgern entsteht CO₂ bei diversen biologischen Umsetzungsprozessen, beispielsweise auch im Boden.

Lachgas (N₂O)

In der Landwirtschaft kommt auch Lachgas (N₂O) eine hohe Bedeutung als Treibhausgas zu. N₂O entsteht hauptsächlich durch mikrobielle Denitrifikation in Verbindung mit der Düngung, aber ebenso bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Lachgas greift die hoch gelegene Ozonschicht an und wirkt als Treibhausgas ungefähr 300fach stärker als CO₂. Ein emittiertes N₂O-Molekül verweilt durchschnittlich mehr als 100 Jahre in der Erdatmosphäre und verringert in dieser Zeit die Wärmeabstrahlung der Erde. Indirekte Lachgas-Auswirkungen gehen in einem geringeren Ausmaß auch auf die Verlagerung von Stickstoff insbesondere in Form von Ammoniak (NH₃) zurück.

Methan (CH₄)

Methan entsteht einerseits biogen, wenn organisches Material unter Luftabschluss umgesetzt wird, andererseits macht Methan aber auch den Hauptbestandteil von fossilem Erdgas aus. CH₄ verweilt durchschnittlich für 12 Jahre in der Erdatmosphäre und ist in dieser Zeit sehr wirksam für den Strahlungsantrieb. Wenn die Emissionsmengen nicht ansteigen, dann wird CH₄ fortlaufend in der Atmosphäre abgebaut. Allerdings sind die globalen Methankonzentrationen enorm angestiegen, wobei fossile und biogene Quellen einen Anteil haben. Wichtige menschliche Treiber dahinter sind der Anstieg des fossilen Energieverbrauchs und der weltweite Anstieg der Rinderzahlen. In Österreich hingegen sinkt bzw. stagniert die Anzahl der Rinder bereits seit mehreren Jahrzehnten.

Landnutzungsänderungen (LUC)

Als Landnutzungsänderung wird die veränderte Nutzung von Böden bezeichnet, beispielsweise im Zuge der Nutzbarmachung von Wäldern und Mooren oder bei Umwandlung von Grünland zu Ackerland. Je nach Art der Landnutzungsänderung führen biologische und chemische Veränderungsprozesse zur Freisetzung von CO₂, aber auch von N₂O und CH₄. Ein großflächiges Problem sind Landnutzungsänderungen im Ausland, beispielsweise von Urwäldern. Durch den gestiegenen Ernährungsbedarf und Wohlstand der Weltbevölkerung sowie zunehmenden Futtermittel- und Energiepflanzenanbau steigt der Flächendruck international an. Landnutzungsänderungen und Rodungen führen zur Freisetzung von enormen Mengen an Treibhausgasen. Die häufig anzutreffende Abkürzung "LUC" stammt vom englischsprachigen Begriff für Landnutzungsänderungen, "Land Use Change".

Weitere Treibhausgase

Weitere Treibhausgase, die u.a. als Kältemittel und teilweise auch in der Landwirtschaft relevant sind, sind die sogenannten F-Gase wie FKW, HFKW und SF₆. Beispielsweise haben die verschiedenen Fluorkohlenwasserstoffverbindungen (FKW) verglichen mit CO₂ ein 1.000- bis 10.000-fach höheres Treibhauspotenzial.

Emissionsziele

Abhängig davon, für welche Generation der Klimaschutz gedacht ist, kommen den unterschiedlichen Gasen unterschiedliche Erwärmungsbeiträge zu. Die Treibhausgase CH₄ und N₂O wirken wesentlich stärker als CO₂, allerdings hat CO₂ eine weitaus längere Verweilzeit in der Atmosphäre und Einlagerungsprozesse für CO₂ dauern über unzählige Generationen. Für effektiven Klimaschutz besteht das Ziel darin, möglichst alle Emissionen bei allen Gasen zu reduzieren. Die Herausforderung liegt darin, Klimaschutz und gesellschaftlich gewohnte Lebensstandards abzuwägen und letztlich die Ernährungsversorgung sicherzustellen. Dabei sind neben dem Klimaschutz auch andere essentielle Schutzziele wie die Bodenfruchtbarkeit und die Artenvielfalt eine grundlegende Aufgabe unserer Zeit.



Ackerbau/Feldfutter

N-Düngung in Fahrspuren reduzieren

Mit einem Abschalten der N-Düngung in den Fahrspuren besteht die Chance, N_2O -Emissionen zu senken, ohne das Ertragspotenzial zu beeinträchtigen. Abhängig von der Ausstattung am Betrieb wäre der Mechanisierungs- oder Arbeitsaufwand mitunter höher.

Hintergrund und Lösungsansatz

- Eine konsequente Abschaltung der Düngung in den Fahrspuren, immer wenn dies technisch möglich ist, kann Emissionen einsparen. Derzeit erfolgt häufig auch in den Fahrspuren eine Düngung.
- Schleppschlauch, Schleppschuh und andere Techniken zur emissionsarmen Ausbringung von Wirtschaftsdünger finden in Verbindung mit der NEC-Richtlinie zur Minderung von NH_3 -Emissionen (Ammoniak) immer mehr Verbreitung.
- Eine Nutzung der Technik zur Teilbreitenabschaltung wäre v.a. auf intensiv genutzten Ackerflächen zweckmäßig und bietet Einsparpotenziale insbesondere bei Böden mit hohem Ton-/Schluffgehalt.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Mit einer Mechanisierung zur bodennahen Ausbringung bzw. Teilbreitenabschaltung bei Düngestreuern und -spritzen kann die Ausbringung in den Fahrspuren abgeschaltet werden.
- Die Umsetzung der Teilbreitenabschaltung bringt einen erhöhten Arbeitsaufwand bzw. je nach Ausstattung auch erhöhte Mechanisierungskosten mit sich.
- Das Ausbleiben der Düngung in den Fahrspuren verringert die Düngekosten, und es kann von einem annähernd gleichbleibenden Ertrag ausgegangen werden. Bei Wirtschaftsdüngern verbleibt mehr Dünger für den übrigen Pflanzenbestand.
- In Zukunft sind auch Verfahren des Präzisionsackerbaus für exakte Fahrspuren denkbar (controlled traffic farming, damit auch reduzierter Treibstoffeinsatz).

Was ist die Klimawirkung?

- Das Ausbleiben der Düngung in der Fahrspur verringert das N_2O -Emissionspotenzial um ca. 5 %, da die emittierende und verdichtete Fläche kleiner wird.
- Staunässe und hohe Nitratverfügbarkeit begünstigen N_2O -Emissionen, ein Aussparen der Fahrspuren verringert die Fläche mit hoher N-Düngung ohne Bewuchs.



Abbildung 1: In Fahrspuren bleiben wertvolle Düngemittel liegen, bei Staunässe werden N_2O -Emissionen begünstigt.



Abbildung 2: Eine Teilbreitenabschaltung bei der Düngung reduziert Düngemittelkosten bei gleichbleibendem Ertrag.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung gering bis mittel		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Lachgas-Emissionen aus Böden



Bodenbearbeitung reduzieren

Eine reduzierte Bodenbearbeitung spart Treibstoff und damit auch Treibhausgase ein. Ein etwaiges Risiko für Ertragsrückgänge kann durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen ausgeglichen werden.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung gering bis mittel		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Fossile Treibstoffe, +/- Kohlenstoffbindung

Hintergrund und Lösungsansatz

- Österreichweit betrachtet könnte auf vielen der derzeit gepflügten Flächen (ca. 973.000 ha) eine reduzierte Bodenbearbeitung sinnvoll sein.
- Je nach Standort und Kultur gibt es unterschiedliche Varianten einer nichtwendenden Bodenbearbeitung (Grubber, Mulchsaat, Direktsaat). Einschränkungen bestehen bei schweren Böden und bei Hackfrüchten.
- In der Bewirtschaftung gilt es viele Schritte zu beachten, um mögliche Nachteile auszugleichen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Mögliche Vorteile durch verringertes Pflügen sind Dieseleinsparung, Erosionsschutz, weniger Nährstoffauswaschung und bessere Bodengesundheit.
- Benötigt der Bestand einen etwaigen Pflanzenschutzmitteleinsatz gegen Unkraut- und Schädlingsdruck, so sollte dieser in jedem Fall zielgerichtet erfolgen.
- Als mögliche Nachteile zu bedenken sind Mengen- und Qualitätseinbußen und eine verzögerte Mineralisierung.
- Je nach Erfahrung am Betrieb fallen mit der Umstellung der Bewirtschaftung neue Arbeitsschritte an, und die Kulturen sollten verstärkt beobachtet werden.

Was ist die Klimawirkung?

- Es erfolgt eine Einsparung fossiler Energieträger durch den reduzierten Treibstoffeinsatz. Zum Beispiel werden circa 15 kg CO₂-Äquivalente vermieden, wenn 5 l Diesel eingespart werden können.
- Es bestehen auch indirekte Umweltvorteile über den verbesserten Erosionsschutz.
- Im komplexen Bereich Boden-C und N₂O-Emissionen bestehen vielfältige Wirkungszusammenhänge.



Abbildung 3: Mulchsaat bei Mais hat zusätzlich den Vorteil von Erosionsschutz, hier nach 100mm Regen keine Erosion.



Abbildung 4: Flachgrubber für reduzierte Bodenbearbeitung. Gründüngung unterstützt Unkrautunterdrückung.

Futterleguminosen in der Fruchtfolge

Ein vermehrter Anbau von Futterleguminosen in der Fruchtfolge kann den Mineraldüngerbedarf senken, indem die N-Fixierung durch Knöllchenbakterien stärker genutzt wird.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Derzeit erfolgt auf Futterbaubetrieben häufig ein Anbau von energetisch ertragreichen Kulturen, ein Zukauf von Eiweißfuttermitteln und eine zusätzliche mineralische N-Düngung.
- Im Ackerfutterbau und vor allem in der Rinderhaltung wäre es durch mehr Leguminosen in der Fruchtfolge möglich, den Bedarf von Import-Eiweiß zu reduzieren.
- Der verstärkte Einsatz von Leguminosen in Fruchtfolge oder als Untersaat/Zwischenfrucht ermöglicht auch eine bessere Boden- und Pflanzengesundheit und Nährstoffversorgung.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Am Betrieb erfolgt eine Adaptierung der Fruchtfolge. Im Jahr mit der Leguminose ist mit weniger Ertrag und zusätzlichen Erntevorgängen zu rechnen.
- Mit dem Leguminosenanbau ist in der Fütterung weniger Eiweißzukauf erforderlich, allerdings steht auch weniger Grundfutter zur Verfügung, sofern die Leguminose weniger Ertragspotenzial aufweist.
- Ein Vorteil ist der verringerte Bedarf an N-Dünger, weitere Vorteile liegen in der Boden- und Pflanzengesundheit; Augenmerk ist auf die Düngeplanung zu legen.

Was ist die Klimawirkung?

- Die Emissionseinsparung liegt darin, dass ein vermehrter Leguminosenanbau Mineraldünger ersetzen kann (durch die symbiontische N-Fixierung) und bei der Mineraldüngerproduktion viele Treibhausgase entstehen.
- Es steht am Betrieb mehr Eiweiß aus eigenem Anbau zur Verfügung, wodurch der Bedarf an Eiweißfutterimporten reduziert werden kann.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Energie Düngerproduktion, Transporte, Landnutzung



Abbildung 5: N-Fixierung durch Knöllchen-Bakterien an der Wurzel (symbiontische N-Bindung).



Abbildung 6: Luzerne mit Blüte, Leguminosen in der Fruchtfolge können Treibhausgase einsparen.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 8, 9, 10



Körnerleguminosen in der Fruchtfolge

Ein vermehrter Anbau von Körnerleguminosen (Sojabohne, Ackerbohne, Erbse) kann Mineraldünger einsparen/ersetzen und den Importfutterbedarf reduzieren.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Hintergrund und Lösungsansatz

- Ein inländischer Anbau von Körnerleguminosen reduziert den Importbedarf an Eiweiß und stärkt die Ernährungsversorgung.
- Körnerleguminosen können eine N-Fixierung durch Knöllchenbakterien bieten.
- Sie erfordern geringere Düngermengen im Vergleich zu anderen Kulturen.
- Leguminosen in der Fruchtfolge verbessern die Boden- und Pflanzengesundheit und die Nährstoffversorgung.

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
hohe Kosten		

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Betriebe sollten die Ertragslage für Körnerleguminosen, die betrieblichen Verwertungsmöglichkeiten und die erzielbaren Deckungsbeiträge beachten.
- Je nach betrieblicher Verwendung liefern Körnerleguminosen mitunter geringe Erlöse bei zugleich hohen Anbaukosten (abhängig von Anbauprämien).
- Im Gegensatz zu Futterleguminosen liefern Körnerleguminosen nur einen geringen N-Beitrag für die Nachfrucht.

Betroffene Treibhausgase
Energie Düngerproduktion, Transporte, Landnutzung

Was ist die Klimawirkung?

- Es sind geringere Düngemittelmengen erforderlich, wenn Leguminosen als Ersatz zu anderen Kulturen angebaut werden.
- Speiseleguminosen bieten wirtschaftliche Chancen und stärken die inländische Ernährungsversorgung – betreffend die Klimawirkung im gesamten Ernährungssystem sind die gegenüber anderen Kulturen teilweise geringeren Erträge und das Risiko für erhöhte N₂O-Emissionen zu berücksichtigen.



Abbildung 7: Ackerbohne in Blüte – Leguminosen können durch Wurzelknöllchen Stickstoff fixieren, dadurch ist für dieselbe Düngewirkung weniger Mineraldünger erforderlich.



Abbildung 8: Sojabohne – der Anbau von Speiseleguminosen stärkt die inländische Ernährungsversorgung.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 11, 12, 13

Hecken an Feldrändern auf Ackerland

Hecken auf Ackerflächen reduzieren zwar nicht den Ausstoß an Treibhausgasen, sie schaffen aber ein günstiges Kleinklima, können mittelfristig als Kohlenstoffsенke fungieren und bieten weitere Vorteile im Erosionsschutz sowie für die Förderung der Biodiversität.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Intensiv genutzte Agrarlandschaften sind arm an Struktur und Biodiversität. Die Anlage von Hecken hat mannigfaltige positive Auswirkungen auf Kleinklima und Artenvielfalt.
- Hecken bieten Erosionsschutz gegen Wind und Wasser, schaffen Lebensräume und eine strukturreiche Kulturlandschaft.
- Sachgerecht angelegte Hecken am Feldstückrand wirken trotz des damit verbundenen Flächenverlustes in Summe aller Faktoren ertragssteigernd gegenüber unbepflanzten Flächen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Es ist mit relevanten Kosten und Arbeitsaufwand für die Anlage und Pflege der Hecken zu rechnen, meist sind dafür Förderungen lukrierbar, u.U. Einschränkung der flurbereinigten Bewirtschaftung.
- Synergien zur Hauptkultur in Hinblick auf Erosionsminderung und Biodiversität. Positive Effekte auf Schädlingsregulation benachbarter Kulturpflanzen durch Förderung natürlicher Feinde.
- Mehrnutzungshecken ermöglichen betriebliche Zusatzerträge (Wildobst, Nüsse, Honig, Wildblüten,...).

Was ist die Klimawirkung?

- Hecken bieten Vorteile für die Ertragssicherheit, sie schützen vor Wind und Austrocknung, Schneeverwehungen und Bodenerosion.
- Als Windbremse fördern sie die Taubildung, verringern die Verdunstung und Temperaturextreme; dadurch auch Stabilisierung der Bodenfeuchte.
- Pflanzung bzw. Erhalt von Hecken kann überdies ober- und unterirdisch Kohlenstoff binden (einmalige Kohlenstoffsенke) und nutzbare Biomasse liefern.



Abbildung 9: Hecken bieten Synergien zur Hauptkultur im Erosionsschutz und unter- und oberirdische Kohlenstoffeinlagerung.



Abbildung 10: Ungefähr alle zehn Jahre kann ein Teil der Biomasse aus der Hecke entnommen und als erneuerbare Energie genutzt werden.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Kohlenstoffbindung, Bio- masse unter- und oberirdisch

Acker-/Grünland

Angepasste N-Düngung auf Acker-/Grünland

Eine Anpassung der N-Düngung aus Wirtschafts-/Mineraldüngern an den Nährstoffbedarf der Pflanzen unter Berücksichtigung der Standortbedingungen bringt positive Auswirkungen für das Klima mit sich.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Es gilt der Düngungsgrundsatz: es soll die richtige Menge zur richtigen Zeit am richtigen Ort ausgebracht werden.
- Im Vergleich zur landesüblichen Düngung ergibt sich durch geringere N-Verluste, bessere N-Ausnutzung, höhere N-Effizienz und eine Optimierung der Düngeplanung, des Düngezeitpunktes und der Ausbringtechnik eine Reduktion der N₂O- und CO₂-Emissionen. Das gilt sowohl im Ackerbau als auch in der Grünlandbewirtschaftung.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung sehr hoch		

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Die Düngung sollte auf den Nährstoffbedarf der Kulturpflanzen unter Einbeziehung von Art- und Sorteneigenschaften sowie auf unterschiedliche Ertragsniveaus und das Nährstoffnachlieferungsvermögen des Bodens ausgerichtet sein.
- Durch Einbeziehung von Pflanzenbestandsunterschieden (Einfluss durch Standort und Wetter) in das Düngemanagement kann die Nährstoffeffizienz erhöht werden.
- Höhere Nährstoffeffizienz bringt gleiche Erträge bei reduzierten Düngemengen.
- Kosten können durch den reduzierten bzw. effizienteren Düngereinsatz verringert werden. Erhöhte Kosten für die Arbeitserledigung aufgrund einer genaueren Planung und eventuelle Investitionskosten, um eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung realisieren zu können, müssen jedoch beachtet werden.

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Was ist die Klimawirkung?

- Eine bedarfsgerechte, standortangepasste Düngung bewirkt eine Verringerung der N₂O-Emissionen durch die Vermeidung von hohen N-Überhängen im Boden.
- Emissionen von CO₂ und N₂O bei der verfahrensbedingt energieintensiven N-Düngerproduktion werden eingespart.
- Die Steigerung der Düngeeffizienz durch eine gezielte Planung und Umsetzung gewährleistet weiterhin stabile Erträge.

Betroffene Treibhausgase
Energie, Lachgas für Düngemittelproduktion



Abbildung 11: Stickstoffdüngung führt zu N₂O-Emissionen, Ziel ist eine hohe Produktivität mit geringen N-Überschüssen durch eine hohe N-aufnahme der Pflanzen.



Abbildung 12: Ausschlaggebend ist nicht die Art der Düngung sondern die eingebrachte N-Menge, Witterungs- und Standortbedingungen und der N-Überschuss.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 17, 18, 19, 20



Bodenverdichtung und Befahrung

Ein Befahren bei trockenen Bedingungen und mit angepasstem Reifendruck hilft, um die Bodenverdichtung gering zu halten. Dies kann klimaschädliche N₂O-Emissionen vermeiden.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung gering bis mittel		

Hintergrund und Lösungsansatz

- Derzeit erfolgt vielfach keine Reifendruckanpassung und ein Befahren bei ungünstigen Bodenbedingungen.
- Betroffen sind insbesondere Böden mit hohem Ton-/Schluffgehalt und ein Befahren mit hohen Maschinengewichten/Achslasten.
- Lösungsansätze liegen im Beachten einer guten fachlichen Praxis sowie im Bewusstsein für die Themen Bodenverdichtung und Bodenqualität.

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Befahrung möglichst nur bei abgetrockneten Bedingungen, soweit dies arbeitswirtschaftlich und organisatorisch, z.B. aufgrund von Erntekampagnen, möglich ist.
- Sowohl eine manuelle Anpassung des Reifendrucks als auch Reifendruckregelanlagen können dabei helfen, die Bodenbelastung zu reduzieren – die manuelle Anpassung bedeutet einen höheren Arbeitsaufwand.

Betroffene Treibhausgase
Lachgas-Emissionen aus Böden

Was ist die Klimawirkung?

- Die Klimaschutzwirkung liegt darin, dass weniger verdichtete Böden auch weniger zu klimaschädlichen N₂O-Emissionen neigen.
- Demgegenüber können Staunässe und hohe Nitratverfügbarkeit die N₂O-Emissionen begünstigen (Nitrifikation/Denitrifikation).
- Je nach Situation ist eine Verringerung um 1 bis 5 % der N₂O-Emissionen durch Reifendruckanpassung möglich.
- Bodenverdichtung mindert den Ertrag vor allem unter trockenen Bedingungen - weniger H₂O-Speichervermögen.



Abbildung 13: Manuelle Reifendruckanpassung bedeutet höheren Aufwand. Integrierte Reifendruckregelsysteme erlauben ein Anpassen während der Fahrt, kosten aber auch mehr.



Abbildung 14: Optimale Reifendruckanpassung kann die Bodenverdichtung deutlich reduzieren und hilft N₂O-Emissionen zu vermeiden.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 21, 22, 23

Organische Böden reduziert bewirtschaften

Aus Böden mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz emittieren aufgrund von Zersetzungsprozessen Treibhausgase. Für den Klimaschutz kann eine veränderte Nutzung Vorteile bringen, insbesondere dann, wenn die Flächen ohnehin wenig Ertrag liefern.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Wird für drainierte Flächen auf organischen Böden (Moore, anmoorige Böden) der Wasserstand angehoben, entstehen weniger Treibhausgas-Emissionen.
- Speziell bei wenig ertragreichen Standorten könnte eine Emissionsminderung durch Bewirtschaftungsänderung sinnvoll sein. Gesellschaftlich und politisch wären Möglichkeiten für einen Ausgleich zu entwickeln.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung sehr hoch		

Was bedeutet das für den Betrieb?

- In Frage kommen vorrangig extensive, ertragsarme Standorte (Streuflächen, 1-Schnitt-Nutzung), auf denen nur geringe Einbußen zu kompensieren sind.
- Die Kosten der Wiedervernässung könnten über ein Trägermodell oder Förderungen abgedeckt werden. Je nach Bewirtschaftung (z.B. Renaturierung) entsteht auch ein laufender Aufwand für die Pflege der Flächen (z.B. Naturschutz).
- Das Ausmaß der möglichen Treibhausgaseinsparung ist sehr hoch und kann auf (vormalig) als Grünland genutzten Flächen durchaus über 10 Tonnen CO₂ pro Jahr betragen. Pro eingesparter Emissionseinheit wäre diese Klimaschutzmaßnahme daher sehr kostengünstig.

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
hohe Kosten		

Was ist die Klimawirkung?

- Durch eine Reduktion oder Aufgabe der Bewirtschaftung können Drainagen zurückgenommen werden. Ein höherer Wasserstand reduziert die Torfmineralisation und damit CO₂- und N₂O-Emissionen.
- Die Höhe der Treibhausgaseinsparung hängt von Wasserstand, Bewuchs und Lebensbedingungen für Mikroorganismen ab. Am wirksamsten ist ein Wasserstand nahe der Oberfläche, Bewirtschaftung ist damit aber kaum mehr möglich.
- Vorteile einer Renaturierung liegen auch im Naturschutz und der Bewahrung der Biotop- und Artenvielfalt. Außerdem kann ein gesellschaftlich wertvolles Landschaftsbild entstehen.

Betroffene Treibhausgase
CO₂ , N₂O
CO ₂ und N ₂ O - Emissionen



Abbildung 15: Drainagen führen zu höheren Sauerstoffgehalten im Boden und zur Torfzersetzung.



Abbildung 16: In Österreich liegen tausende Hektar an Grünland- und Ackerflächen auf organischen Böden.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 24, 25, 26

Grünland/Wiederkäuer

Umbruchlose Erneuerung von Dauergrünland

Eine pfluglose Erneuerung der Grasnarbe bei lückigen Beständen ist im Vergleich zum Pflugeinsatz besser für den Klimaschutz. Im Vergleich zum Pflugumbruch entsteht durch die pfluglose Erneuerung ein geringerer Abbau von Humus und Kohlenstoff im Boden.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Es bestehen vielfältige Möglichkeiten zur umbruchlosen Erneuerung, abhängig von Standort, Lückigkeit der Altnarbe und Verunkrautung des Bestandes.
- Sie reichen von der Bearbeitung mit Starkstriegel und anschließender Nach- oder Übersaat inklusive Rückverfestigung bis zur oberflächlichen Bodenbearbeitung mit Kreisel- oder Rotorumkehrege mit anschließender Neuanlage.
- Wird die Altnarbe nicht komplett entfernt, ist eine frühe Nutzung des ersten Aufwuchses erforderlich, um den Keimlingen die Entwicklung zu ermöglichen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Die umbruchlose Grünlanderneuerung schließt Bestandeslücken und schafft leistungsfähige, ertragreiche Pflanzenbestände mit einem starken Gräsergerüst und einem ausreichenden Anteil an stickstofffixierenden Leguminosen.
- Die ständige Futtermittelverfügbarkeit bietet eine hohe Nutzungsflexibilität, geringere Kosten anstelle des Umbruchs und geringere Erosionsgefahr. Allerdings ist die Bekämpfung von Wurzelunkräutern wie dem Stumpflättrigen Ampfer erschwert.
- Der ideale Zeitpunkt für die Erneuerung ist aufgrund der geringeren Konkurrenz der Altnarbe im Spätsommer. Die Rekultivierung mit standortgerechten Gräsern und Kräutern sorgt auch in schwierigen Lagen rasch für eine stabile und erosionsmindernde Vegetationsdecke.

Was ist die Klimawirkung?

- Bei Dauergrünland führt ein Umbruch zu einem Abbau des organischen Kohlenstoffs im Boden, wohingegen der spätere Aufbau deutlich langsamer erfolgt.
- Eine dauerhafte Vermeidung des Umbruchs spart CO₂ und N₂O-Emissionen ein, das Ausmaß hängt vom Standort ab. Kann die Sanierung mit dem Starkstriegel durchgeführt werden, ist dies auch treibstoffsparend und kostengünstig.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase		
Treibstoffe, Kohlenstoffbindung, Lachgas		



Abbildung 17: Für die umbruchlose Grünlanderneuerung stehen eine Reihe unterschiedlicher Techniken zur Verfügung.



Abbildung 18: Arbeitsweise: Die Grasnarbe wird geöffnet, der Boden nur leicht angeritzt und die Samen breitflächig abgelegt.



Grundfutter am Standort optimieren

Durch eine standortangepasste Grünlandnutzung und -düngung sind bei effizientem Wirtschaftsdüngereinsatz und Nutzung der biologischen N-Bindung durch Leguminosen optimale Erträge sowie klimapositive Effekte zu erzielen.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung sehr hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Lachgas, Methan Pansen, Herstellungsprozesse

Hintergrund und Lösungsansatz

- Bei einer Bewirtschaftung abseits des Standortpotenzials und bei schlechtem Wirtschaftsdüngermanagement entstehen negative Umweltwirkungen.
- Problematisch sind vermeidbare Verluste an Futtermenge/-qualität, eine nicht optimale Nutzung des Standortpotenzials und ein zu hoher Futtermittelzukauf.
- Ziel ist ein standortangepasster, kreislaufbezogener Futterbau mit klimafitten Pflanzenbeständen und dazu passenden Nutztieren zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit sowie der Erträge und Futterqualitäten.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Anpassung des Viehbestandes und der Düngung an die Ertragslage und aliquote Rückführung der Wirtschaftsdünger auf die einzelnen Flächen.
- Förderung des Leguminosenanteils zur Optimierung der Stickstoffversorgung; Förderung der Bodengesundheit sowie eines robusten Pflanzenbestandes (Ertrags- und Futterqualität, Krankheitsresistenz, Trockentoleranz u.a.).
- Konservierungs-, Entnahme- und Vorlagetechnik optimieren, um Mengen- und Qualitätsverluste und somit Kosten zu senken. Professionelle Abwicklung der Erntekette, je nach Situation mit externen Partnern (LU, MR u.a.).
- Transportoptimierung speziell in den Bereichen Nutzung und Düngung. Gezielte Arten-/Sortenwahl und Pflege sowie verlustarme Erntekette und Futtermittelkonservierung/-lagerung/-vorlage.

Was ist die Klimawirkung?

- Günstige N-Flächenbilanzen und optimale N-Nutzung mindern Emissionen.
- Gute Grundfutterqualität mindert CH₄-Emissionen aus der Pansenfermentation, gute Erträge reduzieren den Bedarf an Futterzukauf.
- Ein weiterer Nutzen sind gesunde, gering verdichtete Grünlandböden mit hoher Wasserspeicherkapazität/-verfügbarkeit und guter Nährstoffnachlieferung.



Abbildung 19: Wirtschaftseigene Produktion von hochwertigem Grundfutter vermeidet Kosten für Futterzukauf und Treibstoff.



Abbildung 20: Widerstandsfähige Pflanzenbestände bieten sicheren Ertrag und hohe Qualität und finden nach Störungen wieder ins Gleichgewicht.

Milchleistung gemäß Standort umsetzen

Eine Milchproduktion, die an die lokal verfügbaren Futterressourcen angepasst ist, gepaart mit einer effizienten Nährstoffversorgung der Tiere, kann einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Manche Betriebe übernutzen das Standortpotenzial, zugleich schöpft ein großer Teil das Standortpotenzial nicht aus. Beides ist aus Effizienz­sicht nicht optimal.
- Eine effiziente Nutzung von Futterressourcen und eine effiziente Fütterung von Nutztieren erhöhen den ökonomischen Erfolg und reduzieren den ökologischen Fußabdruck von Lebensmitteln.
- Eine lokal und regional angepasste Produktion (Milchleistung, Fütterung) sollte bis hin zur Bezugnahme auf den Standort bei der Vermarktung der Produkte reichen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Der Standort des Betriebes entscheidet über die Fütterung der Tiere. Basis ist das betriebseigene Grundfutter. Darüber hinaus kann je nach Standortpotenzial mehr oder weniger Kraftfutter eingesetzt werden.
- Eine richtige und ausgeglichene Nährstoffversorgung der Tiere ist das oberste Ziel.
- Die Tiergenetik sollte zu Standort und Produktionsweise passen. Die Futterration muss auf die Leistung der Tiere abgestimmt werden (Rationsberechnung!).
- Großes Augenmerk liegt auf einem möglichst optimalen Herdenmanagement (Tierbeobachtung und Tierwohl, Leistungs-/Fütterungskontrolle, etc.).

Was ist die Klimawirkung?

- Kreisläufe können eher geschlossen werden, die regionale Futter- und Lebensmittelproduktion verringert CO₂-Emissionen aus dem Transport.
- Es resultiert ein verringerter ökologischer Fußabdruck des Produktes Milch durch eine verbesserte Produktionseffizienz auf den Betrieben.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung sehr hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Methan Pansen, fossile Energie



Abbildung 21: Futterernte Dauerwiese – eine gute Grundfutterleistung erfordert hochwertige Futtermittel, die zur Genetik am Betrieb passen.



Abbildung 22: Die angepasste Mischung der heterogenen Futtermittel zeugt von der hohen Kompetenz am Betrieb im Umgang mit dem Standortpotenzial.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 33, 34, 35



Tiergesundheit und Nutzungsdauer Milchkühe

Die Förderung der Tiergesundheit und eine hohe Nettonutzungsdauer für Milchkühe stellen eine effektive und kostengünstige Maßnahme zur Treibhausgasreduktion dar.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung sehr hoch		

Hintergrund und Lösungsansatz

- Eine verbesserte Tiergesundheit und eine verlängerte Nutzungsdauer reduzieren den Bedarf an Bestandesergänzung und somit sowohl die Kosten als auch die Emissionen, die dabei entstehen.
- Ausgangspunkte sind eine fitnessstarke Genetik in der Zucht und leistungsangepasste und stoffwechselschonende Rationen in der Fütterung.
- Die Zahl an Nachzuchtieren sollte dem Remontierungsbedarf entsprechen.

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Verstärkter Fokus auf Tiergesundheit und bedarfsgerechte und stoffwechselschonende Rationsgestaltung (Rationsberechnung!).
- In der Zucht verstärkt Augenmerk auf Fitnessmerkmale wie Nutzungsdauer, Fruchtbarkeit und Persistenz sowie Gesundheitszuchtwerte legen.
- Gezieltere Planung der Remontierung: reinrassige Belegung von züchterisch interessanten Kühen, ansonsten Gebrauchskreuzungen für Fleischproduktion, welche als Kalb verkauft/ausgelagert werden.

Betroffene Treibhausgase
Fossile Energie, Methan Pansen, Lachgas

Was ist die Klimawirkung?

- Eine verbesserte Tiergesundheit reduziert die Phasen mit verringerter Leistung oder „Verlustmilch“, dies verbessert die Klimabilanz pro Liter erzeugter Milch.
- Längere Nutzungsdauer reduziert Emissionen pro kg Lebensmilchleistung der Kuh.
- Geringere Anzahl an Nachzuchtieren reduziert Emissionen des Betriebes.



Abbildung 23: Fokus auf das Tierwohl und saubere Liegeflächen zu jeder Jahreszeit.



Abbildung 24: Kompostställe ermöglichen artgemäßes Liegeverhalten, einen gesunden Bewegungsapparat und hohe Tiergesundheit.

Weideanteil bei Milch- und Mastrindern

Eine Erhöhung des Ausmaßes an Weidestunden kann eine kostengünstige Maßnahme zur Treibhausgasreduktion darstellen. Weidehaltung bedeutet weniger Treibstoffbedarf und weniger Emissionen aus der Mist-/Güllelagerung über die Sommermonate.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Nur ein kleiner Anteil der Futtermittelaufnahme erfolgt derzeit über die Weide. Für ganz Österreich betrachtet fallen bei den Milchkühen circa 4 % und bei den Mastrindern circa 3 % der Stickstoffausscheidungen direkt auf der Weide an.
- Abhängig von Produktionssystem und Standort könnten die täglichen Weidezeiten bzw. auch die Weidedauer über den Sommer ausgedehnt werden. Die Vorteile für den Klimaschutz wären hoch, weil die Güllegrube gerade in der warmen Jahreszeit zu hohen CH_4 -Emissionen führt.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Eine längere Weidedauer setzt klimatisch passende Weidetage sowie arrondierte und zugängliche Flächen voraus. Die Managementkompetenzen für die Weideführung werden in facheinschlägigen Seminaren vermittelt – bis hin zur Nutzung von automatischen Melksystemen (AMS) bei Weidehaltung.
- Die prinzipiellen Vorteile einer verlängerten Weidedauer sind sowohl für Nachzucht, Milchkühe, Mutterkühe als auch für Masttiere gegeben. Vermehrte Weidehaltung kann auch Vorteile in Hinblick auf die gesellschaftliche Wahrnehmung für die Kulturlandschaft und den Tourismus bringen.

Was ist die Klimawirkung?

- Dadurch, dass während der Sommermonate weniger Dünger auf der Mistplatte oder in der Güllegrube gelagert wird, entstehen dort weniger CH_4 -Emissionen. Emissionen aus der Güllelagerung sind speziell im Sommer bei höheren Temperaturen problematisch.
- Durch die Futtermittelaufnahme der Tiere auf der Weide resultiert eine Treibstoffeinsparung, da weniger Futterbereitung erforderlich ist (Ernte, Lagerung, Entnahme, Vorlage).

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
$\text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}$
Fossile Energie, Lachgas, Methan Güllelagerung



Abbildung 25: Betriebe können durch die Weidehaltung zwischen 3 und 5 % der Treibhausgas-Emissionen einsparen.



Abbildung 26: Moderne Weideverfahren verursachen geringe Kosten und ermöglichen hohe Futtermittelnahmen und eine Nutzung von AMS.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 41, 42, 43, 44, 45

Fütterung

Reduktion der Methanbildung im Pansen

Die Methanbildung im Pansen von Wiederkäuern lässt sich bis zu einem gewissen Grad beeinflussen. Eine mögliche Option ist der Zusatz von ausgewählten, geprüften und vorzugsweise natürlichen Futtermittelzusatzstoffen zur Treibhausgasreduktion.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Die Methanbildung im Pansen kann durch die Rationsgestaltung und das Futter, durch züchterische Maßnahmen und durch chemische oder natürliche Futtermittelzusätze beeinflusst werden.
- Futtermittelzusatzstoffe haben zum Teil großes Potenzial. Bevor diese breitflächig eingesetzt werden, bedarf es einer umfangreichen Prüfung ihrer Wirkungen und Nebenwirkungen.
- Methanreduzierende Futtermittelzusatzstoffe sollten die Futtermittelverwertung nicht beeinträchtigen und dürfen keine negativen Auswirkungen auf Tiergesundheit und Lebensmittelqualität haben.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Futtermittelzusatzstoffe können die Methanproduktion der Tiere reduzieren. Vor deren Einsatz sollten jedoch detaillierte Informationen über die Wirkungen und Nebenwirkungen eingeholt werden.
- Der Einsatz von Futtermittelzusatzstoffen verursacht Kosten und sollte durch die verbesserte Milchleistung, den Milchpreis oder Zahlungen gerechtfertigt sein.
- Nach dem Beginn der Zufütterung von Futtermittelzusatzstoffen sollte verstärkt Augenmerk auf die Herdenleistung und -gesundheit gelegt werden.

Was ist die Klimawirkung?

- Futtermittelzusatzstoffe stören die Methanproduktion im Pansen auf unterschiedlichen Wegen. Je nach Futtermittelzusatzstoff kann die Methanentstehung um einige Prozent oder teilweise auch um mehr reduziert werden.
- Auch qualitativ hochwertige Futtermittel können Methanemissionen verringern, allerdings bestehen hierbei Zielkonflikte mit Emissionen aus der Futterproduktion.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
CH₄
Methan Pansen



Abbildung 27: Respirationskammer zur Messung von CH₄-Emissionen bei Rindern bei kontrolliertem Luftstrom an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein.



Abbildung 28: Futterzusätze wie Zitronengras enthalten Tannine, diese mindern die Methanbildung im Pansen.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 46, 47



Proteinoptimierte Fütterung Milchkühe

Eine angepasste Versorgung mit Eiweiß hat positive Auswirkungen für die Tiere, für die Wirtschaftlichkeit des Betriebes und für die Umwelt. In erster Linie geht es darum, die Stickstoffverluste im betrieblichen Kreislauf gering zu halten.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Lachgas aus Böden

Hintergrund und Lösungsansatz

- Die Eiweißgehalte passen auf vielen Betrieben und bestimmte Schwankungen sind in der Praxis nicht zu vermeiden. Dennoch sollte darauf geachtet werden, ob möglicherweise eine Überversorgung vorliegt.
- Bei der Rationserstellung gilt es nicht nur den Rohproteingehalt, sondern auch die Verdaulichkeit bzw. Verwertbarkeit des Eiweißes zu beachten.
- Für eine optimale Versorgung der Pansenmikroben ist es entscheidend, dass die Energie- und Eiweißbestandteile gleichzeitig bereitstehen - bspw. sind Grassilage (eiweißreich) und Getreideschrot (energiereich) ähnlich schnell abbaubar.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Ziel ist eine ausgeglichene ruminale Stickstoffbilanz, d.h. die Pansenmikroben werden passend mit Energie und Eiweiß versorgt. Wenn zu viel Eiweiß gefüttert wird, sind im Pansen große Mengen an Stickstoff vorhanden. Die Mikroben können diese Mengen aber nicht verwerten und sie müssen daher ausgeschieden werden.
- Zur Rationskontrolle bei Milchkühen eignet sich neben der ruminale Stickstoffbilanz vor allem der Harnstoffgehalt der Milch. Zu hohe Harnstoffgehalte zeigen eine Überversorgung an (150 bis 250 mg Harnstoff pro Liter Milch ist optimal).

Was ist die Klimawirkung?

- Mit einem Stickstoffüberschuss in der Fütterung gehen hohe Stickstoffausscheidungen einher, welche ein hohes Potential für Ammoniakverluste in der Wirtschaftsdünger-Kette bedeuten.
- Ammoniak (NH_3) ist in erster Linie als Luftschadstoff problematisch, allerdings bedeuten NH_3 -Emissionen auch einen Verlust von Nährstoffen und eine verringerte N-Effizienz im betrieblichen Kreislauf.
- Verbleibender Stickstoff, der nicht als Ammoniak emittiert, wird mit der Düngung auf das Feld verlagert. Dort trägt der Stickstoff zu klimarelevanten N_2O -Emissionen bei.



Q: pixabay

Abbildung 29: Im Zuge der Verdauung im Pansen bilden Mikroorganismen hochwertige Proteine, welche dem Rind als Eiweißquelle dienen.



Q: pixabay

Abbildung 30: In der Milchviehfütterung dienen die ruminale Stickstoffbilanz (RNB) der Ration und der Harnstoffgehalt der Milch zur Überprüfung der Effizienz der Eiweißfütterung.

Proteinoptimierte Fütterung Stiere

Eine eiweißangepasste Fütterung leistet einen Beitrag zur Verminderung des Bedarfs an Importfuttermitteln und verringert damit Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig werden die Stickstoffverluste am Betrieb gering gehalten.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Häufig wird eine einheitliche Ration über verschiedene Größenklassen hinweg gefüttert. Die Ration sollte allerdings an das Wachstum angepasst werden, da zur Endmast hin der Eiweißbedarf deutlich geringer ist als zu Beginn.
- Ab einem Gewicht von circa 350 bis 500 kg sinken die Tageszunahmen und der Eiweißbedarf. Bei einem Gewicht von 200 kg beträgt der Eiweißbedarf circa 14 bis 15 %, bei 600 kg circa 12 %. Eine Adaptierung könnte potenziell für circa 1.000 spezialisierte Mäster interessant sein.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Durch die Zuteilung der Futterkomponenten können unterschiedliche Rationen gefüttert werden. Der Aufwand der Rationsgestaltung kann sich durch die Eiweiß-Einsparung rentieren. Zusätzliche Vorteile sind bessere N-Effizienz und Tiergesundheit.
- Die Zunahmen und die Erlöse bleiben mit der Eiweißanpassung gleich. Kosten ergeben sich bei einer Investition in eine automatische Fütterung, diese kann aber Arbeitszeit bzw. Arbeitskosten einsparen.
- Grundsätzlich sollte zweimal täglich frisches Futter vorgelegt und regelmäßig nachgeschoben werden. Die Menge sollte so bemessen werden, dass vor der nächsten Fütterung nur noch 1 % Futterrest am Tisch verbleibt. Die anteilige Eiweißversorgung kann über verschiedene Komponenten wie Rapsextraktionsschrot, Rapskuchen oder Birtreber erfolgen.

Was ist die Klimawirkung?

- Geringerer Bedarf an Eiweißfuttermitteln verringert Treibhausgase in der Futterproduktion.
- Reduzierte N-Mengen im Kreislauf reduzieren Treibhausgase aus Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung.



Abbildung 31: Je nach Situation ist auch eine händische Zugabe von Proteinfuttermitteln zu Mastbeginn möglich.



Abbildung 32: Automatisierte Fütterungssysteme zur Mischung angepasster Rationen rentieren sich je nach Betriebsgröße

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
LC₄ , CH₄ , N₂O
Futtermittel, Lachgas, Methan, Gülle, Landnutzung

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 51, 52, 53



N-optimierte Phasenfütterung Monogastrier

Eine eiweißangepasste Fütterung leistet einen anteiligen Beitrag zur Verminderung des Importfuttermittelbedarfs. Gleichzeitig verringert dies die Ammoniakemissionen aus Stallungen (Ansatz direkt am Tier) und die N-Gehalte bei der Ausbringung.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung sehr hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
LUC , CH₄ , N₂O
Futtermittel, Lachgas, Methan, Gülle, Landnutzung

Hintergrund und Lösungsansatz

- Häufig erfolgt eine Proteinübersversorgung bei Schweinen oder Geflügel aufgrund ungenauer, nicht alters- bzw. wachstumsangepasster Zuteilung der Komponenten.
- Ein Lösungsansatz liegt in der Phasenfütterung mit optimierten Rationen. Dadurch ist weniger Proteinfutteranbau bzw. -Zukauf erforderlich und es ergeben sich Vorteile für die Tiergesundheit, wobei die tierischen Leistungen gleichbleiben.
- Weitere erwünschte Wirkungen können in einer hohen Akzeptanz auf den Märkten und in der Gesellschaft liegen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Am Betrieb resultiert ein höherer Deckungsbeitrag durch geringere Futterkosten, allerdings bestehen Kosten für die Investition in das Fütterungssystem.
- Die geringeren Futterkosten resultieren aus geringeren eigenen Futterherstellungs- und/oder geringeren Futterzukaufkosten (für teures Proteinfutter) liegen. Die Investition in entsprechende Fütterungstechnik bzw. Lagerkapazität rentiert sich abhängig von Betriebsgröße und Futtergrundlage.
- Zur Umsetzung kommt ein automatisiertes Fütterungssystem für die Vorlage eiweißangepasster Rationen. Es wird mehr Getreide anstelle von Soja-/Rapsschrot verfüttert, ein Ausgleich erfolgt über gezielten Zusatz von Aminosäuren. Die Basis dafür sind Futtermitteluntersuchungen.

Was ist die Klimawirkung?

- Reduzierte N-Mengen im Kreislauf senken insbesondere Treibhausgasemissionen aus Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung.
- Es ist insgesamt weniger Eiweißfuttermittelanbau erforderlich.



Abbildung 33: Mit Einrichtungen zur Phasenfütterung werden Rationen verfüttert, die an den Wachstumsverlauf angepasst sind.



Abbildung 34: Phasenfütterung ermöglicht dieselben Zunahmen, verringert zugleich aber den Proteinbedarf und spart damit Futterkosten.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 54, 55, 56, 57

Zertifizierte Futtermittel

Die Verwendung von zertifizierten Futtermitteln in der Schweine- und Geflügelhaltung kann die Klimabilanz verbessern, indem der Druck auf die Landnutzung vermindert wird.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Derzeit erfolgt häufig ein Bezug von herkömmlichen Futtermitteln, und aufgrund von direkten oder indirekten Landnutzungsänderungen im Ausland (z.B. Abholzung Regenwald) führen diese zu hohen Emissionen.
- Ein deutlicher Anteil der in Österreich eingesetzten Eiweißfuttermittelmengen könnte durch zertifizierte Produkte ersetzt werden, für die eine Landnutzungszertifizierung vorliegt. Eine etwaige Änderung der Nährwerte, die sich dadurch ergeben könnte, kann durch Rationsanpassung berücksichtigt werden.
- Die Umsetzung erfordert entsprechende Fütterungskonzepte und auch marktseitig eine Realisierung des Mehrwerts, sprich Ausgleich der höheren Futtermittelpreise in der Vermarktung.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung sehr hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
hohe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Landnutzung, Energie Transporte

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Die Verwendung von zertifizierten Produkten schränkt den Zukaufmarkt ein, es ergeben sich höhere Futtermittelkosten und ein höherer Aufwand in der Beschaffung.
- Für den Betrieb bedeutet dies einen Austausch von Zukauffuttermitteln, möglicherweise auch eine Änderung von Lieferanten und Lieferwegen.
- Weitere erwünschte Wirkungen liegen in einer hohen Akzeptanz auf den Märkten und in der Gesellschaft.

Was ist die Klimawirkung?

- Der Austausch von importiertem Eiweißfutter durch Produkte, die in Hinblick auf die Landnutzung zertifiziert sind, trägt zu einer nachhaltigen Produktion bei.
- Die Wirkung besteht entweder direkt für das konkrete Futtermittel oder indirekt durch Preissignale auf den Märkten.



Abbildung 35: Einen Ansatzpunkt für großteils europäische Futtermittel bietet GVO-freie Fütterung, aber auch spezifische zertifizierte Produkte sind am Markt erhältlich.



Abbildung 36: Zertifizierungen können neben einer hohen Qualität auch bessere Produktionsbedingungen in den Herkunftsländern sicherstellen.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 58, 59, 60, 61

Wirtschaftsdüngermanagement

Vergärung Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen

Eine Vergärung von Wirtschaftsdünger kann Methan-Emissionen reduzieren und einen Beitrag zur Energieproduktion leisten. Derzeit werden in Österreich ca. 280 Biogasanlagen unterschiedlicher Größe betrieben.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Zielführend sind kleine, betriebliche Anlagen oder Betriebsgemeinschaften, bei denen nur kurze Transportwege anfallen.
- Bislang ungenutzte Biomasse, Futterreste, kurzfristige Futterüberschüsse und Grünschnitt könnten sinnvoll verwertet werden.
- Erforderliche Rahmenbedingungen sind zu schaffen (z.B. Investitionsförderung).
- In Österreich gibt es ca. 3.500 Betriebe mit mehr als 100 GVE und entsprechenden Gülleanfallsmengen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Die Kosten sind abhängig von der Betriebsgröße – die Investitionskosten für Kleinstanlagen (5 bis 15 kW_{peak} elektrisch) sollten bei max. EUR 100.000,- liegen.
- Es fallen Kosten und Arbeitsaufwand für den laufenden Betrieb an.
- Die Anlage könnte den Basisstrombedarf des Betriebes abdecken; für einen wirtschaftlichen Betrieb muss die Biogas-Abwärme nutzbar sein (Heizwärme/Warmwasserbereitung).
- Die Gärrest-Gülle wird fließfähiger – geringere Gefahr der Futtermittelverschmutzung.

Was ist die Klimawirkung?

- Verringerung der klimarelevanten Emissionen (Methan) aus Güllelagerung
- Die produzierte Energie kann anstatt fossiler Energie eingesetzt werden.
- Allerdings sind zusätzliche Emissionen aus der Errichtung der Biogasanlage und, je nach Substratmix, durch Anbau und Ernte der Biomasse zu berücksichtigen.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
hohe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
N₂O , CH₄ ,
Lachgas, Methan, Gülle, erneuerbare Energie



Q: HBLFA

Abbildung 37: Energieerzeugung aus Wirtschaftsdüngern entspricht Kreislaufdenken und reduziert Treibhausgasemissionen.



Q: Puchas

Abbildung 38: Mit der Biogaserzeugung können landwirtschaftliche Betriebe ihre Energieautarkie verbessern.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 62, 63, 64, 65



Abdeckung bestehender Güllelager

Die Abdeckung bestehender Güllelager trägt zur Reduktion von NH_3 -Emissionen (Ammoniak) und dadurch zu einer erhöhten N-Effizienz bei. Damit wirkt eine Abdeckung indirekt auch als Treibhausgasreduktionsmaßnahme.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung gering bis mittel		

Hintergrund und Lösungsansatz

- Eine vollflächige Abdeckung des Güllelagers vermindert NH_3 -Emissionen.
- Rund 1/3 des Güllelagervolumens in Österreich ist nicht abgedeckt, dies betrifft mehr als 10.000 Betriebe mit mindestens einer nicht abgedeckten Güllegrube.
- Eine diffusionsoffene Abdeckung ist nicht mit einer gasdichten Abdeckung zu verwechseln (letztere würde auch CH_4 -Emissionen vermeiden, gilt aber derzeit als baulich-technisch nicht ausgereift).

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Eine Abdeckung bestehender Güllelager ist mit hohen Kosten verbunden.
- Allerdings verbleiben höhere N Mengen im betrieblichen Kreislauf, dadurch können Düngerzukaufkosten eingespart und/oder die Düngung verbessert werden.
- Da in der Gülle ein höherer N-Gehalt verbleibt, muss für eine N-effiziente Ausbringung der Wirtschaftsdünger gesorgt werden (bodennahe Ausbringung).
- In Summe besteht österreichweit rund 1 Mrd. an Investitionsbedarf, wobei dies überwiegend (> 80 %) der Ammoniak-Reduktion und nur am Rande dem Klimaschutz zuzurechnen ist.
- Baulich-technische Vorfragen sind noch zu klären - C3A-freier Beton wurde für offene Güllelager nicht verwendet, deshalb müsste ein Anstrich (Betonschutz) vorher angebracht werden

Betroffene Treibhausgase
N_2O , CH_4
Lachgas, Methan Gülle

Was ist die Klimawirkung?

- Die Abdeckung vermindert NH_3 -Emissionen, dies reduziert durch verlagerten Stickstoff entstehende N_2O -Emissionen.
- Wenn der N-Umsatz am Betrieb nicht verändert wird, so sinkt der Bedarf an Kraftfutterzukauf und/oder Düngerzukauf und damit die Treibhausgas-Emissionen aus Vorleistungen.



Abbildung 39: Güllelagerabdeckungen helfen gasförmige N-Verluste in Form von Ammoniakemissionen zu verhindern.



Abbildung 40: Schwimmkörper können bei Gülle ohne Schwimmdeckenbildung als Güllelagerabdeckung verwendet werden.

Bodennahe Gülleausbringung



Eine bodennahe Gülleausbringung bewirkt primär eine Reduktion von NH_3 -Emissionen. Über die Verringerung der N-Verluste und die Verbesserung der N-Effizienz wirkt sie in einem kleineren Ausmaß auch als Treibhausgas-Minderungsmaßnahme.

Hintergrund und Lösungsansatz

- Eine bodennahe Ausbringung von Gülle bietet vor allem für größere Betriebe (ab 30 GVE) ohne Steilflächen (>20 %) eine Möglichkeit dafür, Stickstoffverluste zu reduzieren.
- Dies betrifft in Österreich hunderttausende Hektar an mehrjährigem Grünland, Feldfutter und Ackerflächen, auf denen eine bodennahe Ausbringung möglich ist.
- Weitere positive Wirkungen: Höhere gesellschaftliche Akzeptanz vor allem in siedlungsnahen Räumen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Eine bodennahe Ausbringung verursacht höhere Kosten (€ 1,50 bis 2,50 an Mehrkosten/ m^3), bringt aber zugleich auch eine bessere Düngung bzw. verringerte Düngerzukaufkosten.
- Die Ausbringung erfolgt auf Grünland mit Schleppschlauch oder Schleppschuh, auf offenen Ackerflächen auch via Injektionstechnik oder durch unmittelbare Einarbeitung (innerhalb von 4 Std.).
- 2022 wurden im ÖPUL über 5,2 Mio m^3 Flüssigmist zur Förderung für die Maßnahme „bodennahe Gülleausbringung“ beantragt (2020 waren es noch 3,2 Mio m^3).
- In der neuen GAP-Periode ab 2023 wird die bodennahe Gülleausbringung mit € 1,00/ m^3 für Schleppschlauch, € 1,40/ m^3 für Schleppschuh und € 1,40/ m^3 für Injektionstechnik gefördert.

Was ist die Klimawirkung?

- Die Klimaschutzwirkung besteht in einer Minderung der Emission der Treibhausgase N_2O und CH_4 , in Summe über die Prozesskette circa 3 %.
- Die Treibhausgasreduktion macht nur einen Teil der Vorteile aus, der Hauptvorteil liegt in der Ammoniakreduktion.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung gering bis mittel		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
N_2O , CH_4
Lachgas, Methan Gülle



Abbildung 41: Eine bodennahe Ausbringung mit Schleppschuh kann bis zu € 100,- pro Hektar Stickstoffwert einsparen.



Abbildung 42: Mit dem Schleppschuh kann und sollte in die bereits angewachsenen Bestände gedüngt werden.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 69, 70, 71, 72

Energie- und Betriebsmanagement

Erneuerbare Energieträger am Betrieb

Das Ersetzen von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energieträger verbessert die Klimabilanz.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Am Landwirtschaftsbetrieb besteht Energiebedarf vor allem in den Bereichen Wärme (Warmwasser, Heizung), Strom und Traktion (Zugkraft).
- In Summe beträgt der Energieeinsatz in der österreichischen Landwirtschaft circa 23.000.000 GJ (23 Millionen Gigajoule), ca. 25 % davon entfallen auf Wärme und Strom und werden nicht aus erneuerbarer Energie abgedeckt.
- Insbesondere der Strombedarf wird aufgrund der anhaltenden Automatisierung (Melktechnik, Fütterung, Entmistung, Lüftung, Kühlung, Lagerung, ...) auf landwirtschaftlichen, tierhaltenden Betrieben weiter zunehmen.
- Die Landwirtschaft kann traditionell an viele Techniken zur Energiegewinnung wie Wärmerückgewinnung, Kleinwasserkraftwerke, Windenergieanlagen und Biogas anknüpfen und zukunftsorientiert Schritte setzen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Ersetzen der fossilen Energieträger am Betrieb durch erneuerbare Energieformen (z.B. Treibstoffe aus eigener Produktion, Hackschnitzel statt Öl).
- Eigenstromerzeugung (PV-Anlage am Dach, Windenergie) und Deckung des Eigenstromverbrauchs oder zertifizierter Ökostrom statt nationaler Strommix.
- Am Betrieb entstehen Kosten für die Anlagen- und Maschinenumrüstung (Investition) bzw. auch höhere laufende Energiekosten (z.B. für einen Ökostrombezug).

Was ist die Klimawirkung?

- Die Reduktion fossiler Energieträger verringert Treibhausgase.
- Hohe gesellschaftliche Akzeptanz – „der energieautarke Bauernhof“.
- Andererseits bedeutet die Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse eine hohe Flächenkonkurrenz (z.B. Substratanbau für Biogasanlagen), und die Flächenbewirtschaftung erzeugt auch zusätzliche Treibhausgase.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
mittlere Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Treibhausgase aus fossilen Energieträgern



Abbildung 43: PV-Strom verursacht nur 1/6 der Treibhausgase verglichen mit dem nationalen Strommix (Erzeugung der PV-Module bereits eingerechnet).



Abbildung 44: Hackschnitzel ermöglichen erneuerbare Wärmeerzeugung aus heimischer Produktion.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 73, 74, 75



Energieeffiziente Feldarbeit und Maschinen

Eine Verringerung der eingesetzten Treibstoffmengen und eine Steigerung der Kraftstoffeffizienz für Traktoren, Maschinen und landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge verbessern die Klimabilanz im Sektor Landwirtschaft.

Klimaschutz		
Treibhausgas einsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Treibhausgase aus fossilen Energieträgern

Hintergrund und Lösungsansatz

- Auf allen landwirtschaftlichen Betrieben und speziell bei Flächenbewirtschaftung sind Maßnahmen für eine Verringerung der benötigten Treibstoffmengen und für eine Effizienzsteigerung zielführend.
- Ein verringerter Verbrauch und eine höhere Effizienz sind speziell in den Bereichen Zugkraft und Transporte unabdingbar, denn hier sind andere technische Lösungen derzeit kaum verfügbar.
- Bemühungen hinsichtlich einer Verbrauchsreduktion sollten mit Bemühungen um erneuerbare Energieträger Hand in Hand gehen; Betriebe sollten möglichst beide Wege zugleich einschlagen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Beim Kauf und Betrieb von Maschinen ist ein Augenmerk auf den Treibstoffverbrauch zu legen. Arbeitsgänge sollten effizient ausgewählt und ausgestaltet werden, Feld-Hof-Entfernungen sollten gering gehalten werden.
- Durch ein verstärktes Augenmerk auf Wartung, Arbeitseffizienz und betriebliche Abläufe entstehen für den Betrieb höhere Arbeitskosten. Diesen stehen geringere Dieselskosten durch den verminderten Treibstoffeinsatz gegenüber.
- Verbesserte Technikanwendung und Maschinenkonfiguration, Arbeiten bei optimaler Motordrehzahl, erhöhtes Augenmerk und Arbeitseinsatz für Wartung (z.B. Luftfilter), Umrüstung, in Zukunft auch Einsatz von Precision Farming Systemen.

Was ist die Klimawirkung?

- Ein geringerer Treibstoffverbrauch und eine höhere Kraftstoffeffizienz vermindern den Energieeinsatz (derzeit vorwiegend Diesel).
- Die Bemühungen reduzieren daher großteils Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger.



Abbildung 45: In den letzten Jahrzehnten wurden die Abgase reduziert, der Verbrauch allerdings kaum.



Abbildung 46: Gezielte Bemühungen, Maschinenwartung und umsichtige Arbeitsplanung können 10 % und mehr an Treibstoff einsparen.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 76, 77, 78, 79

Energieeffiziente Gebäudetechnik



Eine Verringerung der benötigten Energiemengen und eine Steigerung der Effizienz in den Bereichen Gebäude, Heizung/Kühlung und Strombedarf verbessern die Klimabilanz im Sektor.

Hintergrund und Lösungsansatz

- Je nach Betriebszweig und Ausrichtung entfällt ein großer Teil des Energieverbrauchs auf Wärme und Strom (z.B. Küken- und Ferkelaufzuchtbetriebe, technisierte Milchviehbetriebe).
- Lösungsansätze bestehen durch energieeffizienten Gebäudebau und in der Innenmechanisierung, bspw. in den Bereichen Stallhaltung, Milchkühlung, Konservierung und Lagerung, durch Ansätze wie Dämmung, Wärmerückgewinnung und verbesserte Steuerungs- und Regelungstechnik.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Die Bemühungen für die Energieeffizienzsteigerung bedeuten oftmals erhöhte Arbeits-, Maschinen- und Gebäudekosten, beispielsweise Technik- und Wartungskosten.
- Demgegenüber stehen verringerte Kosten durch den reduzierten Energieeinsatz (Wärme, Strom).
- Mögliche Aktivitäten erstrecken sich von der Energieberatung und Betriebsanalyse über Investitionen in die thermische Sanierung bis hin zu ausgeklügelten und energieeffizienten Systemen.

Was ist die Klimawirkung?

- Eine Verringerung der benötigten Energiemengen reduziert die Emissionen, die mit der Erzeugung von thermischer Energie und Strom verbunden sind.
- Ein geringerer Wärmeverbrauch verbessert die Treibhausgasbilanz. Diese gilt für fossile und für erneuerbare Energieträger, denn beispielsweise auch Hackschnitzel fehlen an anderer Stelle in der Wirtschaft.
- Ein geringerer Stromverbrauch reduziert auch die Verbrennung fossiler Energieträger, da derzeit ungefähr ein Drittel des österreichischen Strombedarfs aus Importen bzw. aus fossilen und nuklearen Kraftwerken gedeckt werden muss.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung gering bis mittel		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Treibhausgase aus fossilen Energieträgern



Abbildung 47: Wärmerückgewinnung, moderne Kessel, Gebäudeautomatisierung und Smart Meter können zu energieeffizienten Gebäuden und Anlagen beitragen.



Abbildung 48: Jeder Energieverbrauch sollte hinterfragt und optimiert werden – je nach Anlagengröße auch manuell.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 80, 81, 82



Maschinenauslastung verbessern

Eine lange Nutzungsdauer und eine hohe Auslastung landwirtschaftlicher Maschinen, bspw. über Maschinengemeinschaften, können Treibhausgasemissionen einsparen.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung gering bis mittel		

Hintergrund und Lösungsansatz

- Häufig ist der Fuhrpark landwirtschaftlicher Betriebe nicht ausgelastet - je nach betrieblicher Situation sollten im Schnitt als untere Grenze 450 Betriebsstunden bei Traktoren bzw. 150 Stunden bei Spezialmaschinen anfallen.
- Mit Blick auf die Treibhausgaseinsparung ist eine hohe Auslastung anzustreben – bereits eine um 5 % verbesserte Maschinenauslastung oder eine um 5 % reduzierte Mechanisierung wären ein maßgeblicher Erfolg.

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Ein Lösungsansatz zielt auf verstärkte überbetriebliche Maschinennutzung; ein anderer auf eine Erhöhung der Nutzungsdauer, speziell durch vermehrte Wartung.
- Für den Betrieb resultieren geringere Fixkosten für Maschinen (z.B. -5%), weil der Bedarf für Neuanschaffungen geringer ist; durch Gemeinschaftsmaschinen sinken die von den Betriebsstunden unabhängigen Reparatur- und Instandhaltungskosten.
- Demgegenüber können höhere betriebsstundenabhängige Kosten anfallen, außerdem ein höherer Zeitaufwand für Maschinengemeinschaften und/oder höhere Kosten für Arbeitsschritte, die ausgelagert werden.
- Je nach Maschine und Arbeitsgang bestehen oft organisatorische Herausforderungen; Gemeinschaftsmaschinen und ausgelagerte Arbeiten sind insbesondere bei selten genutzten Maschinen sinnvoll.

Betroffene Treibhausgase
Fossile Energie in der Vorkette

Was ist die Klimawirkung?

- Durch eine bessere Auslastung von landwirtschaftlichen Traktoren und Maschinen müssen in Summe weniger Geräte produziert werden.
- Dies reduziert die Emissionen beginnend von der Extraktion von Ressourcen (z.B. Eisenerz) über die Schwerindustrie (z.B. Stahlwerk) bis hin zur Landmaschinenfabrik – kurz gesagt, es entstehen weniger Vorleistungsemissionen bei der Maschinenherstellung in anderen Wirtschaftssektoren.



Abbildung 49: Die Optimierung von Arbeitserledigung, Schlagkraft und Mechanisierungskosten ist eine der wichtigen Managementaufgaben am Betrieb.



Abbildung 50: Durch überbetriebliche Zusammenarbeit steigt die Maschinenauslastung und die Fixkostenbelastung sinkt.

Klimacheck für landwirtschaftliche Betriebe

Ein Bewertungsinstrument für einen „Klimacheck“ ermöglicht es Entscheidungsträgern am Betrieb, Handlungsspielräume einfach und praktikabel festzustellen.



Hintergrund und Lösungsansatz

- Vielfach bestehen große Spielräume in Hinblick auf eine klimateffiziente Produktion. Diese werden mithilfe eines „Klimachecks“ sichtbar, und Einsparungen können vergleichsweise einfach erreicht werden.
- Praktikable Instrumente für einen „Klimacheck“ sollten alle Betriebszweige einschließen. Sie ermöglichen häufig Verbesserungen von 20 % und mehr.
- Es gibt bereits viele Ansätze und Tools, allerdings stecken die Bildungs- und Beratungsangebote zu diesem Thema noch in den Kinderschuhen.

Was bedeutet das für den Betrieb?

- Ein Betrieb kann von sich aus aktiv werden und sich dafür entscheiden, eine Klimabilanz zu rechnen. Diese kann Potenziale und Handlungsspielräume zur Minderung von Emissionen eröffnen.
- Unterschiedliche Software ist bereits auf Betrieben im Einsatz, beispielsweise „AgriClimateChange“, „TEKLa“, „CoolFarmTool“ und „FarmLife“ (www.farmlife.at), wobei diese meistens eine begleitende Schulung/Beratung erfordern.
- Auch die Nutzung fach einschlägiger Bildungs- und Beratungsangebote kann die betrieblichen Kompetenzen und die Produktionseffizienz steigern.

Was ist die Klimawirkung?

- Das Sichtbarmachen von Spielräumen kann klimafreundliche Handlungen unterstützen.
- Ein „Klimacheck“ als Hilfsmittel zur Analyse der betrieblich verursachten Klimawirkungen zeigt konkrete Ansatzpunkte für mögliche Treibhausgas-Einsparungen.

Klimaschutz		
Treibhausgaseinsparung mittel bis hoch		

Kostenwirkung		
€	€€	€€€
geringe Kosten		

Betroffene Treibhausgase
Fossile Energie, Lachgas, Methan



Abbildung 51: Ein „Klimacheck“ kann Zahlen liefern und betriebliche Entscheidungen unterstützen – von Jahr zu Jahr werden bessere Tools entwickelt.



Abbildung 52: Klimaschutz ist wichtig – gegenüber dem globalen Effekt trifft die Erwärmung Österreich ungefähr doppelt so stark.

Wissenschaftliche Literatur Verz. Nr.: 86, 87, 88, 89

Weitere diskutierte Minderungsoptionen

Unter dem Stichwort Klimaschutz werden verschiedenste Maßnahmen und Ideen diskutiert. Abhängig von der einzelbetrieblichen Situation können bestimmte Optionen durchaus Sinn ergeben. Einige Ansätze wurden nicht in diese Broschüre aufgenommen, weil sie zu uneinheitlichen Ergebnissen führen und nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile mit sich bringen. Für andere Ansätze wiederum fehlt die wissenschaftliche Absicherung dazu, dass tatsächlich Treibhausgase eingespart werden.

Ackerbau/Feldfutter

- Kohlenstoffeinlagerung durch einen Aufbau organischer Bodensubstanz ist für die Bodenfruchtbarkeit essentiell, stellt aber keine kurzfristig abschließbare Klimaschutzmaßnahme dar. Entsprechende Aktivitäten müssen über viele Generationen aufrecht bleiben.
- Fruchtfolge und Zwischenfruchtbau bieten Vorteile und wenn weniger Nitrat ausgewaschen wird, fallen weniger indirekte N₂O-Emissionen an. Mögliche Treibhausgasvorteile hängen von Faktoren wie Boden und Fruchtfolge ab und ein Einarbeiten von Ernteresten kann die N₂O-Emissionen auch erhöhen.
- Die Ausbringung von Pflanzenkohle kann für die Kohlenstoffeinlagerung Vorteile bringen, allerdings sind die Erkenntnisse dazu unzureichend, und die großflächige Umsetzung würde einen hohen Energieaufwand in der Herstellung bedeuten.
- Als N-Inhibitoren werden bei der Düngung zugesetzte Hemmstoffe bezeichnet, die eine verzögerte N-Freisetzung bewirken sollen. Viele Studien haben bereits vielversprechende Wirkungen gezeigt; die Diskussion über N-Inhibitoren ist aber noch nicht abgeschlossen.
- Ein effizienter Einsatz von Bewässerungstechnik könnte durch verminderte Ernteauffälle indirekte Vorteile im Klimaschutz erbringen, allerdings bestehen auch Zielkonflikte.
- Die Nicht-Bewirtschaftung von Mooren und eine Verringerung der Torfverwendung reduzieren CO₂-Emissionen, für eine großflächige Umsetzung fehlt es aber noch an Daten und Interventionsmöglichkeiten.
- Auch eine Umwandlung von Ackerflächen zu Dauergrünland könnte Treibhausgase einsparen, führt jedoch zu produktionsseitigen Konflikten, z.B. bei Selbstversorgung und Getreideimport.

Acker-/Grünlandnutzung

- Agroforstsysteme sind vielversprechende, aber langfristige Maßnahmen und in der Gesamtwirkung noch wenig erforscht. Auf Betriebsebene bietet die Anlage von Baumreihen auf Feldern/Wiesen Chancen für die Anpassung an den Klimawandel.
- Eine stärkere Integration von Ackerbau- und Viehzucht könnte durch eine Schließung von Nährstoffkreisläufen zu Vorteilen führen und die regionale Konzentration von Nährstoffen reduzieren.
- Inwieweit eine reduzierte Bewirtschaftung von extensiven Lagen insgesamt zu weniger Treibhausgasen führt, oder ob eine damit einhergehende Intensivierung auf anderen Standorten zu höheren Emissionen führt, ist bislang wenig erforscht.
- Auf nationaler Ebene könnte eine Landnutzungs- und Lebensmittelstrategie, mit der die Ziele von Landwirtschaft und Tourismus stärker verbunden werden, zu Vorteilen führen.
- Landwirtschaftliche Flächen sollten aus Klimaschutzsicht nicht zu Siedlungs- und Verkehrsflächen umgewandelt und nicht versiegelt werden.

Grünland/Wiederkäuer

- Eine höhere Grundfutterqualität für Wiederkäuer kann Emissionen aus der der Pansenfermentation reduzieren, hat aber Nachteile durch die intensivere Bewirtschaftung.
- In der Gesamtsystemsicht könnte ein vermehrter Einsatz von Zweinutzungsrassen einen geringeren Treibhausgasfußabdruck bedeuten, die Bewertung am Einzelbetrieb ist aber nicht eindeutig und es sprechen auch Punkte für milchbetonte Rassen.
- Unterschiedliche Techniken für Futterwerbung und -konservierung (Heu, Grassilage, Eingrasen) haben vielfältige treibhausgasrelevante Folgen; eine einheitliche Aussage ist nicht möglich.

Wirtschaftsdüngermanagement

- Eine gasdichte Abdeckung von Güllelagern gilt derzeit nicht als machbarer Stand der Technik.
- Gülleseparierung kann Treibhausgase einsparen, benötigt aber Energie. Der Gesamtvorteil hängt an der betrieblichen Nutzung des Substrats (z.B. Kompoststall).
- Festmistssysteme erzielen verschiedene Vorteile, führen aber ebenfalls zu relevanten Treibhausgas-Emissionen.
- Bisher sind keine Güllezusatzstoffe für eine nachhaltige Treibhausgasreduzierung bekannt.
- Saubere Flächen im Stall leisten einen Beitrag zur Emissionsminderung.

Energie- und Betriebsmanagement

- Eine Energieproduktion mit Photovoltaik, Windkraft oder Reststoffen (Biogas) am Hof und auf ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen vermeidet Zielkonflikte mit der Lebensmittelerzeugung.
- Die flächengebundene Energieproduktion aus landwirtschaftlicher Biomasse kann fossile Energieträger ersetzen, steigert jedoch Treibhausgasemissionen aus der Landbewirtschaftung.
- Ganz allgemein gilt, dass gutes Management und gute fachliche Praxis dazu beitragen, Treibhausgase zu vermindern.
- Nachgelagerte Produkttransporte führen zu Treibhausgasemissionen und sollten reduziert werden, sie liegen aber oft außerhalb des betrieblichen Einflussbereiches.
- Biologische Landwirtschaft und Tierhaltung erbringen in der Flächenbilanz weniger Treibhausgase; die Gesamtwirkung ist aufgrund geringerer Erträge Gegenstand von Diskussionen.

Diese Broschüre wurde den landwirtschaftsseitig möglichen Beiträgen zum Klimaschutz gewidmet. Nicht zuletzt möchten wir ganz deutlich darauf hinweisen, dass sowohl der sorgsame Umgang mit produzierten Lebensmitteln bei der Verarbeitung, im Handel und seitens der Konsumentinnen und Konsumenten als auch die Art und Weise der Ernährung ganz wesentliche Minderungsbeiträge erbringen.

Aktuelle Zahlen für die Landwirtschaft in Österreich

Die folgende Abbildung zeigt, in welchen Bereichen der Landwirtschaft in Österreich inkl. vorgelagerte Wirtschaftskette derzeit viele Treibhausgas-Emissionen anfallen (Stand 2020).

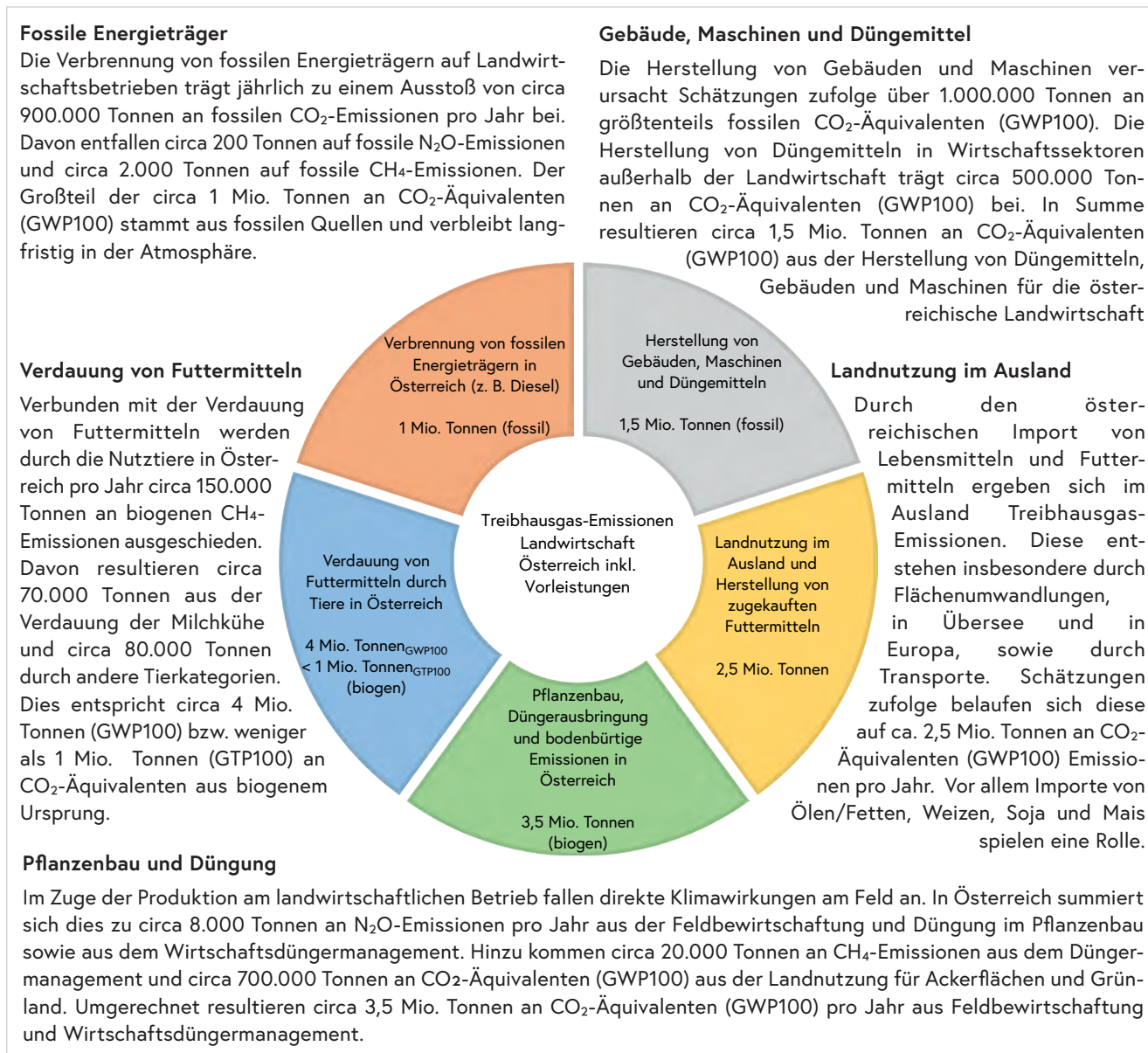


Abbildung 57: Schematische Darstellung der österreichischen Treibhausgas-Emissionen durch die landwirtschaftliche Produktion

Literaturverzeichnis

Ackerbau

- 1) Antille, D. L., Chamen, W. C., Tullberg, J. N., Lal, R. (2015). The potential of controlled traffic farming to mitigate greenhouse gas emissions and enhance carbon sequestration in arable land: a critical review. *Transactions of the ASABE*, 58 (3), 707-731.
- 2) Gasso, V., Sørensen, C. A., Oudshoorn, F. W., Green, O. (2013). Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts. *European Journal of Agronomy*, 48, 66-73.
- 3) Flessa, H., Müller, D., Plassmann, K., Osterburg, B., Techen, A.-K., Nitsch, H., Nieberg, H., Sanders, J., Meyer zu Hartlage, O., Beckmann, E. (2012). Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. Thünen Institut.
- 4) Krauss, M., Berner, A., Perrochet, F., Frei, R., Niggli, U., Mäder, P. (2020). Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic farming – a synthesis of 15 years. *Sci. Rep.*, 10 (1), 1-12.
- 5) Ogle, S.M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F.J., McConkey, B., Regina, K., Vazquez-Amabile, G. G. (2019). Climate and soil characteristics determine where no-till management can store carbon in soils and mitigate greenhouse gas emissions. *Sci. Rep.* 9, 11665. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>.
- 6) Powlson, D.S., Stirling, C., Jat, M. Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A., Cassman, K.G. (2014). Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* 4 (8), 678–683. <https://doi.org/10.1038/nclimate2292>.
- 7) Sørensen, C. G., Halberg, N., Oudshoorn, F. W., Petersen, B. M., Dalgaard, R. (2014). Energy inputs and GHG emissions of tillage systems. *Biosystems Engineering*, 120, 2-14.
- 8) Bellof, G, Specht, M. (2022). Szenarien für den Anbau und die Verwertung von Leguminosen und Körnerraps in Deutschland im Jahr 2030, Berichte über Landwirtschaft – Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Bd. 100, Heft 2. <https://doi.org/10.12767/buel.v100i2.417>.
- 9) Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4, 2. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>.
- 10) Schmeer, M., Loges, R., Dittert, K., Senbayram, M., Horn, R., Taube, F. (2014). Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. *Soil and Tillage Research*, 143, 17-25. ISSN: 0167-1987. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.05.001>.
- 11) Cusworth, G., Garnett, T., Lorimer, J. (2021). Legume dreams: The contested futures of sustainable plant-based food systems in Europe. *Global Environmental Change*, 69, 102321. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102321>.
- 12) Lehner, D., Mayr, T., Starz, W., Gollner, G., Pfister, R., Rohrer, H., Friedel, J. K. (2019). Eignung des Anbaues von Körnerleguminosen zur Humanernährung im Alpenvorland. *Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft. Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Kassel, 5. bis 8. März 2019.
- 13) Rööf, E., Carlsson, G., Ferawati, F., Hefni, M., Stephan, A., Tidåker, P., Witthöft, C. (2020). Less meat, more legumes: Prospects and challenges in the transition toward sustainable diets in Sweden. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(2), 192-205. <https://doi.org/10.1017/S1742170518000443>.
- 14) Drexler, S., Gensior, A., Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Regional Environmental Change* 21.3 (2021): 1-14.
- 15) Erhardt, E., Ableidinger, C., Sandler, K., Kromp, B., Hart, W. (2020). Forschungsstudie Klimaschutz durch Bodenschutzanlagen im Rahmen des Projektes ATCZ142 Klimagrün – Klimatická zeleň, Endbericht, Bio Forschung Austria, Wien, 81 Seiten.
- 16) Don, A., Bußfeld, C., Oles, B., Renser, S., Freibauer, A. (2015). Optimierung von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen hinsichtlich der Treibhausgasbindung/-frei-

setzung und Überprüfung von Möglichkeiten zur Implementierung in Bewertungssystematiken der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung. Kurztitel: Kompensation & Klimaschutz, Abschlussbericht, uventus GmbH, Thünen-Institut.

Ackerbau/Grünland

- 17) Foldal, C. B., Kasper, M., Ecker, E., Zechmeister-Boltenstern, S. (2019). Evaluierung verschiedener ÖPUL Maßnahmen in Hinblick auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen, insbesondere Lachgas. Projektendbericht, Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien.
- 18) Schroeck, A. M., Gaube, V., Haas, E., Winiwarter, W. (2019). Estimating nitrogen flows of agricultural soils at a landscape level – a modelling study of the Upper Enns Valley, a long-term socio-ecological research region in Austria. *Science of The Total Environment*, 665, 275-289, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.071>.
- 19) Kasper, M., Foldal, C., Kitzler, B., Haas, E., Strauss, P., Eder, A., Zechmeister-Boltenstern, S., Amon, B. (2019). N₂O emissions and NO₃⁻ leaching from two contrasting regions in Austria and influence of soil, crops and climate: a modelling approach. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 113, 95-111. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9965-z>.
- 20) Smith, K. A., (2017). Changing views of nitrous oxide emissions from agricultural soil: key controlling processes and assessment at different spatial scales. *Europ. Jnl. of Soil Sci.*, 68, Issue 2. <https://doi.org/10.1111/ejss.12409>.
- 21) Pulido-Moncada, M., Petersen, S.O., Munkholm, L.J. (2022). Soil compaction raises nitrous oxide emissions in managed agroecosystems. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 42, 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00773-9>.
- 22) Marx K., Jacobs A. (2020). SOILAssist-Teilprojekt ‚Akzeptanz und Implementierung‘: Analyse behördlicher Handlungsempfehlungen zur Vermeidung von Bodenverdichtung auf Ackerböden. Braunschweig: Thünen-Institut, 175 S., Thünen Working Paper 160, DOI:10.3220/WP1604915142000
- 23) Bohner, A., Gehmacher, P., Bodner, G., Strauss, P. (2017). Bodenverdichtung im Dauergrünland und ihre Auswirkung auf die Grünlandvegetation. *Die Bodenkultur: Jnl. of Land Management, Food and Environment*, 68 (2), 113-129.
- 24) Eckart, L., Kantelhardt, J., Schaller, L. L. (2022). Die Nutzungs- und Betriebsstruktur auf landwirtschaftlich genutzten Moorböden in Österreich und deren Bedeutung für klimaangepasste Managementoptionen.
- 25) Hansjürgens, B., Schröter-Schlaack, C., Berghöfer, A. (2019). Moore und Klimaschutz: eine ökonomische Sicht, *Earth System Knowledge Platform*. <https://doi.org/10.2312/eskp.011>.
- 26) Tiemeyer, B., Bechtold, M., Belting, S., Freibauer, A., Förster, C., Schubert, E., Dettmann, U., Frank, S., Fuchs, D., Gelbrecht, J., Jeuther, B., Laggner, A., Rosinski, E., Leiber-Sauheitl, K., Sachteleben, J., Zak, D., Drösler, M. (2017). Moorschutz in Deutschland – Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen. *BfN Skripten*, 462, 320 S.

Grünland/Wiederkäuer

- 27) Don A., Flessa, H., Marx, K., Poeplau, C., Tiemeyer, B., Osterburg, B. (2018). Die 4-Promille-Initiative "Böden für Ernährungssicherung und Klima" - Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland. Braunschweig: Thünen-Institut, 37 S., Thünen Working Paper 112, DOI:10.3220/WP1543840339000.
- 28) Schmeer, M., Loges, R., Taube, F. (2011). Stickstoffflüsse im System Boden-Pflanze nach einer Grünlanderneuerung mit eingeschobener Ackerzwecknutzung. *Tagungsband der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Bd. 1, 105-108. http://orgprints.org/17609/3/Loges_17609.pdf.
- 29) Maguy, E., Klumpp, K., Sauvart, D. (2021). Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass and Forage Sci.*, 76, Issue 2. <https://doi.org/10.1111/gfs.12540>.
- 30) Resch, R. (2015). Der Pflanzenbestand als Basis hoher Futterqualität im Grünland. Bericht über das 20. Alpenländische Expertenforum, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 61-76.

- 31) Horn, M., Steinwidder, A., Gasteiner, J., Podstatzky, L., Haiger, A., Zollitsch, W. (2013). Suitability of different dairy cow types for an Alpine organic and low-input milk production system, *Livestock Sci.*, 153, Issues 1–3, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.01.011>.
- 32) Hörtenhuber, S. J., Lindenthal, T., Zollitsch, W. (2011). Reduction of greenhouse gas emissions from feed supply chains by utilizing regionally produced protein sources: the case of Austrian dairy production, *Jnl. of the Science of Food and Agriculture*, 91, Issue 6, 1118-1127. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4293>.
- 33) Grassauer, F., Herndl, M., Iten L. and Gaillard G. (2022). Environmental Assessment of Austrian Organic Dairy Farms With Closed Regional Production Cycles in a Less Favorable Production Area. *Front. Sustain. Food Syst.*, 6: 817671. doi: 10.3389/fsufs.2022.817671.
- 34) Lorenz, H., Reinsch, T., Hess, S., Taube, F. (2019). Is low-input dairy farming more climate friendly? A meta-analysis of the carbon footprints of different production systems, *Jnl. of Cleaner Production*, 211, 161-170, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.113>.
- 35) Zehetmeier, M., Läßle, D., Hoffmann, H., Zerhusen, B., Strobl, M., Meyer-Aurich, A., Kapfer, M. (2020). Is there a joint lever? Identifying and ranking factors that determine GHG emissions and profitability on dairy farms in Bavaria, Germany, *Agricultural Systems*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102897>.
- 36) Koster, B., Hufschmid, J. (2022). Technischer Bericht – Herleitung der Bewertung der Klimaschutzmassnahmen. Zum Projekt: Klimaschutz beim Rindvieh – Resultate aus dem Projekt Klimaschutz in der Rindviehwirtschaft. Agridea, Lindau/Lausanne/Cadenazzo. <https://www.agridea.ch/de/themen/klimawandel/>.
- 37) Dallago, G.M., Wade, K.M., Cue, R.I., McClure, J.T., Lacroix, R., Pellerin, D., Vasseur, E. (2021). Keeping Dairy Cows for Longer: A Critical Literature Review on Dairy Cow Longevity in High Milk-Producing Countries. *Animals*, 11, 808. <https://doi.org/10.3390/ani11030808>.
- 38) Eugène, M., Klumpp, K., Sauvant, D. (2021). Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass Forage Sci.*, 76, 196-204. <https://doi.org/10.1111/gfs.12540>.
- 39) Zehetmeier, M., Zickgraf, W., Effenberger, M., Zerhusen, B. (2017). Treibhausgas-Emissionen in bayerischen landwirtschaftlichen Betrieben. Verknüpfung von erhobenen Betriebsdaten, Modellen und Geodaten als Grundlage für die Bewertung von Treibhausgas-Vermeidungsoptionen. *LfL*, 96 S., ISSN 1611-4159.
- 40) Mißfeldt, F., Mißfeldt, R., Kuwan, K. (2015). Zur ökonomisch optimalen Nutzungsdauer von Milchkühen. *Züchtungskunde* 2 (87), 120-143.
- 41) Fritz, C., Grassauer, F., Terler, G. (2021). Abschätzung von Treibhausgas-Vermeidungskosten: Methodik und Anwendung am Beispiel eines erhöhten Weidefutteranteils auf rinderhaltenden Betrieben in Österreich. *Austrian Jnl. of Agric. Econ. and Rur. Studies*, 30.4. <https://oega.boku.ac.at/de/journal/journal-informationen.html>. DOI 10.15203/OEGA_30.4.
- 42) Lorenz, H., Reinsch, T., Hess, S., Taube, F. (2019). Is low-input dairy farming more climate friendly? A meta-analysis of the carbon footprints of different production systems, *Jnl. of Cleaner Production*, 211, 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.113>.
- 43) Steinwidder, A., Starz, W., Rohrer, H., Pfister, R., Terler, G., Velik, M., Häusler, J., Kitzler, R., Schauer, A., Podstatzky, L. (2019). Weideochsenmast ohne Kraftfutter. *Züchtungskunde*, 91, 329-359.
- 44) Wolfthaler, J., Steinwidder, A., Frey, H., Hofstetter, P., Gazzarin, C., Kirchwegger, S., Kattelhardt, J., (2017). Stall- und weidebasierte Milchproduktionssysteme – Modellbetriebsanalysen zur Wirtschaftlichkeit unter österreichischen Produktionsbedingungen. Bericht über die 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weihenstephan, 480-483.
- 45) Knaus, W. (2015). Perspectives on pasture versus indoor feeding of dairy cows, *Jnl. of the Science of Food and Agriculture*, 96, Issue 1, 9-17. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7273>.

Fütterung

- 46) Hristov, A. N., Melgar, A., Wasson, Arndt, C. (2022). Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *Jnl. of Dairy Sci.*, 105, Issue 10, 8543-8557. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21398>.
- 47) Belanche, A., Newbold, C.J., Morgavi, D.P., Bach, A., Zweifel, B., Yáñez-Ruiz, D.R. (2020). A metaanalysis describing the effects of the essential oils blend agolin ruminant on performance, rumen fermentation and methane emissions in dairy cows. *Animals* 2020, 10, 620. <https://doi.org/10.3390/ani10040620>.
- 48) Beauchemin, K.A., Ungerfeld, E.M., Eckard, R.J., Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation, *Animal*, 14, Supplement 1, 2-16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>.
- 49) Powell, J.M. and Rotz, C.A. (2015). Measures of nitrogen use efficiency and nitrogen loss from dairy production systems. *Jnl. Environ. Qual.*, 44, 336-344. <https://doi.org/10.2134/jeq2014.07.0299>.
- 50) Pierer, M., Amon, B., Winiwarter, W. (2016). Adapting feeding methods for less nitrogen pollution from pig and dairy cattle farming: abatement costs and uncertainties. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 104, 201-220.
- 51) Schneider, L., Volkmann, N., Kemper, N., Spindler, B. (2020). Feeding behavior of fattening bulls fed six times per day using an automatic feeding system. *Frontiers in veterinary science*, 7, 43.
- 52) Guggenberger, T. (2012). Management und Fütterung von Maststieren unter österreichischen Bedingungen, Bericht über die 5. Tierärztetagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 43-48.
- 53) Steinwider, A., Ertl, P, Guggenberger, T., Häusler, J., Starz, W. (2017). Analyse zur Netto-Lebensmittelproduktion und zum Ackerflächenbedarf von Rindermastsystemen, *Züchtungskunde*, 89 (3), 205-218.
- 54) Müller Richli, M., Scheeder, M. (2019). Schweinefleisch: gute Mastergebnisse trotz reduziertem Rohproteingehalt im Futter. *Agrarforschung Schweiz*, 10 (4), 156-163.
- 55) Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N. (2017). Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Sci. & Policy*, 77, 130-139.
- 56) Pierer, M., Amon, B., Winiwarter, W. (2016). Adapting feeding methods for less nitrogen pollution from pig and dairy cattle farming: abatement costs and uncertainties. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 104, 201-220.
- 57) Sollberger, E, Bracher, A., Burren, C., Spring, P. (2013). Stickstoffeffizienz in der Schweinemast, *Agrarforschung Schweiz*, 4 (1), 10-15.
- 58) Hörtenhuber, S. J, Theurl, M. C., Piringner, G., Zollitsch, W. J. (2019). Consequences from land use and indirect/direct land use change for CO2 emissions related to agricultural commodities [Internet]. In: Loures, L. (ed) *Land use – assessing the past, envisioning the future*. IntechOpen. ISBN 978-1-78985-704-7. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80346>.
- 59) Wolff, V., Alig, M., Nemecek, T., Gaillard, G. (2016). Ökobilanz verschiedener Fleischprodukte. Geflügel-, Schweine- und Rindfleisch. Projektendbericht „EnviMeat“. Fassung Dez. 2016. Agroscope, Zürich.
- 60) Zu Ermgassen, E. K., Phalan, B., Green, R. E., Balmford, A. (2016). Reducing the land use of EU pork production: where there's will, there's a way. *Food policy*, 58, 35-48.
- 61) Meul, M., Ginneberge, C., E. Van Middelaar, C., De Boer, I. J.M., Fremaut, D., Haesaert, G. (2012). Carbon footprint of five pig diets using three land use change accounting methods, *Livestock Sci.*, 149, Issue 3, 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.07.012>.

Wirtschaftsdüngermanagement

- 62) Møller, H. B., Sørensen, P., Olesen, J. E., Petersen, S. O., Nyord, T., Sommer, S. G. (2022). Agricultural biogas production – climate and environmental impacts. *Sustainability*, 14 (3), 1849.

- 63) KTBL (2019). Biogas in der Landwirtschaft. Tagungsband zum FNR/KTBL-Kongress vom 09. bis 10. September 2019, Leipzig. <https://www.ktbl.de/themen/biogas-tagung>.
- 64) Vergote, T. L. I., Vanrolleghem, W. J. C., Van der Heyden, C., De Dobbelaere, A. E. J., Buysse, J., Meers, E., Volcke, E. I. P. (2019). Model-based analysis of greenhouse gas emission reduction potential through farm-scale digestion. *Biosystems Engineering*, 181, 157-172. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.005>.
- 65) Zethner, G., Süßenbacher, E. (2012). Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen. Evaluierung hinsichtlich Klimaschutzrelevanz. Umweltbundesamt, REP-0377, Wien.
- 66) Cárdenas, A., Ammon, C., Schumacher, B., Stinner, W., Herrmann, C., Schneider, M., Weinrich, S., Fischer, P., Amon, T., Amon, B. (2021). Methane emissions from the storage of liquid dairy manure: Influences of season, temperature and storage duration, *Waste Management*, 121, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.026>.
- 67) KTBL (2021). Gasdichte Lagerung von Rinder- und Schweinegülle. Eine Maßnahme zur Minderung und Vermeidung von klimarelevanten Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.
- 68) Pöllinger, A., Zentner, A., Zentner, E., Kropsch, M., Zefferer, A. (2019). Stallbaulich-technische Möglichkeiten zur Umsetzung der NEC Richtlinie in der Rinderhaltung. Bericht über die Bautagung Raumberg-Gumpenstein, 41-44.
- 69) Schwaiger, E., Anderl, M., Gössl, M., Storch, A., Huber, S., Lindinger, H., Loishandl-Weiß, H., Nemetz, S., Gabriel, O., Offenzeller, M., Ortner, R., Schwarzl, B., Sedy, K., Dersch, G., Stampfer, K., Hambrusch, J., Tribl, C., Guggenberger, T. (2019). Zusammenfassende Bewertung der Auswirkungen des Programms LE 14-20. Endbericht. Umweltbundesamt, Wien.
- 70) Sajeev, M. E. P., Winiwarter, W., Amon, B. (2018). Greenhouse gas and ammonia emissions from different stages of liquid manure management chains: Abatement options and emission interactions. *Jnl. Environ. Qual.*, 47, 30-41. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.05.0199>.
- 71) Hou, Y., Velthof, G. L., Oenema, O. (2015). Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and integrated assessment. *Global change biology*, 21 (3), 1293-1312.
- 72) Pöllinger-Zierler, A., Zentner, A. (2022). Wirtschaftsdüngermanagement NEU im Hinblick auf Klimaschutz und Klimawandelanpassung, Tagungsband zum 8. Umweltökologischen Symposium, Klimaschutz und Klimaanpassung, 79-84.

Energie- und Betriebsmanagement

- 73) Gerhards, C., Schubert, L., Lenz, C., Wittmann, F., Richter, D., Volz, B. (2022). Agri-PV – Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 1/2022.
- 74) Alig, M., Prechsl, U., Schwitter, K., Waldvogel, T., Wolff, V., Wunderlich, A., Zorn, A., Gaillard, G., (2015). Ökologische und ökonomische Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen zur Umsetzung auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schweiz. *Agroscope*, Zürich, *Agroscope Science*, 29, 160.
- 75) Wendl, G., Schäfer, R., Neser, S., Neiber, J., Bonkoß, K., Burger, F., Effenberger, M., Djatkov, D., Ebertseder, F., Kissel, R., Eber, A., Schober, J., Graf, J., Keymer, U., Mild, H., Pirkelmann, M. (2012). *Energiewende und Landwirtschaft*. Schriftenreihe LfL, 12/2012, ISSN 1611-4159.
- 76) Maier, S., Szerencsits, M., Narodoslowsky, M., Ismail, I. I. M. I., Shahzad, K. (2017). Current potential of more sustainable biomass production using eco-efficient farming practices in Austria, *Jnl. of Cleaner Production*, 155, Part 1, 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.037>.
- 77) Krausmann, F. (2016). From energy source to sink: Transformations of Austrian agriculture. In: Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Winiwarter, V. (eds) *Social Ecology. Human-Environment Interactions*, 5. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33326-7_21.
- 78) Moitzi, G., Schueller, M., Szalay, T., Wagentristl, H., Refenner, K., Weingartmann, H., Boxberger, J., Gronauer, A. (2013). Energy Consumption and Energy Efficiency of

- Different Tillage Systems in the Semi-Arid Region of Austria. *Agricultural Engineering*, 4, 25-33, ISSN 0554-5587.
- 79) Theurl, M.C., Hörtenhuber, S., Surböck, A. (2015). Energieeffiziente Bodenbearbeitung im biologischen Ackerbau. Bericht über die 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, HNE Eberswalde (eds), 15-18.
- 80) Paris, B., Vadorou, F., Tyris, D., Balafoutis, A. T., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Papadakis, G. (2022). Energy use in the EU livestock sector: A review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption. *Appl. Sci.*, 12 (4), 2142.
- 81) Simon, J., Oberhardt, F., Jiang, Y., Winter, S., Helm, S., Richter, K., Weber-Blaschke, G., Dietsch, P. (2021). Holz beim Stallbau – beständig, nachhaltig und wirtschaftlich? Bericht über die Bautagung Raumberg-Gumpenstein, 75-81.
- 82) Guggenberger, T., Herndl, M., Finotti, E., Ofner-Schröck, E. (2017). Life Cycle Assessment in Austrian agriculture-influence factors of agricultural buildings. Bericht über die Bautagung Raumberg-Gumpenstein, 35-44.
- 83) Grassauer, F., Herndl, M., Nemecek, T., Fritz, C., Guggenberger, T., Steinwider, A., Zollitsch, W. (2022). Assessing and improving eco-efficiency of multifunctional dairy farming: The need to address farms' diversity. *Jnl. of Cleaner Production*, 338, 130627. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130627>.
- 84) Doering, O. C. (2019). Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: *Handbook of energy utilization in agriculture*, 9-14. CRC Press.
- 85) Tunkel, C. (2018). Vergleichende Ökobilanz (LAC) und Live Cycle Costing (LCC) der langen und kurzen Traktornutzung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten. Masterarbeit, Univ. f. Bodenkultur.
- 86) Ellinghausen, M., Wiggering, H. (2023). Klimarechner in der Landwirtschaft – ein Treibhausgasbilanzierungstool auf dem Prüfstand. *Berichte über die Landwirtschaft, Zeitschr. für Agrarpolitik und Landwirtschaft*, Bd. 101, Ausg. 1, 44.
- 87) Koster-Marbot, B., Bretscher, D., (2020). Landwirtschaftliche Klima-Tools, eine vergleichende Übersicht ausgewählter Methoden, zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen von landwirtschaftlichen Betrieben. Überlegungen zu Möglichkeiten und Grenzen von Klima-Tools als Hilfsmittel zur Reduktion der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen, 46.
- 88) Peter, C., Helming, K., Nendel, C. (2017). Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices? – A review of carbon footprint calculators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 461-476. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.059>.
- 89) Alasdair J.S, Cairistiona F.E. T., Ron M. W., Gillian R., Robert M. R. (2017). A comparison of farm-level greenhouse gas calculators in their application on beef production systems, *Jnl. of Cleaner Production*, 164, 398-409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.197>.

Bericht

Klimaschutz in der Landwirtschaft

Herausgeber:

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein,
A-8952 Irdning-Donnersbachtal

Druck, Verlag und © 2023

ISBN: 987-3-902849-99-1