



Maßnahmen THG-Reduktion

Endbericht zum Projekt Nr. 101324 / 2. Analyse der Effizienz von
Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen



Endbericht zum Projekt Maßnahmen THG-Reduktion

Nr. 101324 / 2

**Analyse der Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von
Treibhausgas-Emissionen in der österreichischen Landwirtschaft**

**Analysis of the efficiency of measures to reduce greenhouse gas
emissions in Austrian agriculture**

Projektleitung:

Mag. Christian Fritz, MA, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

ProjektmitarbeiterInnen:

Sigrid Brettschuh, Mag.^a Elisabeth Finotti, Dr. Florian Grassauer, Dr. Thomas Guggenberger, Dr.ⁱⁿ Birgit Heidinger, Dr. Markus Herndl, DI Andreas Klingler, DI Alfred Pöllinger, Dr. Andreas Steinwidder, Dr. Georg Terler, DI Andreas Zentner
Alle HBLFA Raumberg-Gumpenstein

ProjektpartnerInnen:

Ing. Lukas Kaupe und DI Magdalena Stöttinger
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, Abt. II/8
Dr.ⁱⁿ Adelheid Spiegel
Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH

Autor:

Mag. Christian Fritz, MA
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Raumberg 38
A-8952 Irdning-Donnersbachtal
Email: christian.fritz@raumberg-gumpenstein.at
Web: www.raumberg-gumpenstein.at

Irdning-Donnersbachtal, Sept. 2022

Inhalt

1. Einleitung und Zielsetzung	6
2. Methode THG-Vermeidungskosten	7
2.1. Zielfestlegung und Maßnahmenauswahl	7
2.2. Reduktionspotenziale und Kosten-/Erlöswirkung	10
2.3. Maßnahmindarstellung, Reihung und Interpretation.....	10
3. Optionen Ackerbau.....	12
3.1. Bodenbearbeitung reduzieren.....	12
3.2. N-Düngung in Fahrspuren reduzieren	13
3.3. Bodenverdichtung und Befahrung.....	14
3.4. Mineralische N-Düngung anpassen	15
3.5. Mineralische N-Düngung auf N-Hotspots reduzieren	16
3.6. Futterleguminosen in der Fruchtfolge	17
3.7. Körnerleguminosen in der Fruchtfolge	18
3.8. Hecken an Feldrändern auf Ackerland	19
3.9. Umbruchloser Erhalt des Ackerstatus.....	20
4. Optionen Grünland/Wiederkäuer	21
4.1. Umbruchlose Erneuerung von Dauergrünland.....	21
4.2. Grundfutterqualität und -menge am Standort optimieren.....	22
4.3. Milchleistung gemäß Standortpotenzial umsetzen	23
4.4. Tiergesundheit und Nettotonutzungsdauer Milchkühe	24
4.5. Weideanteil bei Milch- und Mastrindern erhöhen	25
4.6. Direkte Reduktion der Methanbildung aus Pansen	26
4.7. Bestand Mastrinder, Milchkühe, Mutterkühe verlagern	27
4.8. Proteinoptimierung Fütterung Stiere	28
5. Optionen Schweine und Geflügel	29
5.1. Phasenfütterung N-optimiert Monogastrier	29
5.2. Zertifizierte Futtermittel (z.B. europäische Herkunft).....	30

6. Optionen Wirtschaftsdünger	31
6.1. Vergärung Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen.....	31
6.2. Abdeckung bestehender Güllelager	32
6.3. Bodennahe Gülleausbringung	33
7. Optionen Energie- und Betriebsmanagement	34
7.1. Erneuerbare Energieträger am Betrieb (Wärme, Strom).....	34
7.2. Energieeinsatz und Energieeffizienz (Traktion)	35
7.3. Energieeinsatz und Energieeffizienz (Wärme, Strom).....	36
7.4. Maschinenauslastung verbessern.....	37
7.5. Klimacheck für landwirtschaftliche Betriebe	38
8. Landnutzung.....	39
8.1. Organische Böden reduziert bewirtschaften	39
9. Ergebnisse und Diskussion	40
9.1. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	40
9.2. Vermeidungskostenkurve	40
9.3. Interpretation	42
9.4. Diskussion	43
9.5. Fazit	44
10. Literaturverzeichnis	45

Abkürzungen

Cet. par.	Ceteris paribus, bei sonst gleichen Bedingungen
CO ₂ e _{GWP100}	CO ₂ -equivalent, CO ₂ -Äquivalente bei Anwendung der Metrik GWP 100
CRF	Common Reporting Format, gemeinsames Berichtsformat gemäß UN
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GWP 100	Global Warming Potential, eine Treibhauspotenzial-Metrik (über 100 Jahre)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kt	1 Kilotonne = 1 Gigagramm (Gg) = 10 ⁹ g
LCA	Life Cycle Assessment, Lebenszyklusanalyse
LUC	Land Use Change, Landnutzungsänderung
Lw., lw.	Landwirtschaft, landwirtschaftlich
NEC	National Emission Ceilings (NEC) Directive, Richtlinie (EU) 2016/2284
NEKP	Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich, 2020-2030
NIR	National Inventory Report, nationaler Inventarbericht
Öst., österr.	Österreich, österreichisch
Spez.	Spezifisch
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt GmbH, Wien
UN	United Nations, Vereinte Nationen
WEM	With Existing Measures, Referenzsituation zur Sektorentwicklung
WIFO	Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien
yr	Year, Jahr

1. Einleitung und Zielsetzung

Ziel des Projekts Nr. 101324 / 2 ist die modellhafte Berechnung und ökonomische Analyse von unterschiedlichen Lösungsansätzen zur Verminderung von Treibhausgas-Emissionen bzw. zur Verbesserung von klimarelevanten Auswirkungen in der österreichischen Landwirtschaft. Der Endbericht soll eine Auswahl an denkbaren Klimaschutzoptionen hinsichtlich ihrer agronomischen Implikationen und ihrer Treibhausgas- und Kostenauswirkung beschreiben. Der Bericht schließt damit an die Zwischenberichte an:

1. Im ersten Zwischenbericht wurden zentrale Grundlagen der Klimabilanzierung beschrieben und eine Auswahl von Reduktionsmaßnahmen begründet.
2. Im zweiten Zwischenbericht wurde eine Methodik zur Abschätzung der Treibhausgas-Minderungspotenziale und -Minderungskosten dargestellt.

Kurzfassung

Vor dem Hintergrund der Diskussion um die Reduktion von Treibhausgasemissionen wurde eine modellhafte Berechnung und ökonomische Analyse zu unterschiedlichen Treibhausgas-Minderungsoptionen für die österreichische Landwirtschaft erstellt. Es werden unterschiedliche produktionstechnisch umsetzbare Maßnahmen betrachtet und eine Vermeidungskostenanalyse dargestellt. Der Umsetzungshorizont betrifft die Jahre 2030 bis 2040. Neben der wissenschaftlichen Absicherung liegt ein Fokus auf der einzelbetrieblichen Machbarkeit der Handlungsoptionen. Die Analyse inkludiert sowohl die territorial-sektorale agrarische Produktion als auch Vorleistungen im In- und Ausland.

Im Bericht sind 28 potenzielle Minderungsmaßnahmen in Form von Datenblättern näher beschrieben. Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer typischen produktionstechnischen Maßnahme zwischen 2030 und 2040 potenziell ca. 40 kt CO₂e_{GWP100} pro Jahr zu Kosten von ca. 140 €/to CO₂e_{GWP100} eingespart werden könnten. Mit dem expliziten Fokus auf produktionstechnisch umsetzbare Minderungsmaßnahmen resultieren geringe Vermeidungskosten pro Einheit an eingesparten Treibhausgas-Emissionen. Bei Ausnutzung aller derzeit verfügbaren produktionstechnischen Minderungsmaßnahmen würde es große Anstrengungen erfordern, um eine 10 %-ige Reduktion der laufenden Treibhausgas-Emissionen der landwirtschaftlichen Produktion zu erreichen.

2. Methode THG-Vermeidungskosten

Aufgabe war es, eine Auswahl an Minderungsoptionen zu begründen (1. Zwischenbericht), eine Methode zur Berechnung von Vermeidungskosten darzulegen (2. Zwischenbericht) und eine erste Berechnung hinsichtlich Reduktionspotenzial und -kosten von Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen auszuarbeiten (vorliegender Bericht). Der Methodenabschnitt wird hier auszugsweise anhand des ersten und des zweiten Zwischenberichts wiedergegeben (Fritz et al. 2019, 2021a).

Treibhausgas-Vermeidungsgrenzkostenkurven zeigen die Emissionsminderung verschiedener Maßnahmen gereiht nach ihren marginalen Kosten. Allgemein sind Vermeidungsgrenzkosten definiert als der Quotient der Kosten-/Erlösänderung und der Emissionsänderung pro Produktionseinheit (z.B. ha) (Formel 1) (O'Brien et al., 2014; Pellerin et al., 2017):

$$\text{Vermeidungsgrenzkosten} \left[\frac{\text{€}}{\text{to}} \right] = \frac{\Delta \text{ mittlere jährliche Kosten|Erlöse} \left[\frac{\text{€}}{\text{ha}} \right]}{\Delta \text{ emittierte Treibhausgase} \left[\frac{\text{to}}{\text{ha}} \right]}$$

Zur Ermittlung des Reduktionspotenzials können aggregierte Aktivitätsdaten mit unterschiedlichen Emissionsfaktoren berechnet werden und/oder es kann eine prozess-/betriebsbezogene Analyse erfolgen. Die Kosten von Minderungsmaßnahmen werden häufig von der einzelbetrieblichen auf die nationale Ebene hochgerechnet. Insgesamt setzt die Methode mehrere Schritte voraus (O'Brien et al., 2014; Alig et al., 2015; Pellerin et al., 2017).

- (1) Zielfestlegung und Auswahl potenzieller Minderungsmaßnahmen
- (2) Ermittlung Referenzsituation, Reduktionspotenzial und Kosten/Erlöse
- (3) Unsicherheitsbewertung, Maßnahmenreihung und Interpretation

2.1. Zielfestlegung und Maßnahmenauswahl

Vermeidungskostenstudien haben initial das Untersuchungsziel festzulegen, wobei zum Teil normative Entscheidungen zu treffen sind. Zentral ist die Unterscheidung produktionstechnischer Einsparungsmaßnahmen von Produktionsmengenanpassungen. Festzulegen ist auch, ob/wie landwirtschaftliche Treibhausgasemissionen eingehen und importierte/vorgelagerte Emissionen berücksichtigt werden. Je nach Sektorenabgrenzung werden Emissionen aus Landnutzung, Mineraldüngerproduktion, Dieseleinsatz aber auch Gutschriften bspw. aus Biogasproduktion zugerechnet.

Im vorliegenden Projekt werden agronomische Verbesserungsoptionen bei größtenteils unverändertem Produktionsumfang betrachtet. Entgegen anderen Vermeidungskosten-

studien analysieren wir den Treibhausbeitrag der agrarischen Produktion nicht alleine territorial-sektoral, sondern auch lebenszyklus- und betriebsbezogen (O'Brien et al. 2014). Die Emissionsberichterstattung gemäß IPCC-Richtlinien im NIR (National Inventory Report) stellt dennoch einen wichtigen Anknüpfungspunkt dar. Auch im vorliegenden Bericht werden Emissionen als Produkt von Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten, die für die Zukunft prognostiziert wurden (Sinabell et al., 2018), berechnet. Hinzu kommen Emissionsdaten zu Vorleistungen in anderen Sektoren und/oder im Ausland. Da viele agrarische Betriebsmittel und vorgelagerte Güter importiert werden, liegen diese Werte 20 bis 70 % über der nationalen Inventur (Steininger et al., 2018).

Die Maßnahmenauswahl beschreibt das Prozedere des Findens potenzieller Maßnahmen innerhalb des Zielrahmens. Eine Grundlage bilden definierte Auswahl- und Ausscheidkriterien. Prioritär behandelt wurden von uns erstens die eindeutige Wirkrichtung, d.h. es sollen keine Zielkonflikte im Klimaschutz auftreten, und zweitens die produktionstechnische Machbarkeit. Als weitere Voraussetzungen hinzu kommen die wissenschaftliche Absicherung, die Machbarkeit aus technischen und sozioökonomischen Gesichtspunkten und die Zweckmäßigkeit in Hinblick auf potenziell konfligierende Produktions-, Klima- und Umweltschutzziele.

Vor diesem Hintergrund wurde im Zuge des Projekts letztlich eine Auswahl von 28 Maßnahmen näher bearbeitet. Diese wurde vor dem Hintergrund des Literaturstands inklusive nationaler Berichte (BMNT, 2019; Kirchengast et al., 2019; Krutzler et al. 2017) getroffen (vgl. 1. Zwischenbericht) und ergänzt um Nennungen von österreichischen Expertinnen und Experten im Zuge von Befragungen und Workshops (2019 bis 2021). Nachfolgend ist die Verteilung der Maßnahmen auf die einzelnen Produktionsbereiche dargestellt:

Ackerbau/Feldfutter	9 Minderungsoptionen
Grünland/Wiederkäuer	8 Minderungsoptionen
Schweine und Geflügel	2 Minderungsoptionen
Wirtschaftsdünger	3 Minderungsoptionen
Energie-/Betriebsmanagement	5 Minderungsoptionen
Landnutzung	1 Minderungsoptionen

Weitere 34 Handlungsoptionen wurden diskutiert, aber vorerst in der Betrachtung zurückgestellt. Hierfür kommen eine Reihe von Gründen in Frage. In Klammer ist jeweils deren Kurzbezeichnung angegeben: **Zielkonflikte (Z)** im Klimaschutz, in der Produktivität, oder im Umweltschutz (bspw. Erhöhung vorgelagerter Emissionen, trade-off zwischen verschiedenen Treibhausgasen), eine **unklare Wirkung (W)** bzw. ein fehlender wissenschaftlicher Nachweis,

oder eine unzureichende technische oder sozioökonomische **Machbarkeit (M)** bzw. eine Exklusion aufgrund des Fokus auf die **Urproduktion (U)** im Projekt.

- Aufbau organischer Bodensubstanz (W)
- Zwischenfruchtbau (ohne Leguminosen) (Z, W)
- Ernterückstände vermehrt am Feld belassen (Z)
- Ausbringung von Pflanzenkohle (W)
- Inhibitoren für Lachgasemissionen (Nitrifikationshemmer) (W, M)
- Bewässerungstechnik vermehrt bzw. effizienter einsetzen (Z)
- N-optimierte Milchkuhfütterung (M)
- Grundfutterqualität für Milchvieh erhöhen (Z, W)
- Anteil Zweinutzungsrasen erhöhen (Z, W)
- Verschiebung der Anteile Heu, Grassilage und Eingrasen (Z, W)
- Agroforstsysteme einsetzen (M)
- Futterzusätze Milchvieh (insb. chemische Additive) (M)
- Anreize entgegen einer regionalen Konzentration von Tierbeständen (Z, M)
- Güllelagerabdeckung (gasdicht) (M)
- Gülleverdünnung und Gülleseparierung bzw. getrennte Lagerung (Z, W)
- Festmistsysteme / höherer Strohanteil im Wirtschaftsdünger (W)
- Güllezusatzstoffe (Z, W)
- Saubere Flächen im Stall (M)
- Fruchtfolgen ausweiten bzw. Planung und Umsetzung optimieren (Z, W, M)
- Operatives Management auf Betrieben weiter verbessern (W, M)
- Strategische Betriebsausrichtung forcieren (Z, M)
- Umwandlung von Acker zu Dauergrünland (Z, M)
- Umwandlung zu Siedlungsfläche vermindern (M)
- Extensive Lagen schrittweise weniger bewirtschaften (Z, M)
- Anteil Biologische Tierhaltung/Landwirtschaft erhöhen (Z, M)
- Integrierte Bewirtschaftung ausbauen (M)
- Landnutzungs- und Lebensmittelstrategie Landwirtschaft und Tourismus (W, M)
- Flächengebundene Energieerzeugung mit Biomasse (Z, W)
- Energieerzeugung auf ehemaligen lw. Flächen (U)
- Nicht-landwirtschaftliche Energieerzeugung am lw. Betrieb (U)
- Wirkung nachgelagerter Produkttransporte (U)
- Reduktion Torfverwendung im Gartenbau (U)
- Ernährungszusammensetzung verändern (U)
- Weggeworfene Lebensmittel verringern (U)

2.2. Reduktionspotenziale und Kosten-/Erlöswirkung

Die Reduktionspotenzialbestimmung setzt eine Referenzsituation für die jeweiligen Zieljahre voraus, bspw. Milchproduktionsmenge pro Tier, Tierbesatz pro Fläche sowie Produktionstechnik und eingesetzte Futtermittel im Jahr 2030. Anhand des Szenarios WEM (with existing measures) liegen Emissionszahlen, Tierzahlen, N-Anfallsmengen, Flächen und Erträge zu ca. 30 Tierkategorien und 30 Ackerkulturen vor (Sinabell et al., 2018). Die Ausgangswerte beziehen sich auf 2020 bzw. wurde, soweit verfügbar, ein Fünf-Jahres-Mittelwert herangezogen.

Die Abschätzung der Treibhausgas-Reduktionspotenziale umfasst meist die Ermittlung der Einsparungsmenge pro Produktionseinheit (z.B. kg CH₄ pro kg Milch) und des Ausmaßes an betroffenen Einheiten (z.B. Betriebe, GVE, ha). Um nicht nur eine theoretische Abschätzung über das maximal mögliche Potenzial zu treffen, muss auch die Möglichkeit zur praktischen Umsetzung berücksichtigt werden. Potenzielle Einflussgrößen wie Emissionsfaktoren und Produktionsstrategien werden einzeln angegeben. Bei den numerischen Angaben ist wiederum ein typischer betroffener Betrieb (Medianbetrieb) Gegenstand der Betrachtung.

Für die Rentabilitätsbewertung wurden Differenzkostenrechnungen angewendet, sofern nur das Produktionsverfahren betroffen ist, und Vollkostenrechnungen, sofern Investitionen und die Betriebsentwicklung beeinflusst werden. Neben Instrumenten der Planungsrechnung und Modellierung (bspw. *Internetdeckungsbeitragsrechner der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen, BAB, 2020*) wurden auch Daten aus Betriebsauswertungen verwendet (Herndl et al., 2015). Erlöswirkungen wurden ebenso berücksichtigt wie Transaktions- und Informationskosten; positive Erlöswirkungen gehen mit negativem Vorzeichen ein. Öffentliche Förderungen sind nicht enthalten und wären gegebenenfalls gesondert abzubilden, da sie aus betrieblicher Sicht Erlöse und aus staatlicher Sicht Kosten darstellen. Die Kosten-/Erlösangaben erfolgen zu mittleren Preisen von 2018 bis 2020 und es ist keine Valorisierung einberechnet.

Einhergehend mit der Methodenbeschreibung soll klargelegt werden, dass eine Abschätzung von Reduktionspotenzialen und Reduktionskosten über einen langfristigen Zeitraum mit Unsicherheiten behaftet ist. Veränderungen in der Agrarstruktur, in Betriebsmittelpreisen und auf den Absatzmärkten wirken sich auf die Produktion und auf die Wahl von Produktionsverfahren aus. Ein Beispiel hierzu ist die Entwicklung der Preise von erneuerbaren und von fossilen Energieträgern. Darauf aufbauend liegt ein maßgeblicher Einflussfaktor in der Abschätzung des praktischen Umsetzungspotenzials, d.h. in der Frage, wie viele Betriebe bzw. Flächen und GVE jeweils in der Berechnung einer Minderungsoption umfasst sind.

2.3. Maßnahmandarstellung, Reihung und Interpretation

Im Folgenden wird zu jeder Maßnahme ein Datenblatt dargestellt, anhand dessen die potenzielle Klimaschutz- und Kostenwirkung der Maßnahme dokumentiert ist (vgl. Alig et al.,

2015; Pellerin et al., 2017). Beschrieben sind die Klimawirkung der Handlungsoption, die betroffenen Treibhausgase, wichtige Aspekte zur produktionstechnischen Umsetzung und zu erwartende einzelbetriebliche Auswirkungen. Außerdem dargestellt werden die Ist-Situation und eine Abschätzung über die potenziell betroffenen Betriebe, Flächen oder GVE.

Darüber hinaus erfolgt eine Abschätzung zur mittleren Auswirkung auf das Betriebsergebnis, zu den Vermeidungskosten und der mittleren spezifischen THG-Emissionswirkung je bewirtschafteter Fläche in Hektar. Hinzu kommt eine Abschätzung zur Gesamtwirkung für Österreich bezogen auf ein Umsetzungsjahr zwischen 2030 und 2040 bei mittleren Annahmen zu den Parametern. Auf den Datenblättern zu den Maßnahmen werden die Auswirkungen auf die Erlöse und Kosten anhand von Symbolen dargestellt (\rightarrow \pm \searrow \nearrow): „ \rightarrow “ oder „ \pm “ für keine oder eine geringe Auswirkung, \searrow für geringere Kosten/Erlöse und \nearrow für höhere Kosten/Erlöse. Ergänzende Angaben umfassen die Abbildbarkeit im NIR, weitere Auswirkungen- und Umweltwirkungen und die Angabe der verwendeten Daten-/Literaturquellen.

Für die Erstellung von Vermeidungsgrenzkostenkurven werden die Maßnahmen in weiterer Folge nach Grenzkosten gereiht. Das Vorliegen unterschiedlicher Treibhausgase erfordert eine Charakterisierung, wofür häufig eine etablierte Treibhauspotenzialmetrik wie das Global Warming Potential über 100 Jahre (GWP 100) verwendet wird und CO₂-Äquivalente ausgewiesen werden (CO₂e_{GWP100}). Die Auswahl einer Metrik ist zu begründen bzw. sollte eine Sensitivitätsanalyse erfolgen (Kolstad et al., 2014; Reisinger et al., 2017). Wir verwenden an dieser Stelle die Metrik des GWP 100. Bei Wahl einer anderen Metrik würden andere numerische Ergebnisse resultieren, allerdings wurden alle Minderungsoptionen so gewählt, dass die treibhausgas-mindernde Wirkung unabhängig von der Metrik vorliegt. Die numerischen Auswirkungen der Verwendung einer anderen Metrik (z.B. GTP 100) könnten im Rahmen von zukünftigen Sensitivitätsanalysen geprüft werden (O'Brien et al., 2014).

3. Optionen Ackerbau

3.1. Bodenbearbeitung reduzieren

Eine reduzierte Bodenbearbeitung kann Treibstoff einsparen, allerdings besteht ein Risiko in verringerten Erträgen, das durch Bewirtschaftungsmaßnahmen zu kompensieren ist.

Klimawirkung: Einsparung über reduzierten Treibstoffeinsatz, indirekt über Erosionsschutz; Risiko erhöhter N₂O-Emissionen; Wirkung Boden-C unklar (älterer IPCC Ansatz nur bis 30 cm Bodentiefe; neuere Ergebnisse zeigen wiederum C-Vorteile bei reduzierter Bearbeitung)

Betroffene Treibhausgase: CO₂, THG aus fossilen Energieträgern; Risiko erhöhter N₂O-Emissionen in Böden mit hohem Wassergehalt und eingeschränkter Belüftung beachten

Produktionstechnische Umsetzung: Nichtwendende Bodenbearbeitung, Mulchsaat

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Umstellung von Pflug-basiert auf nichtwendend (bis zu Direktsaat); Vorteile Dieseleinsparung, Erosionsschutz; Nachteile Unkraut-/Schädlingsdruck, mehr PSM, ungleiche Abreife, Mengen-/Qualitätseinbußen, verzögerte Mineralisierung

Ist-Situation: 73 % der Ackerfläche gepflügt (973.000 ha full-tillage)

Würde potenziell betreffen: ca. 240 000 ha Ackerfläche; Annahme: für 25 %-Punkte der dz. gepflügten Flächen ist eine reduzierte Bodenbearbeitung (Grubber) möglich und sinnvoll, Einschränkungen bei schweren Böden und Hackfrüchten

Auswirkung auf Betriebsergebnis: -8 € / ha / yr; Risiko ± Erlöse, ↘ Kosten Pflügen/Diesel, ↗ Arbeitskosten Umstellung Bewirtschaftung

Abschätzung Vermeidungskosten: 510 € / to CO₂e_{GWP100}

Abschätzung spez. Klimawirkung: 16 kg CO₂e_{GWP100} / ha / yr
Je nach Kultur ca. -5 l Diesel / ha / yr

Abschätzung Klimawirkung Öst.: 4 kt CO₂e_{GWP100} / yr (2030)

Abbildung im NIR: Treibstoffeinsatz im CRF-Sektor

Weitere Wirkungen: Boden/Erosionsschutz, Nährstoffbildung, PSM-Einsatz

Literatur: Anderl et al. 2022, Krauss et al. 2022, Pellerin et al. 2017, Spanischberger/Mitterböck 2015, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

3.2. N-Düngung in Fahrspuren reduzieren

Mit einer verringerten N-Düngung in Fahrspuren besteht die Chance N₂O-Emissionen zu senken, allerdings bei höherem Arbeits- und Maschinenaufwand.

Klimawirkung: Reduktion von N₂O, Staunässe und hohe Nitratverfügbarkeit begünstigen N₂O-Emissionen, ein Aussparen der Fahrspuren verringert die Fläche mit hoher N-Düngung

Betroffene Treibhausgase: N₂O

Produktionstechnische Umsetzung: Mit bodennaher Technik Abschaltung in Fahrspuren möglich, auch mit Düngestreuer/Spritzen. Hinweis: mögliche Zukunft Präzisionsackerbau für exakte Fahrspuren (controlled traffic farming, CTF, dann auch reduzierter Treibstoffeinsatz)

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Teilbreitenabschaltung, Erhöhter Arbeitsaufwand bzw. Mechanisierungskosten, reduzierte Düngung in Fahrspuren wirkt kaum ertragsmindernd

Ist-Situation: nur teilweise konsequent umgesetzte Fahrspuren, vermehrt Schleppschlauch aufgrund von NEC (NH₃) zu

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	50 % der intensiv genutzten Ackerflächen (Annahme), tw. auch Grünland, insb. Böden mit hohem Ton-/Schluffgehalt; bodennahe Techniken als Voraussetzung, entsprechend Umsetzung NEC
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-10 € / ha / yr → Erlöse, ↘ Düngekosten, ↗ Mechanisierungskosten, ↗ Arbeitskosten
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	172 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	58 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr (N ₂ O-Emissionsreduktion < 0,1 kg N ₂ O / ha / yr, anteilige Düngemittelreduktion)
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	15 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	prinzipiell im NIR abbildbar
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Gasso et al. 2013, Flessa et al. 2012

3.3. Bodenverdichtung und Befahrung

Ein Befahren bei trockenen Bedingungen und mit angepasstem Reifendruck kann N₂O-Emissionen verringern.

Klimawirkung: Staunässe und hohe Nitratverfügbarkeit kann N₂O-Emissionen begünstigen, Reduktion von 1 bis 5 % der N₂O Emissionen (Annahme) (Flessa et al. 2012)

Betroffene Treibhausgase: N₂O

Produktionstechnische Umsetzung: gute fachliche Praxis, empirische Daten zu Reifendruck und Modelle Bodenverdichtung, Bildungsmaßnahmen, zusätzlich Maschinengewichte/Achslasten beachten

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Befahren bei trockenen Bedingungen (Problematik Erntekampagnen), Manuelle Reifendruckanpassung oder Reifendruckregelanlagen

Ist-Situation: zu 25 % keine Reifendruckanpassung und Befahrung bei ungünstigen Bedingungen (Annahme)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	25 % der Betriebe und Flächen, insb. Böden mit hohem Ton-/Schluffgehalt, Befahrungen mit hohem Gewicht
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-18 € / ha / yr ↗ Kosten für Reifendruckanpassung bzw. Reifendruckregelanlage, ↘ Erlöse bei angepassten Ernteterminen
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	621 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	29 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr (ca. 0,1 bis 0,3 kg N ₂ O / ha / yr)
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	18 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030) (bis 60 kt bei 5 % N ₂ O Minderung)
<u>Abbildung im NIR:</u>	dz. keine Abbildung im NIR (Tier 1)
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Bodenqualität

Literatur: Hülsbergen und Rahmann 2015, Flessa et al. 2012

3.4. Mineralische N-Düngung anpassen

Eine Anpassung der mineralischen N-Düngung an den Entzug (zeitlich, räumlich, Menge) kann Klimavorteile erbringen.

Klimawirkung: Eine angepasste N-Düngung hat eine starke Wirkung auf die N₂O-Emissionen, das Risiko einer Ertragsminderung ist gering; Einsparung N-Düngerproduktion

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CO₂ und N₂O vorgelagert (Düngerproduktion)

Produktionstechnische Umsetzung: höhere N-Ausnutzung, Düngezeitpunkt/pflanzliche Aufnahme, Ausbringtechnik/rasche Einarbeitung, verbesserte Dokumentation Düngeplanung

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Engere Arbeitsfenster für Düngung, höherer Arbeitsaufwand, zeitlich und räumlich gezieltere Ausbringung (z.B. Grenzstreuer), mehr Düngeplanungs- /Koordinationsaufwand, tw. Auswirkung Fruchtfolgen

Ist-Situation: N₂O-Emissionen ca. 7 kt / yr (Q: Anderl et al. 2022)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	betrifft Ackerkulturen (tw. auch Grünland), Reduktion um ca. 5 bis 10 % gegenüber konventioneller Düngung (vgl. Foldal et al. 2019)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-38 € / ha / yr ± Ertragsrisiko, abh. von Kultur (ca. -0 % Leguminosen -5 % bei Mais); ↘ Düngekosten, ↗ Arbeitserledigungskosten, ggf. ↗ Mechanisierung
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	559 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	68 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr (Größenordnung 0,2 kg N ₂ O / ha / yr)
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	48 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	N ₂ O-Emissionen und Düngerbedarf im NIR abbildbar
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Foldal et al. 2019, Pellerin et al. 2017, Hülsbergen und Rahmann 2015, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

3.5. Mineralische N-Düngung auf N-Hotspots reduzieren

Eine Reduktion der Düngung auf Hotspots mit hohen N-Düngemengen kann klimapositiv wirken, ohne dass die Erträge maßgeblich geschmälert werden.

Klimawirkung: Einsparung N₂O-Emissionen, Einsparung N-Düngerproduktion (CO₂, N₂O); hohe Spannweite; teilweise ist die Kompensation von verringerten Erträgen zu beachten

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CO₂ und N₂O vorgelagert (Düngerproduktion)

Produktionstechnische Umsetzung: höhere N-Ausnutzung, verbesserte Dokumentation der Düngeplanung, Fokus auf N-Hotspots

Einzelbetriebliche Auswirkungen: höherer Arbeitsaufwand, mehr Düngeplanung, Risiko eines Ertragsrückgangs

Ist-Situation: N-Hotspots mit hohem Emissionspotenzial, schwere Böden, Niederschlag

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	10 % der Ackerflächen (N-Hotspots), -30 kg N/ha bzw. -5 bis 10 %-Punkte (Schröck et al. 2019)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-55 € / ha / yr ↘ Ertrag, ↘ Düngekosten (Bsp. Hotspots -0,4 tO / ha, -25 % N)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	423 € / tO CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	130 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	31 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	N ₂ O-Emissionen und Düngerbedarf im NIR abbildbar Unsicherheit und hohe Spannweite der Emissionsraten
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Schröck et al. 2019, Pellerin et al. 2017, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

3.6. Futterleguminosen in der Fruchtfolge

Ein vermehrter Anbau von Futterleguminosen in der Fruchtfolge kann den Mineraldüngerbedarf und, ausgehend von der Rinderfütterung, den Importeiweißfutterbedarf reduzieren; zugleich sinkt der futterbauliche Ertrag.

Klimawirkung: Vermehrter Leguminosenanbau kann Mineraldünger substituieren und Importeiweißfutterbedarf reduzieren; Risiko erhöhter N₂O-Emissionen

Betroffene Treibhausgase: CO₂ und N₂O vorgelagert, LUC

Produktionstechnische Umsetzung: Mehr Leguminosen in Fruchtfolge oder als Untersaat/Zwischenfrucht (symbiotische N-Bindung anstatt Mineraldünger in Düngeplanung berücksichtigen).

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Anteilig gemäß Fruchtfolge weniger futterbaulicher Ertrag, weniger Eiweißzukauf, mehr Grundfutterzukauf, veränderte Ration, weniger N-Düngerbedarf, Vorteile Boden-/Pflanzengesundheit

Ist-Situation: Anbau energetisch ertragreicher Kulturen, Zukauf von Eiweißfuttermitteln, zusätzliche mineral. N-Düngung

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Ackerfutterbau Rinderhaltung
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-8 € / ha / yr ↘ Ertrag, ↗ Grundfutterzukaufkosten, ↘ Eiweißfutterzukauf, ↘ Düngekosten
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	31 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	257 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	32 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Importeiweißfuttermittel außerhalb CRF-Sektor
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Boden-/Pflanzengesundheit

Literatur: Pellerin et al. 2017, Wiesmeier et al. 2017, Hülsbergen und Rahmann 2015, Schmeer et al. 2014, Pistrich et al. 2014, Flessa et al. 2012

3.7. Körnerleguminosen in der Fruchtfolge

Ein vermehrter Anbau von Körnerleguminosen (Sojabohne, Ackerbohne, Erbse) kann Mineraldünger einsparen/substituieren und den Importfutterbedarf reduzieren, ist allerdings auf eine Anbauförderung angewiesen.

Klimawirkung: Verringerte Düngemengen bei Leguminosen als Ersatz zu anderen Kulturen, min. N-Einsparung Folgekultur, zu beachten: geringerer Ertrag gegenüber anderen Kulturen, Risiko erhöhter N₂O-Emissionen, Risiko erhöhter Erosion (inkl. N- und C-Verluste)

Betroffene Treibhausgase: CO₂ und N₂O vorgelagert

Produktionstechnische Umsetzung: Ertragslage für Körnerleguminosen beachten, indirekte Landnutzungseffekte, im Gegensatz zu Futterleguminosen geringer N-Beitrag für Nachfrucht

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Betriebliche Verwertungsmöglichkeiten bzw. erzielbare Deckungsbeiträge sind zu beachten, Anbauprämien

Ist-Situation: Anbau von ca. 20 000 ha Körnerleguminosen

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Fläche über Prämie steuerbar (Annahme: € 200 / ha und Verdoppelung der Fläche)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-100 € / ha / yr ↘ Erlöse, ↗ Kosten im Anbau (abhängig von Prämie)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	400 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	250 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr (abhängig von Annahmen zum Vorfruchtwert)
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	20 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Einsparungen vorleitungs- und importseitig, außerhalb CRF-Sektor
<u>Weitere Wirkungen:</u>	positive pflanzenbauliche Wirkungen

Literatur: Sponagel et al. 2021, Pellerin et al. 2017

3.8. Hecken an Feldrändern auf Ackerland

Hecken auf Ackerflächen reduzieren zwar nicht die THG-Emissionen, können aber als Kohlenstoffsенke fungieren und weitere Vorteile im Erosionsschutz erbringen.

Klimawirkung: Pflanzung bzw. Erhalt von Hecken kann ober- und unterirdisch Kohlenstoff binden (einmalige Kohlenstoffsенke) (Studie DE ca. 100 t C / ha, Drexler et al. 2021)

Betroffene Treibhausgase: keine THG betroffen, C-Bindung

Produktionstechnische Umsetzung: Anlage Hecken entlang Feldstückrand (an einer Seite), weniger Vorteile einer Bewirtschaftung von großen Flächeneinheiten; Hinweis: Erhalt des landwirtschaftlichen Status sicherstellen

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Anlage von Hecken, Reduktion Nutzfläche, Einschränkung flurbereinigter Bewirtschaftung, Pflegeaufwand für Hecke, zusätzliche Nutzung eines Teils der Biomasse ca. alle 10 Jahre, Synergien mit Erosionsminderung und Biodiversität

Ist-Situation: Uns ist keine öst. Analyse über das derzeitige oder ein geeignetes zukünftiges Ausmaß von Hecken bekannt

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	0,3 % einer Fläche (Annahme, vgl. Drexler et al. 2021), für 30 % der Acker- und Grünlandfläche (Annahme)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-43 € / ha / yr ± Ertrag, Erosionsschutz, ↗ Kosten Anlage und Pflege, ↗ Kosten für Bewirtschaftung der Hauptkultur
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	187 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	230 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	17 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	prinzipiell abbildbar; Hinweis: Die Anlage von Hecken ist eine einmalige Senke (hier verteilt auf 40 Jahre)
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Erosionsschutz, Lebensraum, Kulturlandschaft

Literatur: Drexler et al. 2021, Hülsbergen und Rahmann 2015

3.9. Umbruchloser Erhalt des Ackerstatus

Die Schaffung einer Möglichkeit für den Erhalt des Ackerstatus von Wechselwiesen, ohne eine bestimmte zeitliche Vorgabe für einen Umbruch, kann klimapositiv wirken.

Klimawirkung: Handelt es sich um langjährig bestehende Wechselwiesen, so führt ein Umbruch zu einem Abbau des organischen Kohlenstoffs im Boden, wohingegen der spätere Aufbau deutlich langsamer erfolgt; längere Umbruchvermeidung kann Emissionen einsparen, Ausmaß hängt vom Standort ab

Betroffene Treibhausgase: C, CO₂, N₂O

Produktionstechnische Umsetzung: Rechtliche Möglichkeit für Erhalt des Ackerstatus
Bereits in neuer GAP abgedeckt?

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Bei Bedarf Möglichkeit für eine mehrjährig längere Nutzung des Feldfutters

Ist-Situation: 50 000 ha Wechselwiesen; ein Teil davon wird öfter als notwendig umgebrochen, um Ackerstatus zu halten

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	betrifft ca. 25 % der Flächen (Annahme), Umbruch orientiert am fachlichen Bedarf (anteilig über die Jahre)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	+11 € / ha / yr Per definitionem keine Erlösauswirkung, → Kostenersparnis ohne Umbruch
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-36 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	306 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	20 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	im CRF-Sektor Lw. abbildbar
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Klimawandelanpassung

Literatur: Wiesmeier et al. 2017, Pellerin et al. 2017, Spanischberger et al. 2015, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

4. Optionen Grünland/Wiederkäuer

4.1. Umbruchlose Erneuerung von Dauergrünland

Eine umbruchlose Erneuerung von Dauergrünlandflächen anstelle eines Umbruchs kann klimapositiv wirken.

Klimawirkung: Handelt es sich um langjährig bestehendes Grünland, so führt ein Umbruch zu einem Abbau des organischen Kohlenstoffs im Boden, wohingegen der spätere Aufbau deutlich langsamer erfolgt. Eine dauerhafte Vermeidung des Umbruchs kann CO₂ und N₂O-Emissionen einsparen, Ausmaß hängt vom Standort ab

Betroffene Treibhausgase: CO₂, N₂O

Produktionstechnische Umsetzung: Bestand und Umbruch von Grünland haben kein exaktes Invekos-Abbild, da Schläge sich von Jahr zu Jahr ändern

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Nutzungsflexibilität eingeschränkt, keine Nutzung des Mineralisierungsschubs (dieser bedeutet allerdings auch CO₂-Verluste), ± im Ertrag

Ist-Situation: bis 5 % bzw. max. 3ha ist ein Umbruch möglich
Umbruch von ca. 0,8 % (± 0,5) der Grünlandflächen
p.a. (ca. 10.000 ha) (Annahme)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	betrifft ca. 10 000 ha, über 20 Jahre verteilt
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	15 € / ha / yr; → Erlöse über Auswirkungen Fruchtfolge und Futtergrundlage, ∇ Kosten Umbruch ± Entfall Mineralisierungsschub, Bodenkohlenstoff
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-115 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	130 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	22 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	nicht im NIR abgebildet
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Wiesmeier et al. 2017, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

4.2. Grundfutterqualität und -menge am Standort optimieren

Standortangepasste pflanzenbauliche Erträge und eine hohe N-Ausnutzung in der Bewirtschaftung können klimapositive Effekte haben.

Klimawirkung: Günstige N-Bilanzen mindern N₂O-Emissionen, weniger Zukauffuttermittel (Vorleistungsbilanz), gute Grundfutterqualität mindert CH₄-Emissionen aus Pansenfermentation, Wirkungen flächenbezogen und je produziertem Output

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CH₄, vorgelagerte Herstellung und Transporte

Produktionstechnische Umsetzung: Optimierung von Grundfutter auf produktionsorientiert genutzten Flächen; an Standort angepasste Sorten und Pflanzengemeinschaften für Resilienz und Ertragsfähigkeit im Pflanzenbau; verlustarme Erntekette sichert Futtermenge- und Qualität; Nachteil: Mechanisierung, Treibstoffbedarf; Vorteil: Treibstoffeinsparung Zukäufe

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Maßnahmen Grundfutterqualität, Pflanzenbau/ Bestandsführung, Sortenwahl, Pflege, verlustarme Erntekette, Bildungsmaßnahmen

Ist-Situation: ca. 30 % der Betriebe nutzen das standortbezogene Ertragspotenzial nicht aus (nicht angepasste Erträge, hohe Verluste), zugleich werden 40 % Futtermittel (überregional) gehandelt

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	30 % der Betriebe, 15 % der Flächen, 15 % der Produktion (Annahme)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	+8 € / ha / yr ↗ Erlöse (via Grundfutter), ↘ Kosten Futterzukauf, ↗ Kosten Grundfuttererzeugung, -konserv., -bereitung
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-17 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	470 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	76 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	im CRF-Sektor Lw. abgebildet/abbildbar
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Pellerin et al. 2017, Alig et al. 2015

4.3. Milchleistung gemäß Standortpotenzial umsetzen

Ein gutes Management im Stall und eine an die Erträge am Standort angepasste Milchproduktion kann klimapositive Effekte haben.

Klimawirkung: Pro Produkteinheit weniger CH₄-Emissionen aus Pansenfermentation, cet. par. weniger Betriebsmitteleinsatz (z.B. Maschinen)

Betroffene Treibhausgase: CH₄, CO₂ fossil

Produktionstechnische Umsetzung: Auswirkung auf CH₄ im NIR,

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Milchleistung pro Hektar an Standortertragspotenzial von lokalem Grünland und Acker anpassen, hohe Kompetenz im Herdenmanagement, gute Futtermittelverwertung, angepasste Zuchtziele, Datenanalyse, Betriebsstrategie

Ist-Situation: Betriebe nutzen das Potenzial im Stall nicht aus

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	30% der Milchbetriebe (Annahme)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-18 € / ha / yr; ↗ Milchleistung und Erlöse, ↗ Arbeitskosten Planung und Umsetzung Potenzial, Herdenmanagement (Tierbeobachtung, Leistungs-/Fütterungskontrolle, etc.)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	92 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	200 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	37 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	CH ₄ im CRF-Sektor, Vorleistungen tw. im CRF-Sektor
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Koster et al. 2022, Mosnier et al. 2018, Hülsbergen und Rahmann 2015, Zehetmeier et al. 2014, Flysjö et al. 2012

4.4. Tiergesundheit und Nettonutzungsdauer Milchkühe

Eine Förderung der Tiergesundheit und eine hohe Nettonutzungsdauer für Milchkühe können eine kostengünstige Maßnahme zur Treibhausgasreduktion darstellen.

Klimawirkung: Reduktion der erforderlichen Tiere für die Remonte reduziert die THG-Emissionen an allen Stellen der Nährstoff-, Prozess- und Ressourcenkette

Betroffene Treibhausgase: CO₂, N₂O, CH₄

Produktionstechnische Umsetzung: Erhaltungsbedarf senken, Milchleistung mit höherer Persistenz über Laktation. Substitution des reduzierten Altkuh-/Kalbfleischangebots beachten (SVG Rindfleisch = 1,45)

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Zuchtziele auf Lebensleistung, persistente Milchkurven, Leistungsziele, die auf das betriebseigene Futter ausgerichtet sind, Tier-/Stoffwechselgesundheit beachten (Eutergesundheit, Fruchtbarkeit, Fütterung)

Ist-Situation: Nutzungsdauer Milchkühe ~3,8 yr, Erstkalbealter 30 m, Lebensstagesleistung variiert stark zwischen Betrieben, Alter Milchkühe +/- 2 Jahre

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	40 % der Fläche und GVE (Annahme); Potenzial für ca. 4,5 Jahre Nutzung und Erstkalbealter 28 Monate, Reduktion Remontebedarf um 10 %-Punkte
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	+10 € / ha / yr; → Milchleistung, ↗ Kälberverkauf, ↘ Altkuhverkauf, ↘ Kosten Remonte (Kälberaufzucht oder Zukauf), ↗ Arbeitskosten im Management (Tierbeobachtung, Leistungs-/Fütterungskontrolle)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-43 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	230 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	115 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	CH ₄ im CRF-Sektor, Vorleistungen tw. im CRF-Sektor
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Wettbewerbsfähigkeit

Literatur: Mosnier et al. 2018, Hülsbergen und Rahmann 2015, Alig et al. 2015, Schader et al. 2014

4.5. Weideanteil bei Milch- und Mastrindern erhöhen

Eine Erhöhung des Ausmaßes an Weidestunden kann eine kostengünstige Maßnahme zur Treibhausgasreduktion darstellen.

Klimawirkung: Weide vermeidet im Sommer andernfalls hohe CH₄- Emissionen aus Güllelagerung, Treibstoffeinsparung durch reduzierte Futterbereitung

Betroffene Treibhausgase: CO₂, N₂O, CH₄

Produktionstechnische Umsetzung: Auswirkung auf jährlich umgesetzte Futterprotein- und Futterenergiemengen ist gering;

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Klimatisch mögliche Weidetage, arrondierte Flächen, Managementkompetenzen Weidehaltung / Ausbau

Ist-Situation: Geringe Weidezeiten, hoher Anteil der Ausscheidungen am WiDü-Lager, im Sommer hohe CH₄-Konversionsrate (hohe Temperatur) Dz. N-Ausscheidungen auf Weide 4 % bei Milchkühen, 18 % bei Mutterkühen und 3 % bei Mastrindern (Anderl et al. 2022)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Nachzucht, Milchkühe, Mutterkühe und Mast, Annahme Umsetzung auf ca. 1/3 der Betriebe; Anteil der WiDü-Systeme nach Tierkategorie
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	+25 € / ha / yr ± Erlöse, ∩ Kosten für Betriebsmittel
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-48 € / to CO ₂ e _{GWp100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	200 kg CO ₂ e _{GWp100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	25 kt CO ₂ e _{GWp100} / yr
<u>Abbildung im NIR:</u>	Reduzierte Emissionen Wirtschaftsdüngerlagerung im CRF-Sektor, Vorleistungen außerhalb; N ₂ O Faktor ab IPCC 2019 0,006 kg N ₂ O pro kg N für WiDü und Weide
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Kulturlandschaft / kulturelles Erbe, Tourismus

Literatur: Fritz et al. 2021b, Pöllinger et al. 2018, Wolfthaler et al. 2017

4.6. Direkte Reduktion der Methanbildung aus Pansen

Der Zusatz ausgewählter, geprüfter und natürlicher Futtermittel in der Wiederkäuerfütterung kann zur Treibhausgasreduktion beitragen.

Klimawirkung: Reduktion der CH₄-Emissionen aus Pansenfermentation bei verbesserten Verdauungsprozessen; abzgl. Vorleistung für die Erzeugung

Betroffene Treibhausgase: CH₄

Produktionstechnische Umsetzung: Zusatz ausgewählter, geprüfter, natürlicher Futtermittel mit sekundären Pflanzeninhaltsstoffen (bzw. alternativ auch über Züchtung von Tieren mit günstigem Mikrobiom in Hinblick auf die CH₄-Produktion)

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Einsatz von Futtermitteln mit bereits inkludierten Zusatzstoffen, bessere Nährstoff/Energieverfügbarkeit (bspw. Phytopass, Agolin) (alternativ: neue Zuchtwerte CH₄-Bildung)

Ist-Situation: in der Wiederkäuerfütterung werden unterschiedliche Kraftfutter-/Mineralstoffmischungen angewendet

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	40 % der Rinder GVE (Annahme); erweiterte Prüfung Futtermittelzusatzstoffe, für Milch- und Mastrinder
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-34 € / ha / yr ↗ Kosten für Futtermittel mit Zusatzstoffen ± Nährstoffversorgung der Tiere
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	153 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	222 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	90 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Reduzierte CH ₄ -Emissionen (Pansenfermentation) im CRF-Sektor, Vorleistungen Erzeugung Futtermittelzusatzstoffe tw. außerhalb
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Koster et al. 2022, Hörtenhuber et al. 2020, Alig et al. 2015

4.7. Bestand Mastrinder, Milchkühe, Mutterkühe verlagern

Ein verringerter Erhaltungsbedarf pro Fleischproduktion kann bei gleichem Output Emissionen senken, allerdings steht dem der Erhalt extensiver Betriebe/Produktionsformen gegenüber.

Klimawirkung: Reduktion CH₄-Emissionen (Pansenfermentation) Muttertiere und Aufzucht, produktbezogen CO₂ und N₂O-Reduktion durch weniger extensive Produktion

Betroffene Treibhausgase: CH₄

Produktionstechnische Umsetzung: Verlagerung Fleischproduktion zu Tierkategorien mit hoher Effizienz, Verringerung Aufzuchtbedarf, Mutterkuhhaltung explizit an extensiven Standorten, Positionierung alternativer Fleischqualitäten bei den Konsumenten

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Weiblichen Kälber auf Remontierungsbedarf reduzieren, männliche Kälber für die Mastnutzung

Ist-Situation: hohe CH₄-Emissionen aus Mutterkuhhaltung, Aufzucht und Mast (Milchkühe machen weniger als 50 % der CH₄-Emissionen CRF aus)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Zweinutzungsrasen, Umstieg von Mutterkuhbetrieben in die extensive Mast von Kälbern der Milchviehassen, evtl. auch Spermasexing; Annahme: -15% Mutterkühe
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	+/- 0 € / ha / yr veränderte Betriebsstruktur bzw. Wegfall der (Erlöse der) Betriebe
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	0 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	112 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	56 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	im CRF-Sektor Lw.
<u>Weitere Wirkungen:</u>	vielfältige ökologische u. sozioökonomische Wirkungen

Literatur: Anderl et al. 2022

4.8. Proteinoptimierung Fütterung Stiere

Eine eiweißangepasste Fütterung leistet einen anteiligen Beitrag zur Verminderung des Importfuttermittelbedarfs.

Klimawirkung: Reduzierter Bedarf an Eiweißfuttermitteln, reduzierte N-Mengen im Kreislauf reduzieren Treibhausgase aus Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CH₄, LUC

Produktionstechnische Umsetzung: Phasenfütterung für angepasste Rationen bei Maststieren, Komponentenfütterung, ggf. händische Zugabe von Protein (junge Stiere), hohe N-Effizienz und Managementniveau als allgemeine Ziele; zusätzlicher Effekt Einsparung Eiweißfuttermittel

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Automatisiertes Fütterungssystem für Mischung angepasster Rationen, Betriebsgröße(!), Investition Mechanisierung

Ist-Situation: häufig einheitliche Ration über Größenklassen/Wachstumskurve hinweg, auch bei spezialisierten Mästern; dz. ca. 180 000 Stiere, ca. 165 000 to TM Eiweißfuttermittel

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Stiermast > 50 GVE., ca. 500 – 1500 spezialisierte Mäster
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-18 € / ha / yr → Erlöse, ↗ Kosten Investition in automatische Fütterung, ↘ Arbeitszeit/Arbeitskosten
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	120 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	150 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	34 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	nur inländische Anteile im CRF-Sektor Lw.
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Akzeptanz Märkte und Gesellschaft

Literatur: Pellerin et al. 2017, Resl et al. 2019, Feitzlmayr 2018

5. Optionen Schweine und Geflügel

5.1. Phasenfütterung N-optimiert Monogastrier

Eine eiweißangepasste Fütterung leistet einen anteiligen Beitrag zur Verminderung des Importfuttermittelbedarfs.

Klimawirkung: Reduzierte N-Mengen im Kreislauf senken insb. THG aus Wirtschaftsdüngerlagerung und Ausbringung

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CH₄, LUC

Produktionstechnische Umsetzung: Phasenfütterung, angepasste Rationen Schweine- und Geflügelhaltung, weniger Proteinfutteranbau- /zukauf, Leistung unverändert, Vorteil Tiergesundh., Zunahmen

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Automatisiertes Fütterungssystem für Mischung angepasster Rationen, Zusatz Aminosäuren, Getreide anstelle Soja-/Rapsschrot, Futtermitteluntersuchung abh. von Betriebsgröße Investition in Fütterungstechnik

Ist-Situation: Proteinübersversorgung aufgrund ungenauer Zuteilung, >70 % der 5 Mio. Mastschweinebestand (Annahme)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	betrifft Schweine und Geflügel, (z.B. 130 000 GVE Mastschweine, Annahme)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	+37 € / ha / yr ± Erlöse, ↗ Kosten Investition Fütterungssystem, ↘ Futter(zukauf)kosten (Proteinfutter)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-12 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	320 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	65 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	nur inländische Anteile im CRF-Sektor Lw.
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Akzeptanz Märkte und Gesellschaft

Literatur: Müller et al. 2019, Bretscher et al. 2018, Pellerin et al. 2017, Alig et al. 2015

5.2. Zertifizierte Futtermittel (z.B. europäische Herkunft)

Die Verwendung von LUC-zertifizierten Futtermitteln in der Schweine- und Geflügelhaltung kann die Klimabilanz verbessern.

Klimawirkung: Austausch importierter Eiweißfuttermengen durch LUC-zertifizierte Produkte in der Mast von Schweinen und Geflügel, LUC-zertifizierte Futtermittel bedeuten geringere Emissionen aus Landnutzungsänderungen und Transport

Betroffene Treibhausgase: LUC, C, CO₂ fossil

Produktionstechnische Umsetzung: Vorgaben Futterprogramme, induzierte Veränderungen auf Märkten, Marktpotenzial der Produkte sollte höhere Futtermittelpreise ausgleichen

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Ersatz von Zukauffuttermitteln, höhere Futtermittelkosten, Änderung Lieferanten

Ist-Situation: Bezug von Futtermitteln mit hohen Emissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen, ca. 280 000 to TM Eiweißfuttermittel

Würde potenziell betreffen: betrifft Schweine und Geflügel, Annahme: 35 % der Eiweißfuttermittelmengen anteilig 1:1 Ersatz durch LUC-zertifizierte Produkte, Annahme: keine Rückkopplungen (Annahme mittel- bis langfristig > 40 % Marktpotenzial)

Auswirkung auf Betriebsergebnis: -40 € / ha / yr
↗ Kosten für Futtermittel

Abschätzung Vermeidungskosten: 212 € / to CO₂e_{GWP100}

Abschätzung spez. Klimawirkung: 189 kg CO₂e_{GWP100} / ha / yr

Abschätzung Klimawirkung Öst.: 121 kt CO₂e_{GWP100} / yr (2030)

Abbildung im NIR: nicht im NIR abgebildet, aber standardmäßig in LCA und betrieblichen Klimarechnern abgebildet

Weitere Wirkungen: Akzeptanz Märkte und Gesellschaft

Literatur: Feitzlmayr 2018, Wolff et al. 2016, Alig et al. 2015, Hörtenhuber et al. 2014

6. Optionen Wirtschaftsdünger

6.1. Vergärung Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen

Eine Vergärung von Wirtschaftsdünger in kleinen, lokalen Anlagen kann klimapositiv wirken.

Klimawirkung: Verringerte Emissionen aus Güllelagerung bei hohen Temperaturen, zusätzliche Emissionen aus Vorleistungen (Errichtung Biogasanlage) und Transport, nachgelagerte Kompensation (Energiebereitstellung)

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CH₄, Substitution CO₂ fossil

Produktionstechnische Umsetzung: Einsatz von kleinen Anlagen (geringe Transportwege) zur Vergärung von Wirtschaftsdünger, Anteil an NaWaRos geringhalten, damit keine Emissionen in der landw. Produktion induziert werden (Produktion an Biomasse nicht steigern)

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Investition Biogasanlage, laufender Anlagenbetrieb, Problematik Verbringung Gülle-Rücknahme Gärreste, Problematik Trennung konventionell-biologisch. Annahme: ergebnisneutraler Betrieb der Anlage möglich

Ist-Situation: dz. 280 Biogasanlagen; 3500 Betriebe mit > 100 GVE

Würde potenziell betreffen: ca. 4 000 Betriebe > 100 GVE (steigend). Annahme: davon 25 % mit 150 000 GVE, Voraussetzung: technisch-wirtschaftliche Machbarkeit, Nutzung Biogas-Abwärme

Auswirkung auf Betriebsergebnis: -50 € / ha / yr
↗ Kosten am Landwirtschaftsbetrieb für Überstellung Gülle und Rücknahme Gärreste, (Betrieb der Biogasanlage nicht berücksichtigt, eigener Betrieb/Betriebszweig)

Abschätzung Vermeidungskosten: 275 € / to CO₂e_{GWP100}

Abschätzung spez. Klimawirkung: 182 kg CO₂e_{GWP100} / ha / yr

Abschätzung Klimawirkung Öst.: 36 kt CO₂e_{GWP100} / yr (2030)

Abbildung im NIR: Emissionen Wirtschaftsdüngerlager im CRF-Sektor Lw.

Weitere Wirkungen: Transporte, Anlagenbau

Literatur: Pellerin et al. 2017, Roth et al. 2017, Hülsbergen und Rahmann 2015, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012, Zethner und Süßenbacher 2012

6.2. Abdeckung bestehender Güllelager

Eine Abdeckung bestehender Güllelager kann über eine erhöhte N-Effizienz und reduzierte NH₃-Emissionen auch teilweise als Treibhausgasmaßnahme bewertet werden.

Klimawirkung: Eine Abdeckung vermindert NH₃-Emissionen und reduziert daraus induzierte N₂O-Emissionen; reduzierte N-Verluste am Lager bergen Gefahr höherer N-Verluste am Feld, wenn N-Dichte konstant gehalten wird, so sinkt cet. par. der Kraftfutter- und/oder Mineraldüngerbedarf und damit die THG-Emissionen aus Vorleistungen

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CH₄

Produktionstechnische Umsetzung: Abdeckung Güllelager (nicht gasdichte Abdeckung)

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Einbau Zeltdach mit Stütze, Berechnungen für Durchmesser 12 bis 16 m, EUR 130/m² (BMLRT 2021)

Ist-Situation: die zweite (alte) Güllegrube ist meist nicht abgedeckt, 69 % der Betriebe mit 2+ Güllegruben; 1/3 des Güllelagervolumens von 25 Mio. m³ ist nicht abgedeckt

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	1100 Betriebe mit mind. einer nicht abgedeckten Güllegrube (errechnet aus 8 Mio. m ³ zu 700 m ³ , v.a. Gruben von 500 bis 1500 m ³)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-10 € / ha / yr; ↗ Kosten Güllelagerabdeckung, ↘ Düngekosten; zu 20 % der Klimaschutzmaßnahme und zu 80 % NEC zugerechnet
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	867 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	12 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	4 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Emissionen Wirtschaftsdüngerlager im CRF-Sektor, Mineraldüngerproduktion außerhalb
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: KTBL 2021, BMLRT 2021, Pöllinger et al. 2018, Hülsbergen und Rahmann 2015, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

6.3. Bodennahe Gülleausbringung

Eine bodennahe Gülleausbringung wirkt primär auf die NH₃-Emissionen und wurde hier anteilig als Treibhausgasmaßnahme bewertet.

Klimawirkung: -3 % N₂O und CH₄ in Summe über Prozesskette, Annahme Anteil Klimawirkung 15 % ggü. NEC -> anteilige Kostenzurechnung

Betroffene Treibhausgase: N₂O, CH₄

Produktionstechnische Umsetzung: Ausbringung mit Schleppschlauch oder Schleppschuh

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Kosten für bodennahe Ausbringung, Berechnungen dazu von Umsetzung NEC übernommen

Ist-Situation: von ca. 25 Mio. m³ Gülle ca. 4 Mio. m³ bodennah

Würde potenziell betreffen: Betriebe ab 30 GVE ohne Steilflächen (> 18%), je nach Tierkategorie ca. 25 bis 75% auf Gülle; ca. 1/3 von ca. 500 000 ha Grünland 3+, von 200 000 ha Feldfutter, von 200 000 ha Acker bodennah, <60 m³ Grünland/Futterbau, <45 m³ Acker

Auswirkung auf Betriebsergebnis: -26 € / ha / yr
↗ Kosten Gülleausbringung (€ 3,50/m³)
↘ Düngekosten; zu 15 % der Klimaschutzmaßnahme und zu 85 % NEC zugerechnet

Abschätzung Vermeidungskosten: 333 € / to CO₂e_{GWP100}

Abschätzung spez. Klimawirkung: 78 kg CO₂e_{GWP100} / ha / yr

Abschätzung Klimawirkung Öst.: 30 kt CO₂e_{GWP100} / yr (2030)

Abbildung im NIR: im CRF-Sektor Lw. abbildbar

Weitere Wirkungen: Gesellschaftliche Akzeptanz

Literatur: Pöllinger und Huber 2021, Schwaiger et al. 2019, Hülsbergen und Rahmann 2015, Alig et al. 2015, Hou et al. 2014, Flessa et al. 2012

7. Optionen Energie- und Betriebsmanagement

7.1. Erneuerbare Energieträger am Betrieb (Wärme, Strom)

Ein Ersetzen von fossilen Energieträgern durch erneuerbare verbessert die Klimabilanz.

Klimawirkung: Die Reduktion fossiler Energieträgern kann Treibhausgase reduzieren

Betroffene Treibhausgase: CO₂ (fossil), N₂O (fossil), CH₄ (fossil)

Produktionstechnische Umsetzung: Hinweis: Bei Nutzung von Biomasse (z.B. für Biogasanlagen) kann dies den Flächendruck erhöhen und somit langfristig auch im Sektor Landwirtschaft negative Wirkungen auf Treibhausgasemissionen haben

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Ersetzen von THG aus fossilen Energieträgern am Betrieb durch erneuerbare (z.B. Hackschnitzel statt Öl, zertifizierter Ökostrom statt nationaler Strommix)

Ist-Situation: der Energieeinsatz der Landwirtschaft beträgt ca. 23 PJ, davon betreffen ca. 25 % die Bereiche Wärme und Strom und werden aus nicht erneuerb. Energieträgern gedeckt

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Wärme- und Strombedarf auf lw. Betrieben, schrittweise Umrüstung bis 2040+
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-61 € / ha / yr ↗ Kosten Anlagenumrüstung (Investition), ↗ lfd. Energiekosten (z.B. Ökostrom)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	237 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	257 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	81 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Außerhalb CRF-Sektor Landwirtschaft
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Gesellschaftliche Akzeptanz

Literatur: Alig et al. 2015

7.2. Energieeinsatz und Energieeffizienz (Traktion)

Eine Steigerung der Treibstoffeffizienz verbessert die Klimabilanz.

Klimawirkung: Eine Erhöhung der Energieeffizienz in der Traktion verringert cet. par. den Energieeinsatz und verbessert damit die Klimabilanz im Sektor

Betroffene Treibhausgase: primär CO₂ (fossil)

Produktionstechnische Umsetzung: Fokus auf Treibstoffverbrauch bei Investition in Traktoren und Maschinen, effiziente Auswahl und Gestaltung von Arbeitsgängen

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Verbesserte Technikanwendung und Maschinenkonfiguration, erhöhter Aufwand für Wartung, Umrüstung, Einsatz von Precision Farming Systemen etc.

Ist-Situation: ca. 12 000 TJ / yr, mobile sources (CRF 1.A.4.c.ii)
ca. 800 kt CO₂e / yr (Anderl et al. 2022)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Alle lw. Betriebe (mit Flächenbewirtschaftung)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	-6 € / ha / yr ↗ Arbeits-, Maschinen-, Wartungskosten für Energieeffizienzsteigerung, ↘ Kosten reduzierter Treibstoffeinsatz (Diesel)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	92 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	65 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	53 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Großteils dem Sektor Landwirtschaft zugeordnet
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Pellerin et al. 2017, Hülsbergen und Rahmann 2015, Flessa et al. 2012

7.3. Energieeinsatz und Energieeffizienz (Wärme, Strom)

Eine Steigerung der Energieeffizienz in den Bereichen Gebäudethermie und Stromeinsatz verbessert die Klimabilanz.

<u>Klimawirkung:</u>	Eine Erhöhung der Energieeffizienz verringert cet. par. den Energieeinsatz und damit Treibhausgase
<u>Betroffene Treibhausgase:</u>	CO ₂ (fossil), N ₂ O (fossil), CH ₄ (fossil)
<u>Produktionstechnische Umsetzung:</u>	Energieeffizienz Gebäudebau u. Innenmechanisierung, bspw. Dämmung, Wärmerückgewinnung, Milchkühlung, Konservierung/Lagerung
<u>Einzelbetriebliche Auswirkungen:</u>	Aufwand für thermische Sanierung, Energieberatung, Investitionen in energieeffizientere Systeme
<u>Ist-Situation:</u>	stationary sources (CRF 1.A.4.c.1), ca. 100 kt CO _{2e} / yr (Anderl et al. 2022)

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	Lw. Betriebe mit hohem Wärme- und Stromverbrauch
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	7 € / ha / yr ↗ Arbeits-, Maschinen- und Gebäudekosten für Energieeffizienzsteigerung (Technik-/Wartungskosten), ↘ Kosten reduzierter Energieeinsatz (Wärme, Strom)
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-132 € / to CO _{2eGWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	53 kg CO _{2eGWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	24 kt CO _{2eGWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Nur teilweise dem Sektor Landwirtschaft zugeordnet
<u>Weitere Wirkungen:</u>	–

Literatur: Pellerin et al. 2017, Hülsbergen und Rahmann 2015, Alig et al. 2015, Schader et al. 2014, Flessa et al. 2012

7.4. Maschinenauslastung verbessern

Eine bessere Auslastung landwirtschaftlicher Maschinen, bspw. über Maschinengemeinschaften, kann klimapositiv wirken.

Klimawirkung: Eine bessere Auslastung landwirtschaftlicher Maschinen reduziert Vorleistungsemissionen in der Herstellung in anderen (öst.) Sektoren

Betroffene Treibhausgase: CO₂, vorgelagerte THG aus fossilen Energieträgern

Produktionstechnische Umsetzung: Verstärkt überbetriebliche Maschinennutzung; Reparatur und Instandhaltung

Einzelbetriebliche Auswirkungen: je nach Maschine/Produktion organisatorisch schwierig, sinnvoll vor allem bei selten genutzten Maschinen, alternativ: Erhöhung der Nutzungsdauer von Maschinen; auch Aufwand Maschinenwartung verteilt sich auf mehrere Nutzer

Ist-Situation: es besteht häufig eine Unterauslastung des Fuhrparks

Würde potenziell betreffen: -5% an Mechanisierung (+5 % an Maschinenauslastung)

Auswirkung auf Betriebsergebnis: 11 € / ha / yr
∩ Maschinenfixkosten (ca. 5 %, Annahme), ∩ betriebsstundenunabhängige Reparatur und Instandhaltung, ± betriebsstundenabhängige Kosten, ↗ Transaktionskosten für Maschinengemeinschaften (Arbeitszeit) (alternativ: Auslagerung von Arbeiten)

Abschätzung Vermeidungskosten: -367 € / to CO₂e_{GWP100}

Abschätzung spez. Klimawirkung: 30 kg CO₂e_{GWP100} / ha / yr

Abschätzung Klimawirkung Öst.: 15 kt CO₂e_{GWP100} / yr (2030)

Abbildung im NIR: reduzierte Vorleistungen sind außerhalb CRF-Sektor Lw.

Weitere Wirkungen: –

Literatur: ÖKL-Kolloquium 2017, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

7.5. Klimacheck für landwirtschaftliche Betriebe

Ein Instrument „Klimacheck“ ermöglicht es Entscheidungsträgern am Betrieb, klimarelevante Wirkbereiche einfach und praktikabel festzustellen und zeigt Handlungsspielräume auf.

Klimawirkung: Das Sichtbarmachen und Erkennen von Spielräumen kann, soweit diese einfach umzusetzen sind, klimapositive Handlungen unterstützen

Betroffene Treibhausgase: CO₂, N₂O, CH₄, LUC

Produktionstechnische Umsetzung: Es bestehen Vorlagen für ein neues Analyse-Instrument "Klimacheck" (Bildungs-/Beratungsangebot, Software, o.Ä.), bspw. TEKLA, CoolFarmTool, FarmLife oder auch Umsetzung ähnlich wie Bodenfächer

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Ein Hilfsmittel zur Analyse der Treibhausgase bzw. Klimawirkungen am Betrieb kann Ansatzpunkte für mögliche Veränderungen aufzeigen

Ist-Situation: hohe Unterschiede in der standortkorrigierten Treibhausgas-Effizienz zwischen Betrieben; ein Teil dieses theoretischen Abstands würde sich auch anhand eines Klimachecks in ein praktisches Einsparungspotenzial ummünzen lassen

<u>Würde potenziell betreffen:</u>	alle Betriebszweige, Annahme 30 % der Betriebe, Streuung zw. Betriebskennzahlen > 25 % (cet. par.)
<u>Auswirkung auf Betriebsergebnis:</u>	80 € / ha / yr ↗ Ergebnis, Handlungsspielräume implizieren ergebnispositive Auswirkungen, demgegenüber steht ↗ Arbeitszeitbedarf für die Umsetzung
<u>Abschätzung Vermeidungskosten:</u>	-962 € / to CO ₂ e _{GWP100}
<u>Abschätzung spez. Klimawirkung:</u>	104 kg CO ₂ e _{GWP100} / ha / yr
<u>Abschätzung Klimawirkung Öst.:</u>	52 kt CO ₂ e _{GWP100} / yr (2030)
<u>Abbildung im NIR:</u>	Überwiegend im CRF-Sektor Lw. abbildbar
<u>Weitere Wirkungen:</u>	Betriebswirtschaftliche Kompetenz

Literatur: Koster-Marbot und Bretscher 2020, Peter et al. 2017, Colomb et al. 2012
Überblick über THG-Tools: <https://www.thekla-netzwerk.de/304136/index.php>

8. Landnutzung

8.1. Organische Böden reduziert bewirtschaften

Eine Reduktion/Aufgabe der Bewirtschaftung von wenig ertragreichen Standorten (Streuwiesen, 1-Schnitt Nutzung) auf organischen Böden kann klimapositiv wirken.

Klimawirkung: Reduktion/Aufgabe der Bewirtschaftung organischer Böden (auf ext. Grünlandstandorten), Zurücknahme Drainagen -> reduzierte Torfmineralisation, Reduktion CO₂ und N₂O-Emissionen

Betroffene Treibhausgase: CO₂, N₂O

Produktionstechnische Umsetzung: Flächenausmaß organischer Böden unklar, Studien dz. in Arbeit (BOKU), geringes Ausmaß an organischen Böden in Inventur ausgewiesen

Einzelbetriebliche Auswirkungen: Reduktion/Aufgabe der Bewirtschaftung organischer Böden, denkbar v.a. bei wenig ertragreichen Standorten, Ausgleichschancen

Ist-Situation: Grünland und Acker auf organischen Böden, Abschätzung 80 000 ha, davon 48 000 ha Grünland (Eckhardt et al. 2021)

Würde potenziell betreffen: 33 % im Grünland wiedervernässbar (Annahme), betrifft primär Streu- und 1-Schnitt Flächen

Auswirkung auf Betriebsergebnis: -1100 € / ha / yr; ↘ Erlöse (aber beschränkt auf wenig produktive Standorte), ↗ Kosten Vernässung, Renaturierung, ggf. Pflege

Abschätzung Vermeidungskosten: 394 € / to CO₂e_{GWP100}

Abschätzung spez. Klimawirkung: 2 790 kg CO₂e_{GWP100} / ha / yr

Abschätzung Klimawirkung Öst.: 45 kt CO₂e_{GWP100} / yr (2030)

Abbildung im NIR: nur teilweise im NIR abgebildet (ca. 10 000 ha)

Weitere Wirkungen: Landschaftsästhetik, Biodiversität

Literatur: Eckhardt et al. 2021, Freibauer und Drösler 2021, Wiesmeier et al. 2017, Spanischberger und Mitterböck 2015, Alig et al. 2015, Flessa et al. 2012

9. Ergebnisse und Diskussion

9.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Bericht beschreibt 28 produktionstechnische Minderungsoptionen mit Fokus auf den Zeitraum 2030 bis 2040, die über das WEM-Szenario hinausgehen. Mit einer typischen Maßnahme könnten ca. 40 kt CO₂e_{GWP100} pro Jahr zu Kosten von ca. 140 €/to CO₂e_{GWP100} eingespart werden (zu heutigen Preisen). In der Studie wird nicht ein theoretisches Maximum, sondern eine durchschnittliche Abschätzung über ein mittelfristig mögliches Reduktionspotenzial angegeben.

Für 24 der hier vorgestellten 28 Minderungsoptionen liegt das errechnete Ausmaß einer österreichweiten Anwendung im Bereich von 15 bis 90 kt CO₂e_{GWP100} pro Jahr. Nur zwei der Handlungsoptionen erzielen eine kalkulatorische Einsparung von mehr als 100 kt CO₂e_{GWP100} pro Jahr (Tiergesundheit und Nettonutzungsdauer von Milchkühen verbessern; Einsatz zertifizierter Futtermittel bei Schweinen und Geflügel, z.B. europäische Herkunft).

Für die mittlere Hälfte der Optionen liegen die Vermeidungskosten zwischen -20 und +350 € pro ha. Umgekehrt wurde für je ein Viertel der Minderungsoptionen eine Kostenersparnis von mehr als € 20 pro ha bzw. Zusatzkosten von mehr als € 350 pro ha errechnet.

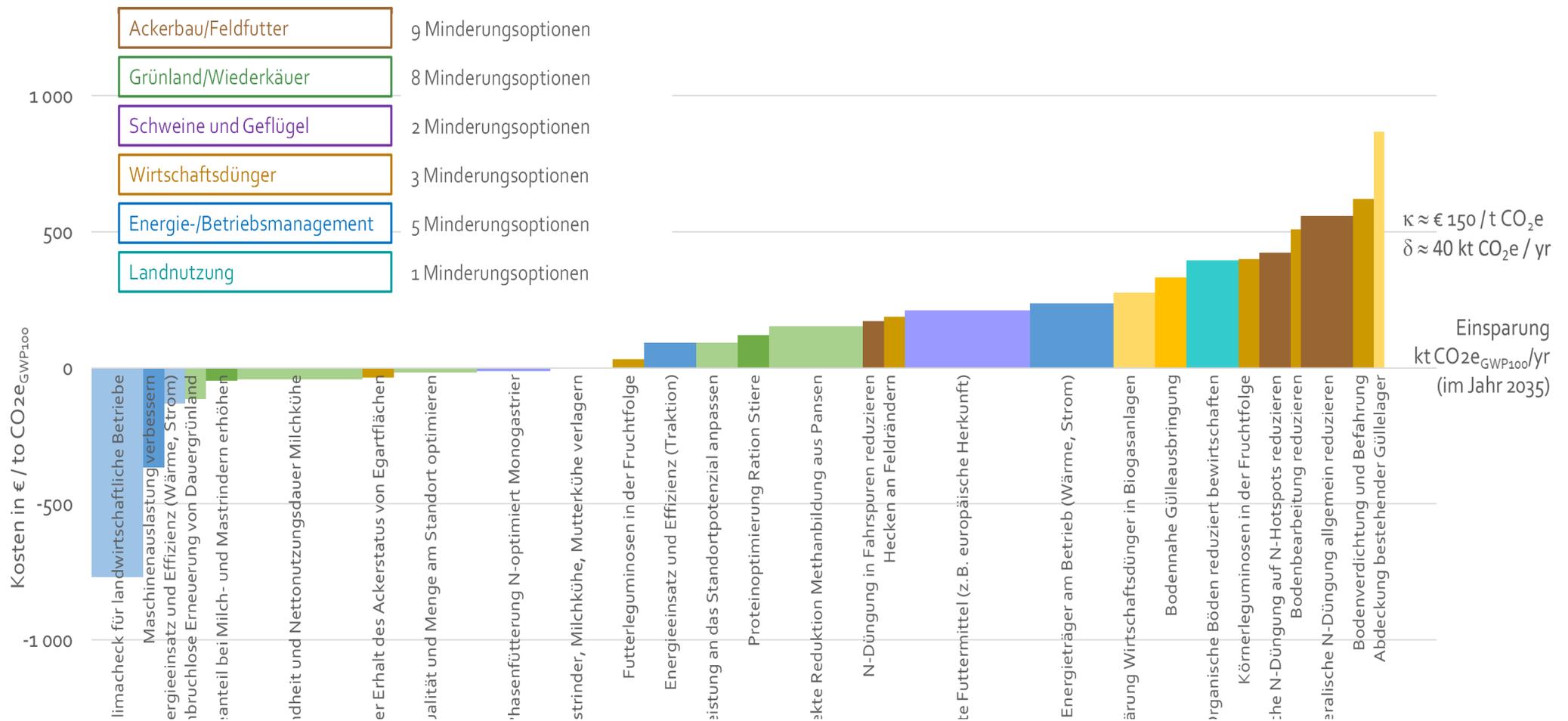
Eine Bewertung des potenziellen Ausmaßes der THG-Vermeidung und der Kostenhöhe der vorgeschlagenen Maßnahmen erfordert eine zusätzliche Interpretation und wird in Abschnitt 9.3 diskutiert.

Hinweis: Die errechneten Ergebnisse zu den einzelnen Minderungsoptionen und die dargestellte Vermeidungskostenkurve sind als indikative Angaben zu verstehen. Sie sollen eine Grundlage für die weitere Diskussion von zukünftigen Möglichkeiten im österreichischen Agrarsektor und einen Ausgangspunkt für weiterführende Berechnungen darstellen.

9.2. Vermeidungskostenkurve

Die folgende Abbildung zeigt die Maßnahmen und ihre jeweiligen Vermeidungskosten und Einsparungspotenziale im Überblick. Die Darstellung in Form einer Vermeidungskostenkurve zeigt auf der horizontalen Achse die Menge an potenziell eingesparten Treibhausgasen in kt CO₂e_{GWP100} / yr. Auf der vertikalen Achse sind die Vermeidungskosten in Euro je eingesparter Tonne an Treibhausgasen aufgetragen. Minderungsoptionen im linken Teil der Abbildung ermöglichen Treibhausgaseinsparungen bei einer gleichzeitigen Kosteneinsparung. Im rechten Teil der Abbildung finden sich Optionen für Treibhausgaseinsparungen, die zusätzliche Kosten verursachen.

Abbildung 1: Treibhausgas-Vermeidungskostenkurve für 28 produktionstechnische Minderungsoptionen in der österr. Landwirtschaft 2030–2040 dargestellt in sechs Bewirtschaftungsbereichen (farbliche Darstellung vgl. Legende); Achsen horizontal Einsparungspotenzial, vertikal Vermeidungskosten; δ ... mittlere sektorale Treibhausgas-Einsparungsmenge pro Maßnahme (kt CO₂e_{GWP100}/ yr), κ ... mittlere Einsparungskosten pro Maßnahme (€ / to CO₂e_{GWP100})



9.3. Interpretation

Von insgesamt 62 eingangs diskutierten Minderungsoptionen wurden aufgrund der beschriebenen Auswahlkriterien 34 Optionen ausgeschieden, 28 Optionen wurden in den Bericht aufgenommen. Dies zeigt, dass im Fachbereich und in der Öffentlichkeit viele Maßnahmen diskutiert werden, die einerseits fachlich-wissenschaftlich unzureichend abgesichert sind und andererseits nicht eigenständig auf Seite der landwirtschaftlichen Urproduktion umgesetzt werden können. Oftmals betrifft dies Maßnahmen, die einen Trade-off zwischen Produktion/Output und Klimaschutz implizieren. In solchen Fällen wäre die Klimaschutzwirkung nicht eindeutig und/oder die Kostenauswirkung hoch.

Im Summe würden die vorgeschlagenen Optionen und das hier diskutierte Ausmaß der Umsetzung eine Emissionsreduktion von ca. 1 200 kt CO₂e_{GWP100} pro Jahr ermöglichen. Zu beachten ist, dass die Maßnahmen nicht zur Gänze addierbar sind und sich zum Teil gegenseitig beeinflussen. Bei voller Addierbarkeit würden die diskutierten Minderungsoptionen ca. 10 % der sektoralen Treibhausgas-Emissionsmenge inkl. der in- und ausländisch vorgelagerten Wirtschaftskette ausmachen. Zum Vergleich: bei einer ähnlichen Anzahl an Maßnahmen wurden für Frankreich bei einer Landwirtschaftsfläche von ca. 27 Mio. ha und einem sektoralen Treibhausgasanteil von 18 % ca. 32 000 kt an Einsparungspotenzial errechnet (Pellerin et al. 2017).

Das Treibhausgas-Einsparungspotenzial der gewählten Maßnahmen, in Summe weniger als 10 % der produktionsbedingten Emissionen, kann einerseits als ermutigend und andererseits als beschränkt eingestuft werden. Eine Interpretation hierzu ist, dass parallel zu produktionsseitigen Maßnahmen auch der Output bzw. der Verbrauch angepasst werden müssten, um maßgebliche Einsparungen zu erzielen. Auch Analysen in anderen Ländern verweisen darauf, dass struktur- und konsumorientierte Maßnahmen in der Gesamtbetrachtung einen hohen Stellenwert einnehmen (Bretscher et al. 2018). Eine Hilfestellung für dahingehende Schritte können konsumorientierte Bilanzierungen bilden.

Einhergehend mit dem beschränkten praktischen Minderungspotenzial sind die hier vorgestellten Optionen als kostengünstig einzustufen. In einer verbreiteten Interpretation sollten Minderungsmaßnahmen, deren Kosten unterhalb der Kosten für Schäden des Klimawandels bzw. unterhalb eines Marktpreises für Emissionen (z.B. € 140 / to CO₂) liegen, auf alle Fälle umgesetzt werden. Ein Grund für die relativ geringen Minderungskosten je eingesparter Emissionseinheit liegt in der expliziten Auswahl von produktionstechnisch umsetzbaren Maßnahmen. Ein anderer Grund liegt darin, dass angenommen wurde, dass die Umsetzung zuerst auf Betrieben bzw. Flächen mit einem günstigen Einsparungs-Kostenverhältnis erfolgt (und andere Betriebe zeitlich erst später nachziehen würden).

9.4. Diskussion

Der Endbericht umfasst 28 potenzielle Minderungsmaßnahmen und begründet gemeinsam mit den Zwischenberichten deren Auswahl und die gewählte Berechnungsmethodik. 34 weitere denkbare Minderungsoptionen wurden dokumentiert und aus fachlichen Gründen nicht in die weitere Analyse aufgenommen (vgl. Abschnitt 2.1). Die Berechnung der mittleren Treibhausgas-Einsparungspotenziale und -Einsparungskosten erfolgte auf Basis einer Ermittlung der betroffenen Mengen und Emissionsfaktoren sowie der betroffenen betrieblichen Erlöse und Kosten (vgl. Abschnitt 2.2). Für jede Maßnahme wurden unter Verwendung von bestehenden Studien und eigenen Berechnungen, u.a. mit Hilfe von Daten aus Lebenszyklusanalysen, das Treibhausgas-Reduktionspotenzial und die Auswirkungen auf das Betriebsergebnis abgeschätzt. Als Horizont für das Ausmaß der Maßnahmenumsetzung wurde der Zeitraum 2030 bis 2040 gewählt und jeweils ein mittleres Ergebnis pro Jahr dargestellt.

Die numerischen Angaben zu den Vermeidungskosten können nicht außerhalb des Kontextes der vorliegenden Studie interpretiert werden. Eine zentrale Aufgabe des Projektes war es, unterschiedliche Vermeidungsoptionen auf einer gemeinsamen Skala darzustellen. Ein Nachteil der konzentrierten Darstellung liegt darin, dass die Maßnahmen nicht einzeln und in ihren jeweils möglichen Ausprägungen/Abstufungen diskutiert werden. Hinzu kommt, dass keine Streuung der Ergebnisparameter abgebildet ist, obwohl je nach Standort und Bewirtschaftungsweise ganz unterschiedliche Voraussetzungen vorliegen und auch die Emissionsfaktoren eine Bandbreite aufweisen. Es ist also beispielsweise die numerische Angabe der spezifischen Klimawirkung pro Hektar auf eine bestimmte Art der Bewirtschaftung bezogen, und kann daher nicht auf beliebige agrarische Flächen bzw. Produktionsformen übertragen werden.

Neben einer hohen Sensitivität der Ergebnisse für getroffene Annahmen bzw. Eingangsdaten ist als weiterer Kritikpunkt auch die Frage zu nennen, auf welche Art die Minderungsoptionen bereits 2030 im hier kalkulierten Ausmaß zur Umsetzung kommen könnten. Die Arbeit stellt zudem keine vollständige Basis für eine Abschätzung der mit den Umstellungen anfallenden, volkswirtschaftlichen Kosten bereit. Es wurden weder die Implikationen einer Umsetzung in Form von konkreten Maßnahmen erörtert, noch vor- und nachgelagerte Effekte vollständig berücksichtigt.

Ein Fokus von zukünftigen Erweiterungen sollte neben der Darstellung von mittleren Werten auch die Darstellung von Spannweiten für die Parameter und die Ergebnisse sein. Damit könnte die Streuung in der Umsetzbarkeit und die Unsicherheit in den Eingangsdaten deutlich dargestellt werden. Methodisch würde dies eine Variation von Parametern wie den produktionstechnischen Voraussetzungen, Aktivitätsdaten, Emissionsfaktoren und Treibhauspotenzial-Metriken bedeuten. Eine Möglichkeit für weiterführende Berechnungen und Modellierungen könnte sich im Zuge des laufenden Dafne-Projektes KLILASZ bieten.

9.5. Fazit

Die vorliegende Übersicht kann die Diskussion über zusätzliche Treibhausgasreduzierungs-Optionen unterstützen. Im Bericht sind mögliche Elemente für Maßnahmen aufgeführt, die über bereits bestehende Punkte im Agrarumweltprogramm und im WEM-Szenario hinausgehen. Die vorliegenden Abschätzungen bilden damit einen Ausgangspunkt, an den weitere fachliche Überlegungen und detaillierte Berechnungen anschließen können und sollen.

Der Bericht betrachtet ausschließlich die landwirtschaftliche Urproduktion und richtet den Fokus auf die Lebensmittelerzeugung. Nicht betrachtet werden die anschließende Lebensmittelverarbeitung und Fragen der Ernährung. Zu bedenken ist daher, dass hier nur ein Teil der ernährungsbedingten Treibhausgasemissionen überhaupt zur Disposition steht, andere aber nicht (z.B. Transporte, Kühlkette, Last Mile, Ort der Konsumtion).

Gegenstand der Berechnungen sind produktionstechnische Veränderungen bei einem annähernd gleichbleibenden Produktionsoutput. Das errechnete Treibhausgasreduzierungs-Potenzial ist in dem Maß, in dem bestimmte Produktionsprozesse nicht variabel sind, begrenzt. Für das Ziel von deutlichen Verbesserungen im Klimaschutz legt dies den Schluss nahe, dass auch verarbeitungs- und konsumtionsseitig deutliche Veränderungen angestoßen werden müssten. Darüber hinaus wären weitreichendere Eingriffe in der Landwirtschaft anhand von Studien zur Folgenabschätzung zu diskutieren.

Die vorliegenden Angaben zu möglichen Reduzierungsmaßnahmen sind insgesamt Gegenstand der weiteren produktionsseitigen Gespräche, u.a. unter Einbindung der Abt. II/8 und der NEKP-Arbeitsgruppe und bäuerlicher Vertretungen. Die weitere Diskussion sollte damit die Entwicklung der agrarischen Produktionsstruktur unterstützen und eine Vision der zukünftigen landwirtschaftlichen Praxis ermöglichen. Mögliche Optionen für Treibhausgaseinsparungen und Klimaschutz sollten dabei auch vor dem Hintergrund anderer Umweltschutzziele und gesellschaftlicher Erwartungen diskutiert werden.

10. Literaturverzeichnis

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.

Anderl, M., Friedrich, A., Gangl, M., Kriech, M., Kuschel, M., Lampert, C., Mandl, N., Matthews, B., Mayer, S., Moldaschl, E., Pazdernik, K., Poupa, S., Purzner, M., Rockenschaub, A.K., Schieder, W., Schmid, C., Schmidt, G., Schodl, B., Schwaiger, E., Schwarzl, B., Stranner, G., Weiss, P., Wieser, M., Zechmeister, A., (2021) Austria's National Inventory Report 2022. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. REP-o811. Umweltbundesamt, Wien, p. 863.

BAB (2020) Internet-Deckungsbeitragsrechner. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen. URL: <https://idb.awi.bmlfuw.gv.at/default.html>.

BMNT (2019) Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich. Periode 2020-2030. Gemäß Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Governance-System für die Energieunion und den Klimaschutz. In: Abteilung IV/1, K.K. (Ed.), Wien, p. 272.

BMLRT (2021) Pauschalkostensätze. Baukosten im landwirtschaftlichen Bauwesen. Beilage zur Sonderrichtlinie des Bundesministers für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus zur Umsetzung von Projektmaßnahmen im Rahmen des Österreichischen Programms für ländliche Entwicklung. Watzinger, M., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hg.) und Kreuzhuber, D., Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung.

Bretscher, D., Ammann, C., Wüst, C., Nyfeler, A., & Felder, D. (2018). Reduktionspotenziale von Treibhausgasemissionen aus der Schweizer Nutztierhaltung. *Agrarforschung Schweiz*, 9(11-12), 376-383.

Colomb, V., Bernoux, M., Bockel, L., Chotte, J. L., Martin, S., Martin-Phipps, C., Mousset, J., Tinlot, M., Touchemoulin, O. (2012). Review of GHG calculators in agriculture and forestry sectors. A Guideline for Appropriate Choice and Use of Landscape Based Tools, V. 2.0.

Drexler, Sophie, Andreas Gensior, and Axel Don. "Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone." *Regional Environmental Change* 21.3 (2021): 1-14.

Feitzlmayr, H. (2018) Eiweißstrategie – Status Quo und Zukunftschance. Vortrag Wintertagung, Fachtag Ackerbau 30.01.2018, Tulln. Landwirtschaftskammer Oberösterreich.

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.

Freibauer, A., Drösler, M. (2021) Klimaschutz durch Moorbodenschutz. Tagungsbeitrag DAF (Dachverband Agrarforschung) Tagung Klimaschutz mit Land- und Forstwirtschaft, 14.10.2021, Frankfurt am Main.

Fritz, C., Finotti, E., Guggenberger, T., Herndl, M., Pöllinger, A., Steinwidder, A., Terler, G. (2019) Erster Zwischenbericht Maßnahmen THG-Reduktion, Analyse der Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen in der österreichischen Landwirtschaft. Dafne Nr. 101324 / 2.

Fritz, C., Finotti, E., Grassauer, F., Guggenberger, T., Herndl, M., Pöllinger, A., Steinwidder, A., Terler, G. (2021a) Zweiter Zwischenbericht Maßnahmen THG-Reduktion, Analyse der Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen in der österreichischen Landwirtschaft. Dafne Nr. 101324 / 2.

Fritz, C., Grassauer, F., & Terler, G. (2021b). Abschätzung von Treibhausgas-Vermeidungskosten: Methodik und Anwendung am Beispiel eines erhöhten Weidefutteranteils auf rinderhaltenden Betrieben in Österreich. *Austrian Journal of Agricultural Economics and Rural Studies*, 30, 19-26.

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.

Herndl, M., Baumgartner, D. U., Fasching, C., Guggenberger, T., Bystricky, M., Gaillard, G., Lansche, J., Steinwidder, A., Nemecek, T. (2016). Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich. *Raumberg-Gumpenstein*, p. 63.

Hörtenhuber, S., Piringer, G., Zollitsch, W., Lindenthal, T., & Winiwarter, W. (2014). Land use and land use change in agricultural LCAs and carbon footprints – The case for regionally specific LUC versus other methods. *Journal of Cleaner Production*, 73, 31-39.

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.

Hülsbergen, K.-J., Rahmann, G., (2015) Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme: Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Thünen Report. Thünen, Weihenstephan/Trenthorst.

Kirchengast, G., Kromp-Kolb, H., Steininger, K., Stagl, S., Kirchner, M., Ambach, C., Grohs, J., Gutsohn, A., Peisker, J., Strunk, B., (2019) Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich (Ref-NEKP) Executive Summary – Publierte Version.

Kolstad, C., Urama, K., Broome, J., Bruvoll, A., Cariño-Olvera, M., Fullerton, D., Gollier, C., Hanemann, W.M., Hassan, R., Jotzo, F., (2014) Social, economic and ethical concepts and methods.

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/>

Koster-Marbot, B., Bretscher, D. (2020) Landwirtschaftliche Klima-Tools - eine vergleichende Übersicht ausgewählter Methoden zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen von landwirtschaftlichen Betrieben. Agridea Arbeitsdokument, Stand 8. Oktober 2020.

Krauss, M., Wiesmeier, M., Don, A., Cuperus, F., Gattinger, A., Gruber, S., ... & Steffens, M. (2022) Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*, 216, 105262.

Krutzler, T., Zechmeister, A., Stranner, G., Wiesenberger, H., Gallauner, T., Gössl, M., Heller, C., (2017) Energie- und Treibhausgas-Szenarien im Hinblick auf 2030 und 2050. Umweltbundesamt, Wien, p. 95.

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.

Mosnier, C., Julliere, T., Britz, W., De Cara, S., Jayet, P. A., Havlík, P., Frank, S., Mosnier, A. (2018). Greenhouse gas abatement strategies and costs in dairy production—a comparison across bio-economic models. 12. Journées de Recherches en Sciences Sociales.

Müller Richli, M., & Scheeder, M. (2019). Schweinefleisch: gute Mastergebnisse trotz reduziertem Rohproteingehalt im Futter. *Agrarforschung Schweiz*, 10(4), 156-163.

O'Brien, D., Shalloo, L., Crosson, P., Donnellan, T., Farrelly, N., Finnan, J., Hanrahan, K., Lalor, S., Lanigan, G., Thorne, F., (2014) An evaluation of the effect of greenhouse gas accounting methods on a marginal abatement cost curve for Irish agricultural greenhouse gas emissions. *Environmental Science & Policy* 39, 107-118.

ÖKL-Kolloquium (2017) Landtechnisches Kolloquium des ÖKL. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, Wien. Vortragsreihe am 29.11.2017, Linz. <https://oekl.at/oekl/bildungsprogramm/oekl-kolloquium/2017-maschinenkosten-senken/>

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 Science & Policy* 77, 130-139.

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.

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.

Pistrich, K., Wendtner, S., & Janetschek, H. (2014). Versorgung Österreichs mit pflanzlichem Eiweiß—Fokus Sojakomplex. Endbericht des Projektes Nr. AWI/167/09. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 107, Wien.

Pöllinger, A., Zentner, A., Brettschuh, S., Lackner, L., Amon, B., Stickler, Y., (2018) Abschlussbericht TIHALO II. Erhebung zum Wirtschaftsdüngermanagement aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung in Österreich.

Pöllinger, A., Huber, G. (2021) Bodennahe Ausbringtechniken NEC – Berechnungen zu den Kosten einer bodennahen Gängeausbringung bei typischen Betriebsvoraussetzungen (unveröffentlicht). Raumberg-Gumpenstein.

Resl, T., Pistrich, K.H., Steinwider, A., Krimberger, K., Bader, R. (2019) Versorgungsbilanz für Eiweißfuttermittel in der österreichischen Landwirtschaft. Vortrag 05.04.2019, 14. Runder Tisch "Eiweißstrategie", AGES.

Reisinger, A., Ledgard, S.F., Falconer, S.J., (2017) Sensitivity of the carbon footprint of New Zealand milk to greenhouse gas metrics. *Ecological Indicators* 81, 74-82.

Roth, U., Döhler, H., Niebaum, A., Amon, T. Friedl, G. (2017): Treibhausgasbilanzen und –minderungskosten landwirtschaftlicher Biogasanlagen. In: KTBL, Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven, Bayreuth.

Schader, C., Jud, K., Meier, M. S., Kuhn, T., Oehen, B., & Gattinger, A. (2014). Quantification of the effectiveness of greenhouse gas mitigation measures in Swiss organic milk production using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 73, 227-235.

Schmeer, M., Loges, R., Nannen, D., Senbayram, M., Taube, F. (2009) Lachgasemissionen auf intensiv genutztem Grünland in Abhängigkeit von Bodenverdichtung und Stickstoffdüngung. Futterbau und Klimawandel: Grünlandwirtschaft als Quelle und Senke von Klimagasen, 79-87.

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. (2019) Bewertung der Auswirkungen der Schwerpunktbereiche Verringerung Treibhausgase Landwirtschaft (5d) Kohlenstoffspeicherung in Land- u. Forstwirtschaft (5E) Programm LE14-20. Endbericht, Wien, p. 33.

Sinabell, F., Schönhart, M., Schmid, E., (2018) Austrian Agriculture 2020-2050. Scenarios and Sensitivity Analyses on Land Use, Production, Livestock and Production Systems. WIFO Studies.

Spanischberger, A., Mitterböck, N. (2015): Arbeitsgruppe Boden und Klima. Einflussfaktoren, Daten, Maßnahmen und Anpassungsmöglichkeiten. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, p. 81.

Sponagel, C., Angenendt, E., Zimmermann, B., Bahrs, E. (2021) Zusammenspiel von ökonomischer Vorzüglichkeit und Klimaschutzpotenzial der Körnerleguminosen in der deutschen Landwirtschaft mit Hinweisen zur Umsetzung einer Förderung, Abschlussbericht. Universität Hohenheim Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., UFOP-Schriften.

Steininger, K.W., Munoz, P., Karstensen, J., Peters, G.P., Strohmaier, R., Velázquez, E., (2018) Austria's consumption-based greenhouse gas emissions: Identifying sectoral sources and destinations. *Global environmental change* 48, 226-242.

Wiesmeier, M., Burmeister, J., Treisch, M., Brandhuber, R., (2017) Klimaschutz durch Humusaufbau – Umsetzungsmöglichkeiten der 4 Promille-Initiative in Bayern. 15. Kulturlandschaftstag, Landwirtschaft im Klimawandel, Freising, 21-30.

Wolff, V., Alig, M., Nemecek, T., & Gaillard, G. (2016). Ökobilanz verschiedener Fleischprodukte. Geflügel-, Schweine- und Rindfleisch. Schlussbericht Projekt „EnviMeat“. Fassung Dez. 2016. Agroscope, Zürich.

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.

Zethner, G., Süßenbacher, E. (2012) Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen. Evaluierung hinsichtlich Klimaschutzrelevanz. UBA REP-0377, Wien.

HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal
raumberg-gumpenstein.at