




Konzeptionelle Entwicklung einer interaktiven Webplattform zur Kommunikation klimaschutzrelevanter Modellergebnisse in der Landwirtschaft

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

 Bundesministerium
Bildung, Wissenschaft
und Forschung



LAND
OBERÖSTERREICH



umweltbundesamt^U



Projektmitarbeiterinnen und Autorinnen des Berichts:

DI Katharina Falkner, DI Bernadette Kropf, Priv.-Doz. DDI Dr. Hermine Mitter, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung, Feistmantelstraße 4, 1180 Wien, Kontakt: katharina.falkner@boku.ac.at



Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Falkner, K.; Kropf, B., Mitter, H. (2022): Konzeptionelle Entwicklung einer interaktiven Webplattform zur Kommunikation klimaschutzrelevanter Modellergebnisse in der Landwirtschaft. Endbericht von StartClim2021.D in StartClim2021: Handeln und Aktivieren, Auftraggeber: BMK, BMWF, Klima- und Energiefonds, Land Oberösterreich.

Wien, im Dezember 2022

StartClim2021.D

Teilprojekt von StartClim2021

Projektleitung von StartClim:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie und Klimatologie, Gregor-Mendel-Straße 33, 1190 Wien

www.startclim.at

StartClim2021 wurde aus Mitteln des BMK, BMWF, Klima- und Energiefonds und dem Land Oberösterreich gefördert.

Inhaltsverzeichnis

D-1	Kurzfassung.....	7
D-2	Abstract.....	8
D-3	Einleitung	9
D-3.1	Ausgangssituation und Motivation	9
D-3.2	Projektziele	9
D-3.3	Vorgehensweise.....	10
D-4	Literaturüberblick	11
D-4.1	Methode.....	11
D-4.2	Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft.....	12
D-4.2.1	Tierhaltung	12
D-4.2.2	Ackerbau.....	20
D-4.3	Interaktive Webplattformen.....	22
D-4.3.1	Grundlagen	22
D-4.3.2	Technische Umsetzungsschritte und -empfehlungen.....	23
D-4.3.3	Potenzielle Nutzer:innen und Anwendbarkeit.....	24
D-5	Qualitative Interviews.....	27
D-5.1	Modell der privaten, proaktiven Anpassung an den Klimawandel (MPPACC)	27
D-5.2	Grundlagen und Prinzipien qualitativer Sozialforschung	28
D-5.3	Leitfaden-gestützte Interviews.....	29
D-5.3.1	Erstellung des Interviewleitfadens.....	29
D-5.3.2	Auswahl der Interviewpartner:innen.....	30
D-5.3.3	Interviewführung und Transkribieren	31
D-5.4	Analyse der Interviews	32
D-5.4.1	Qualitative Inhaltsanalyse der Interviewtranskripte.....	32
D-6	Ergebnisse der qualitativen Interviews	33

D-6.1	Wahrgenommene klimatische Veränderungen und betriebliche Klimawandelauswirkungen.....	33
D-6.1.1	Wahrgenommene klimatische Veränderungen.....	33
D-6.1.2	Wahrgenommene betriebliche Klimawandelauswirkungen	33
D-6.2	Einstellung zu und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen.....	34
D-6.2.1	Aktuell umgesetzte Klimaschutzmaßnahmen	34
D-6.2.2	Aktuell nicht umgesetzte Klimaschutzmaßnahmen	35
D-6.2.3	Erwartungshaltung von Landwirt:innen zur Maßnahmenumsetzung	35
D-6.2.4	Wahrgenommene Auswirkungen der Maßnahmenumsetzung	38
D-6.3	Informationsverhalten und Einstellung zu interaktiven Webplattformen	39
D-6.3.1	Informationsverhalten hinsichtlich Maßnahmenwirksamkeit und -auswirkung von Landwirt:innen.....	39
D-6.3.2	Erfahrungen und Einstellungen von Landwirt:innen zu interaktiven Webplattformen.....	40
D-6.3.3	Anforderungen von Landwirt:innen an eine interaktive Webplattform zur Kommunikation klimaschutzrelevanter Modellergebnisse.....	41
D-7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	43
D-8	Referenzen.....	45

Abbildungsverzeichnis

Abb. D-1: Drei Ebenen von Informationen sowie deren Verbindung zu den drei wesentlichen Funktionen einer interaktiven Webplattform (eigene Darstellung nach Eckerson, 2012, 2011).	23
Abb. D-2: Wesentliche Rollen bei der Entwicklung und potenzielle Nutzer:innen der angestrebten, interaktiven Webplattform und wichtige Informationsflüsse (eigene Darstellung nach Schneider et al., 2019).....	25
Abb. D-3: Modell der privaten, proaktiven Anpassung an den Klimawandel (MPPACC; eigene, adaptierte Darstellung nach Grothmann und Patt, 2005)	27
Abb. D-4: Von den Interviewpartner:innen erwähnte Informationsquellen. (eigene Darstellung)	39
Abb. D-5: Von den Interviewpartner:innen erwähnte Informationsquellen. (eigene Darstellung)	40

Tabellenverzeichnis

Tab. D-1: Informationsbedarf für die Wahl der geeigneten Datengrundlage als Basis für die Entwicklung einer interaktiven Webplattform (nach Janes et al., 2013)	23
--	----

D-1 Kurzfassung

Global ist der Agrarsektor für fast die Hälfte der gesamten nicht-CO₂ Treibhausgas (THG-) Emissionen verantwortlich, wobei Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) von besonderer Bedeutung sind. In Österreich entfallen etwa 10% der gesamten THG-Emissionen (inkl. Emissionshandel) auf die Landwirtschaft, daran haben CH₄ und N₂O einen Anteil von 65% bzw. 34%. Zur Erreichung der europäischen und österreichischen Klimaziele ist in allen Sektoren - auch in der Landwirtschaft - eine Minderung der THG-Emissionen notwendig. Zahlreiche Studien bestätigen die technische Machbarkeit und Umsetzbarkeit von THG-Reduktionsmaßnahmen im Agrarsektor. Deren Umsetzung hinkt jedoch hinterher. Eine gezielte und verständliche Kommunikation wissenschaftlicher Ergebnisse sowie die Kooperation zwischen Wissenschaft, Landwirt:innen, Politik und Gesellschaft ist notwendig, um die Klimaschutzpotenziale im Agrarsektor zu verdeutlichen und die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen voranzutreiben. Im Projekt wurde dazu ein Konzept für die Erstellung einer interaktiven Webplattform zur Kommunikation klimaschutzrelevanter Ergebnisse aus der Landnutzungsmodellierung erarbeitet und aus der Sicht von Landwirt:innen relevante, darzustellende Kennzahlen bestimmt. Als Grundlage wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zu klimaschutzrelevanten Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft sowie zur technischen Umsetzung von interaktiven Webplattformen durchgeführt. Die Literatur wurde strukturiert aufbereitet. Für die Bestimmung der darzustellenden Kennzahlen wurden Leitfaden-gestützte Interviews mit österreichischen Landwirt:innen aus den Bereichen Ackerbau und Tierhaltung geführt. Die Landwirt:innen wurden zu den von ihnen bereits umgesetzten Klimaschutzmaßnahmen, ihren Kenntnissen, Erwartungen und Erfahrungen sowie zu ihrem Informationsverhalten befragt. Die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse zeigen, dass viele Landwirt:innen bereits Bewirtschaftungsmaßnahmen umsetzen, die zur Reduktion der THG-Emissionen im Agrarsektor beitragen können. Die Entscheidungen von Landwirt:innen werden davon jedoch nicht beeinflusst bzw. Landwirt:innen sind kaum über die Klima(schutz)wirkung von Maßnahmen informiert. Dies deutet darauf hin, dass ein verstärkter Wissenstransfer – z.B. über die angestrebte Webplattform – notwendig ist, um die proaktive Umsetzung individueller Klimaschutzmaßnahmen zu erleichtern. Die Entscheidung für oder gegen eine Bewirtschaftungsmaßnahme wird vor allem von ökonomischen Überlegungen (Kosten (-einsparungen), Ertragserwartungen) beeinflusst. Der Großteil der befragten Landwirt:innen kann sich vorstellen eine interaktive Webplattform, welche eingesparte THG-Emissionen anzeigt, im Rahmen betrieblicher Planungsprozesse zu verwenden. Neben dem THG-Reduktionspotenzial und der Berücksichtigung detaillierter standortspezifischer Informationen (z.B. Bodeneigenschaften) sehen Landwirt:innen die Darstellung ökonomischer Kennzahlen als zentrale Anforderung an eine interaktive Webplattform.

D-2 Abstract

Globally, the agricultural sector accounts for almost half of the total non-CO₂ greenhouse gas (GHG) emissions, with methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) accounting for the largest shares. In Austria, agriculture accounts for about 10% of the total GHG emissions (including emission trading), with CH₄ and N₂O accounting for 65% and 34%, respectively. To achieve the ambitious European and Austrian climate targets, a reduction of GHG emissions is necessary in all sectors, including the agricultural sector. Recent research confirms the technical feasibility and effectiveness of GHG reduction measures in the agricultural sector. However, their implementation is lagging behind. A targeted and comprehensible communication of scientific results as well as cooperation between scientists, farmers, policymakers, and society is needed to increase the knowledge on climate mitigation measures and potentials and to advance the adoption of climate mitigation measures in the agricultural sector. This project aimed at developing a concept for an interactive web platform for the communication of climate mitigation-relevant results from land use modelling was developed and relevant benchmarks to be presented from the perspective of farmers were determined. As a basis, an extensive literature review on the GHG reduction potential of agricultural management measures and on the technical implementation of web platforms was conducted. To determine the benchmarks to be presented in the web platform, semi-structured interviews were conducted with crop and livestock farmers. The farmers were asked about their knowledge and expectations on, experiences with and implementation of management measures that contribute to the reduction of farm-level GHG emissions. Moreover, they were asked about their information behavior and their attitude towards the planned web platform. The interviews were analyzed by means of qualitative content analysis. The results show that many farmers are already implementing management measures that can contribute to the reduction of GHG emissions in the agricultural sector. However, their decision for implementing a certain management measure is not influenced by the GHG reduction potential and farmers have little information on the climate (mitigation) effect of their farm and land management. This indicates that an increased knowledge transfer, e.g., via the targeted web platform, is needed to facilitate the proactive implementation of individual climate protection measures. The decision for or against management measures is mainly influenced by economic considerations (cost (savings), yield expectations). The majority of the interviewed farmers shows interest in using an interactive web platform which presents and compares the GHG reduction potential from management measures. Besides the GHG reduction potential and the consideration of detailed site-specific conditions (e.g., soil properties, local climate conditions), the presentation of economic benchmarks were mentioned as incentives to use the interactive web platform.

D-3 Einleitung

D-3.1 Ausgangssituation und Motivation

Global ist der Agrarsektor der größte Emittent von nicht-CO₂ Treibhausgas (THG-) Emissionen, wobei Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) von besonderer Bedeutung sind (vgl. z.B. Reay et al., 2012). Der Agrarsektor ist für fast die Hälfte der gesamten nicht-CO₂ THG-Emissionen verantwortlich, mit wesentlichen Beiträgen von Viehzucht, Acker- und Weideland sowie Reisanbau (United Nations Environment Programme, 2020). In Österreich entfallen etwa 10% der gesamten THG-Emissionen (inkl. Emissionshandel) auf die Landwirtschaft, wobei CH₄ einen Anteil von 65% und N₂O von 34% haben. Die größte Emissionsquelle sind mit einem Anteil von ca. 57% Gärungs- und Verdauungsprozessen von Wiederkäuern, gefolgt von der Düngung, deren Anteil ca. 28% beträgt (Anderl et al., 2020a). Die Entwicklung der THG-Emissionen des österreichischen Agrarsektors zeigt, dass diese im Zeitraum 1990 bis 2018 um 13,7% abgenommen haben. Eine Entwicklung die auf einen abnehmenden Viehbestand und eine Effizienzsteigerung in der Düngung zurückzuführen ist. Dennoch wurden in den letzten Jahren die im nationalen Klimaschutzgesetz (2011) festgelegten Höchstmengen überschritten (Anderl et al., 2019a, 2020b).

In der EU wurde die Reduktion von THG-Emissionen zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2050 zu einem der wichtigsten politischen Ziele erklärt. In Österreich wird im aktuellen Regierungsprogramm Klimaneutralität bereits im Jahr 2040 - und damit zehn Jahre früher als in der EU - angestrebt, mit dem Zwischenziel die THG-Emissionen bis 2030 um 50% gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren (BKA Österreich, 2020). Um diese ambitionierten Ziele zu erreichen, wurde auf EU- und nationaler Ebene eine Reihe von Gesetzen und Strategien erarbeitet und eingeführt. Zur Erreichung der europäischen und österreichischen Klimaziele ist in allen Sektoren - auch in der Landwirtschaft - eine Minderung der THG-Emissionen notwendig. Zum Beispiel sieht das Fit-for-55-Paket (COM/2021/550, 2021) der EU vor, dass der gesamte AFOLU-Sektor (Agriculture, Forestry, and Other Land Use; Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung) bis 2035 klimaneutral wird. Gleichzeitig stellen diese Ziele und Regelwerke für viele Sektoren zahlreiche Herausforderungen dar. In der Landwirtschaft sind bspw. tierhaltende Betriebe, die einen großen Anteil an der Wertschöpfung des Sektors haben, besonders stark von THG-Reduktionsmaßnahmen betroffen. Die Literatur bestätigt die technische Machbarkeit und die Umsetzbarkeit von THG-Reduktionsmaßnahmen im Agrarsektor (z.B. Himics et al., 2020; Frank et al., 2018; Winiwarter et al., 2018).

Die Umsetzung von THG-Reduktionsmaßnahmen hinkt jedoch hinterher und aktuelle Analysen zeigen, dass die Klimaschutzpotenziale im Agrarsektor in vielen Analysen unterschätzt werden (Frank et al., 2018). Für die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen auf den landwirtschaftlichen Betrieben ist eine klare und verständliche Kommunikation wissenschaftlicher Ergebnisse sowie eine Kooperation zwischen Wissenschaft, Landwirt:innen, Politik und Gesellschaft unabdingbar. Eine aktuelle Eurobarometer-Umfrage (European Commission. Directorate General for Communication., 2021) bestätigt dies. Die Ergebnisse zeigen zwar, dass gesellschaftliches Interesse an Wissenschaft und Technologie besteht, sich die Befragten jedoch nicht gut über wissenschaftliche Entwicklungen informiert fühlen und wissenschaftliche Entwicklungen von fast der Hälfte der Befragten als kompliziert und unverständlich wahrgenommen werden.

D-3.2 Projektziele

Als Instrument zur Unterstützung der Bewältigung von Herausforderungen in Verbindung mit Klimaschutz in der Landwirtschaft ist die [Erstellung einer interaktiven Webplattform zur Kommunikation klimaschutzrelevanter Ergebnisse aus der Landnutzungsmodellierung](#) geplant, welche

1. klimaschutzrelevante Kennzahlen (z.B. THG-Emissionen auf landwirtschaftlicher Betriebsebene) aus der integrierten Landnutzungsmodellierung dynamisch und für unterschiedliche Nutzergruppen darstellt und
2. die Auswirkungen von veränderten Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Düngung, Bodenbearbeitung) oder Technologien (z.B. Wirtschaftsdüngermanagement, Präzisionslandwirtschaft) aufzeigt.

Im Rahmen des Projektes sollen die darzustellenden Kennzahlen, d.h. klimaschutzrelevante Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft, erhoben und ein Konzept für die Umsetzung der interaktive Webplattform zur Kommunikation dieser Ergebnisse erstellt werden.

Eine interaktive Webplattform kann die Kommunikation wissenschaftlicher Ergebnisse fördern. So können Unsicherheiten zur Effektivität und Effizienz von Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft reduziert werden und die Auswahl und Umsetzung von Maßnahmen im Agrarsektor motiviert und unterstützt werden.

D-3.3 Vorgehensweise

Die Umsetzung des Projektes erfolgt in zwei wesentlichen Schritten:

1. Verfassen eines Literaturüberblicks zum Thema des Projektes (Kapitel D-4).
2. Leitfaden-gestützte Interviews mit österreichischen Landwirt:innen zur Erhebung/Identifikation der Einstellung zu einem Set an darzustellenden klimaschutzrelevanten Bewirtschaftungsmaßnahmen und Kennzahlen sowie der Nutzung einer interaktiven Webplattform.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die angewandten Methoden und die Ergebnisse dargestellt.

D-4 Literaturüberblick

D-4.1 Methode

Mittels einer Schlagwortsuche wurde deutsch- und englischsprachige Literatur identifiziert, die für das Projekt - konzeptionelle Entwicklung einer interaktiven Webplattform zur Identifikation klimaschutzrelevanter Modellergebnisse in der Landwirtschaft - relevant ist. Die Hauptziele des Literaturstudiums sind

1. einen Überblick über Bewirtschaftungsmaßnahmen und Technologien in der Landwirtschaft zu geben, welche zur Reduktion der THG-Emissionen und damit zum Klimaschutz beitragen können.
2. ein Vorgehen für die technische Umsetzung der interaktiven Webplattform zu identifizieren.
3. einen Überblick über die Ist-Situation zur Umsetzung und Nutzung von interaktiven Webplattformen, mit besonderem Fokus auf die Landwirtschaft, zu geben.

Beispiele für die verwendeten Schlagworte sind: Klimaschutz in der Landwirtschaft, landwirtschaftliche Klimaschutzmaßnahmen, Emissionsreduktion in der Landwirtschaft, agricultural climate change mitigation, agricultural climate change mitigation measures, reduction of agricultural GHG emissions, farm-level emission reduction, webbasierte Kommunikationsplattformen, webbasiertes Dashboard, klimaschutzrelevante Kennzahlen in der Landwirtschaft, web-based communication platform, interactive web platform, web-based dashboard, agricultural climate change mitigation benchmarks. Bei der Literatursuche wurde ein Fokus auf Maßnahmen auf Betriebsebene sowie auf webbasierte Kommunikationsplattformen mit Bezug zur Landwirtschaft gelegt.

Die als relevant identifizierte Literatur wurde thematisch zusammengefasst und strukturiert aufbereitet. Die zwei wesentlichen Themen sind (i) Klimaschutzmaßnahmen und damit verbundene THG-Reduktionspotenziale in der Landwirtschaft mit einem Schwerpunkt auf nicht-CO₂ THG-Emissionen und (ii) interaktive Webplattformen. Im den nachfolgenden Kapiteln werden diese Themen anhand aktueller, internationaler und nationaler Literatur möglichst umfassend erläutert.

Die dargestellten Klimaschutzmaßnahmen haben neben der THG-Reduktion auch Wirkungen auf andere Umweltbereiche, wie die Biodiversität oder den Grundwasserschutz sowie gesamtökonomische Effekte. Auf diese Wirkungen wird im Rahmen des Literaturüberblicks nicht eingegangen. Zum Beispiel zeigen Studien für intensiv wirtschaftende Milchproduktionsbetriebe ein geringeres THG-Potenzial der Flächenmilchleistung im Vergleich zu ökologisch wirtschaftenden Betrieben. Diesem Trend können jedoch durch vermehrte Kraftfutterzukäufe oder ein höheres Eutrophierungspotenzial gegenüberstehen (vgl. Marton and Guggenberger, 2015). Der Schwerpunkt des Literaturüberblicks liegt auf nicht-CO₂ THG-Emissionen, da CO₂ Emissionen bzw. deren Reduktion vorwiegend auf den Maschineneinsatz und Transportwege zurückgeführt werden können, welche gemäß der Nationalen Treibhausgasinventur (Anderl et al., 2020a) nicht dem Agrarsektor zugerechnet werden.

D-4.2 Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft

Im Agrarsektor entstehen THG-Emissionen sowohl im Bereich Ackerbau als auch in der Grünlandbewirtschaftung und Tierhaltung, womit auch in allen Bereichen für die THG-Emissionsreduktion relevante Bewirtschaftungsmaßnahmen vorhanden sind - wenn auch mit unterschiedlichem Reduktionspotenzial. Im Zusammenhang mit der Reduktion von nicht-CO₂ THG-Emissionen in der Landwirtschaft haben vor allem Stickstoff (N₂O Lachgas, NH₃ Ammoniak) und Methan (CH₄) eine hohe Bedeutung. Lachgasemissionen kommen überwiegend aus Böden, während Methanemissionen zum größten Teil auf die Tierhaltung (Wiederkäuerverdauung und Wirtschaftsdüngermanagement) zurückzuführen sind.

D-4.2.1 Tierhaltung

Im Agrarsektor ist insbesondere die Tierhaltung (Wirtschaftsdüngermanagement, Weidehaltung, Stallsituation) mit hoher CH₄ und Stickstoffverluste - v.a. in Form von Ammoniak (NH₃) - verbunden. Zum Beispiel sind in Österreich 56% der nationalen NH₃ Emissionen auf die Rinderhaltung zurückzuführen und weitere 17% bzw. 9% auf die Schweine- und Geflügelhaltung (Anderl et al., 2016).

D-4.2.1.1 Wirtschaftsdüngermanagement

Als Wirtschaftsdünger (wirtschaftseigener Dünger) bezeichnet man organische Substanz, die in der Land- und Forstwirtschaft anfällt und zur Düngung eingesetzt wird. Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft umfassen Gülle, Jauche und Mist, also die Ausscheidungen von Tieren (Kühe, Schweine, Geflügel, Schafe, Pferde, etc.) die zur Herstellung von Lebensmitteln (z.B. Fleisch, Milch) gezüchtet werden (Statistik Austria, 2018). Zudem kann auch Pflanzenmaterial, welches als Einstreu für die Tiere verwendet wird (z.B. Stroh) enthalten sein. Wirtschaftsdünger kann in fester (Festmist) und flüssiger (Jauche, Gülle; Flüssigmist) Form vorkommen. Zu festen Wirtschaftsdüngern zählen zusätzlich die Feststoffe aus der Gülleseparierung sowie Gärreste und getrockneter Hühnerkot (Amon et al., 2021). In Österreich fielen im Jahr 2020 ca. 33,8 Mio. m³ Wirtschaftsdünger an, davon ca. 9,3 Mio. m³ Festmist und 24,5 Mio. m³ Flüssigmist (Statistik Austria, 2022). Das Wirtschaftsdüngermanagement bietet mehrere Ansätze zur Reduktion der nicht-CO₂ THG-Emissionen.

D-4.2.1.1.1 Wirtschaftsdüngerlagerung

Im Zuge der Lagerung des Wirtschaftsdüngers werden - je nach Art der Lagerung - beträchtliche Mengen an CH₄, N₂O und NH₃ freigesetzt (Amon et al., 2005; Smith et al., 2007). In Österreich entstehen etwa 11% der gesamten NH₃-Emissionen aus dem Agrarsektor bei der Wirtschaftsdüngerlagerung (Anderl et al., 2016). Die **Abdeckung von Wirtschaftsdüngerlagern** gilt als effiziente Maßnahme zur Reduktion von THG-Emissionen während der Lagerung. Die emissionsarme Lagerung von Wirtschaftsdünger wird auch im österreichischen Nationalen Luftreinhalteprogramm (BMNT, 2019a) als Maßnahme zur Erreichung der Reduktionsziele für NH₃ (lt. NEC-Richtlinie, 2016) genannt, dabei existieren Unterschiede zwischen Flüssig- und Festmist.

Bei Güllelagern soll der Luftaustausch mit der emittierenden Oberfläche der Gülle minimiert werden (Anderl et al., 2016). Grundsätzlich gilt es die Oberfläche pro Gülle-Volumeneinheit zu verringern (Amon et al., 2021; UN/ECE, 1999). Die Arten der Abdeckungen für Güllelager unterscheiden sich hinsichtlich der Wirksamkeit zur Reduktion von THG-Emissionen und der Kosten (Döhler et al., 2011).

- Eine **natürliche Schwimmdecke** bildet sich v.a. bei Rindergülle, jedoch auch bei faser- und trockensubstanzreicher Schweinegülle aus (Anderl et al., 2016; Döhler et al., 2011). Minimales Aufrühren der gelagerten Gülle und ein ausreichend hoher Trockenmassegehalt ermöglichen die Bildung einer ausreichend dicken, natürlichen Kruste (UN/ECE, 1999). Hingegen bildet sich bei dünnflüssiger Schweinegülle, Jauche und den meisten Gärresten keine natürliche

Schwimmdecke aus. Eine natürliche Schwimmdecke ist im Vergleich zu den Alternativen die einfachste und kostengünstigste Form der Abdeckung (Döhler et al., 2011).

- Güllelager können auch mittels **Strohdecken oder Leichtschüttungen** (z.B. gebrannten Tonkugeln, Blähton) mit natürlichen Materialien abgedeckt werden (Döhler et al., 2011; UN/ECE, 1999; Pöllinger et al., 2011; Anmerkung: Schwimmgranulate werden fallweise auch den künstlichen Abdeckungen zugeordnet, siehe z.B. Anderl et al., 2016). Strohdecken haben den Nachteil, dass sie mehrmals jährlich erneuert werden müssen. Zur Gewährleistung einer THG-Emissionsreduktion sollte die Auflage zudem 10 cm dick sein. Im Vergleich dazu ist bei Leichtschütten jährlich nur eine geringe Erneuerung notwendig. Diese Art der Güllelagerabdeckung eignen sich vor allem für dünnflüssige Gülle und Jauche, jedoch nicht für dickflüssige Gülle bzw. Gülle, die eine natürliche Schwimmdecke bildet (Döhler et al., 2011).
- Unter **künstliche Schwimmdecken** fallen Schwimmfolien und Schwimmkörper. Bei Schwimmkörpern handelt es sich um sechseckige Kunststoffkörper, welche durch ihre Form selbstständig eine geschlossene Oberfläche bilden. Dies funktioniert jedoch nur, sofern es sich um dünnflüssige (Schweine-) Gülle handelt, welche keine natürliche Schwimmdecke bildet. Schwimmfolien sind ebenfalls aus Kunststoff und liegen an der Oberfläche auf. Sie eignen sich insbesondere für (Rinder-) Gülle mit hohem Trockenmassegehalt, da diese nicht an der Folie kleben bleibt (Döhler et al., 2011; Pöllinger et al., 2011).
- Als **beständige Abdeckung** können ein Zeltdach oder ein Betondeckel (alternativ: Holzdeckel) dienen. Da Zeltdächer aus Statik-Gründen eine Abstützung in der Mitte der Güllegrube benötigen ist ein Nachrüsten mit erheblichem Aufwand verbunden oder nicht möglich. Zeltdächer eignen sich daher vor allem für den Neubau von Güllelagern. Zeltdächer sind eine vergleichsweise teure Art der Wirtschaftsdüngerabdeckung (Döhler et al., 2011; Pöllinger et al., 2011). Die effektivste, aber auch teuerste Art der Wirtschaftsdüngerabdeckung ist eine feste Abdeckung mittels Betondeckel (Döhler et al., 2011; UN/ECE, 1999). Betondeckel haben die längste Nutzungsdauer und sind mit einem geringen Wartungsaufwand verbunden. Ein zusätzlicher Vorteil beständiger Abdeckungen ist, dass diese den Eintrag von Niederschlag verhindern, wodurch einerseits ein geringeres Lagervolumen notwendig ist und andererseits die Verdünnung der Gülle verhindert wird (Amon et al., 2021).

Bei Schwimmdecken ist es besonders wichtig, dass deren Funktionstüchtigkeit nach etwaiger Zerstörung, z.B. durch Aufrühren oder Ausbringungsarbeiten, unverzüglich wieder hergestellt wird (Döhler et al., 2011). Außerdem sollten Güllelager unterhalb der Gülleoberfläche befüllt werden (Amon et al., 2021). Für das NH_3 Emissionsreduktionspotenziale von Schwimmdecken, ob natürlich oder künstlich, gegenüber nicht abgedeckten Güllelagern werden in der Literatur sehr große Bandbreiten angegeben. Beispielsweise geben Döhler et al. (2011), je nach Ausprägungsgrad der natürlichen Schwimmdecke, eine Reduktion von 30-80% bei Rindergülle und 20-70% bei Schweinegülle an. Gemäß UN/ECE (1999) können bei Rindergülle durch natürliche Schwimmdecken um 35-50% niedrigere Emissionen erzielt werden. Übereinstimmung existiert jedoch darüber, dass feste Abdeckungen die höchsten NH_3 Emissionsreduktionspotenziale von bis zu 90% gegenüber nicht abgedeckten Güllelagern aufweisen (Amon et al., 2021; Döhler et al., 2011; Domingo et al., 2014; Pöllinger et al., 2011; UN/ECE, 1999). Eine repräsentative Umfrage mit österreichischen Landwirt:innen aus dem Jahr 2005 zeigte, dass bereits 87% des Güllevolumens in Behältern mit einer festen Abdeckung und 2% mit natürlicher Schwimmschicht abgedeckt gelagert wurden (Amon et al., 2007). Das zusätzliche NH_3 Emissionsreduktionspotenzial bei Abdeckung des verbleibenden Güllevolumens wurde auf 1,1% geschätzt. Eine aktuellere Studie aus dem Jahr 2018 zeigt jedoch einen negativen Trend bei der Güllelagerabdeckung und betont den Handlungsbedarf (Pöllinger et al., 2018). Demnach ist der Anteil an Güllelagern ohne Abdeckung von 11% im Jahr 2005 auf 24% angestiegen.

Die Art der Abdeckung beeinflusst auch die tatsächlich freigesetzten CH_4 Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung. Die gemäß IPCC-Guidelines (2006) vorgegebenen Methankonversionsfaktoren (methan conversion factors, MCF) geben einen Richtwert für den Anteil der gebildeten CH_4 -

Menge am maximalen Methanbildungspotential (sogenannter B_0 -Wert). Der MCF von Flüssigmistlagerung wird mit 39% deutlich höher als jener für Festmistlagerung und Weidehaltung (jeweils 1%) bewertet. In den IPCC-Guidelines werden unterschiedliche Tierkategorien, Wirtschaftsdüngermanagementsysteme und klimatische Zonen unterschieden. CH_4 Emissionen unterliegen jedoch größeren Schwankungsbreiten, zum Beispiel aufgrund jahreszeitlicher Temperaturschwankungen und der Wirtschaftsdüngerzusammensetzung, welchen dieser Richtwert nicht gerecht wird (Amon et al., 2005). Amon et al. (2005) zeigen, dass bei der Lagerung von Milchvieh-Flüssigmist unter warmen Sommertemperaturen deutlich mehr CH_4 Emissionen gebildet werden als unter kühlen Wintertemperaturen. Wobei auch hier durch eine Abdeckung eine Reduktion der CH_4 Emissionen erzielt wurde.

Festmist wird i.d.R. offen gelagert. Auch bei Festmist können THG-Emissionen durch die Reduktion der emissionsaktiven Oberfläche, d.h. des Luftaustausches an der Oberfläche, reduziert werden (Anderl et al., 2016). Dies wird einerseits durch eine kompakte Festmistlagerung erreicht (Amon et al., 2021). Andererseits können eine 3-seitige Umrandung des Festmistlagers oder eine Abdeckung mit wasserabweisendem Vlies bzw. eine Überdachung zur Reduktion der THG-Emissionen beitragen. Die Höhe der NH_3 Emissionen von Festmist ist vom N-Gehalt abhängig. Zum Beispiel ist Legehennenmist aufgrund des hohen N-Gehaltes mit hohen NH_3 Emissionen verbunden (Anderl et al., 2016). Gemäß den Ergebnissen einer Umfrage aus dem Jahr 2018 sind 49% der etwa 58.400 befestigten Mistlagerstätten in Österreich mit drei Seitenwänden ausgestattet, 36% mit zwei Seitenwänden und 15% ohne Seitenwände (Pöllinger et al., 2018).

D-4.2.1.1.2 Wirtschaftsdüngerausbringung und -behandlung

Im österreichischen Agrarsektor hat die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern einen Anteil von rund 43% an den nationalen NH_3 Emissionen. Die emissionsarme Ausbringung von Wirtschaftsdünger bietet eine der effizientesten Möglichkeiten zur Verringerung von NH_3 Emissionen (Anderl et al., 2016; BMNT, 2018). Neben NH_3 entstehen bei der Wirtschaftsdüngerausbringung auch CH_4 Emissionen.

Generell gilt, zur Minimierung der THG-Emissionen während der Ausbringung von Wirtschaftsdünger ist eine geringe Kontaktfläche zwischen Wirtschaftsdünger und Umgebungsluft besonders wichtig. Dies wird durch eine **gleichmäßige, streifenförmige Verteilung** (Reihenverteilung) von Wirtschaftsdünger in oder kurz über dem Boden an Stelle einer breitflächigen Ausbringung (Breitverteilung) erreicht (Amon et al., 2021, 2005). Bei Festmist ist vor allem eine rasche Einarbeitung in den Boden innerhalb weniger Stunden - am besten unmittelbar - nach Ausbringung wichtig zur Reduktion der NH_3 Emissionen (Amon et al., 2021; BMNT, 2018). Pöllinger-Zierler und Zentner (2022) weisen jedoch darauf hin, dass es im Zusammenhang mit der N_2O Bildung wichtig ist, dass Fest- und Flüssigmist nicht tief in den Boden eingearbeitet werden, da insbesondere auf schweren Böden im Zuge des Umbauprozesses der N-haltigen Wirtschaftsdünger vermehrt N_2O entsteht. Gemäß Ratgeber für die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft zur Begrenzung von Ammoniakemissionen (BMNT, 2018) können die NH_3 Emissionen durch eine Einarbeitung innerhalb von 4 h um bis zu 65% reduziert werden, innerhalb von 24 h liegt das Reduktionspotential nur mehr bei 30%. In Österreich werden etwa 54% der ausgebrachten Festmistmengen auf Dauergrünland (ohne Einarbeitung) ausgebracht. Der Rest entfällt auf Ackerland (bzw. sonstige Kulturen mit <1%) und gliedert sich bzgl. der Unmittelbarkeit wie folgt: etwa 11% wurden ohne mechanische Einarbeitung (bzw. später als 24 h) ausgebracht, 15% mit mechanischer Einarbeitung nach 12-24 h, weitere 12% mit mechanischer Einarbeitung nach 4-12 h und die übrigen 7% mit mechanischer Einarbeitung innerhalb von 4 h (Statistik Austria, 2018).

Neben der Unmittelbarkeit der Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern ist bei Flüssigmist auch die Ausbringungsmethode von klimaschutzrelevanter Bedeutung. Der Anteil von mittels Breitverteilung ohne Einarbeitung ausgebrachten Flüssigmistes am österreichischen Dauergrünland ist mit 56% etwas höher als bei Festmist. Weitere 31% wurden mittels Breitverteilung auf Ackerland ausgebracht (9% ohne mechanische Einarbeitung, 6% nach 12-24 h, 9% nach 4-12 h, 7% innerhalb von 4 h). Für die

übrigen 13% wurden alternative Methoden angewendet (Statistik Austria, 2018). Es existieren folgende alternative Methoden zur Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger:

- Bei der **Reihenverteilung** (Bandverteilung) mittels Schleppschlauchverteiler oder Schleppschuhverteiler wird Flüssigmist in parallelen Reihen bodennah (auf Bodenhöhe) ausgebracht (Statistik Austria, 2018).
 - Eine Wirtschaftsdüngerausbringung mittels **Schleppschlauchverteiler** ist auf Ackerland und Dauergrünland anwendbar (Anderl et al., 2016). Dabei wird die Gülle auf eine Reihe flexibler Schläuche mit einem Abstand von 15-25 cm zueinander verteilt und streifenförmig am Boden oder auf der Pflanzenoberfläche abgelegt (Amon et al., 2021; BMNT, 2018). Gemäß UN/ECE (2015a) wird das NH₃ Emissionsreduktionspotential dieser Methode auf 30-35% geschätzt. Döhler et al. (2002) geben ein NH₃ Emissionsreduktionspotential von 10% (Rindergülle) bis 30% (Schweinegülle) für unbewachsenes Ackerland bzw. Dauergrünland mit geringem Aufwuchs an und größere Reduktionspotentiale von 30% (Rindergülle) bis 50% (Schweinegülle) auf bewachsenem Ackerland und Dauergrünland. Basierend auf UN/ECE (2015a) schätzen Anderl et al. (2017) das technische Reduktionspotential - d.h. das praktisch mögliche Reduktionspotential unter Berücksichtigung limitierender Faktoren wie Betriebsgröße, Betriebsstruktur, Markt, Förderlandschaft - in Österreich, bei Rindergülle auf rund 1.400 t NH₃ und bei Schweinegülle auf 800-900 t NH₃.
 - Wie beim Schleppschlauchverteiler wird Flüssigmist auch beim **Schleppschuhverteiler** (oder -fußverteiler) über Schläuche geleitet, die aber zusätzlich in einer schuhähnlichen Verstärkung, einem Metall-"Schuh", enden. Dieser gleitet auf der Bodenoberfläche und drückt je nach Gewicht, zusätzlichem Druck, Breite und Länge unterschiedlich viel Pflanzenmaterial zur Seite. Dadurch wird der Boden leicht angeritzt und die Gülle direkt auf der Bodenoberfläche und nicht auf der Pflanze abgelegt (Amon et al., 2021; BMNT, 2018; Statistik Austria, 2018). Ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Schleppschlauchverteilung ist die weitgehende Vermeidung der Pflanzenverschmutzung und Beschädigung (Döhler et al., 2002). Zudem kann der Wirtschaftsdünger durch das Anritzen des Bodens schneller in den Boden eindringen, wodurch die NH₃ Emissionen stärker reduziert werden können (Amon et al., 2021). Zum Beispiel wird im UN/ECE Guidance Dokument zur Minderung von Ammoniakemissionen aus landwirtschaftlichen Quellen (2015a) eine Reduktion um 30-50% angegeben. Für Österreich wurde das technische Reduktionspotential bei Rindergülle auf etwa 3.000 t geschätzt (Anderl et al., 2017).
- **Injektionsverfahren** sind Methoden, bei denen Flüssigmist auf unbewachsenen Flächen unmittelbar in die oberste Bodenschicht eingebracht wird. Durch die Verbesserung der Infiltration in den Boden sowie die Verkleinerung der Kontaktfläche zwischen Gülle und Luft ist das NH₃ Emissionsreduktionspotenzial im Allgemeinen größer als bei der Reihenverteilung. Es werden folgende Arten von Injektoren unterschieden:
 - Bei **Flachinjektoren** (Schlitzinjektoren) werden im Abstand von 25-30 cm schmale, etwa 4-6 cm tiefe Schlitz in den Boden geschnitten und mit Flüssigmist gefüllt. Beim Verfahren mit geschlossenem Schlitz ebnet dahinter Walzen oder Striegel den Boden und bedecken den Flüssigmist vollständig. Das NH₃ Emissionsreduktionspotential wird bei einer Injektionstiefe ≥ 5 cm für das Verfahren mit offenem Schlitz auf 70% und für das Verfahren mit geschlossenem Schlitz auf 80% geschätzt (UN/ECE, 2015a). Schätzungen für Österreich gehen für das Verfahren mit offenem (geschlossenem) Schlitz von einem technischen Reduktionspotenzial um rund 2.300 t (2.600 t) NH₃ bei Schweinegülle und von rund 800 t (900 t) NH₃ bei Geflügelgülle aus (Anderl et al., 2017).
 - Die **Tiefinjektion** (einschließlich Ackerinjektion; > 15 cm) könnte zu einer noch stärkeren Reduktion der NH₃ Emissionen führen als die Flachinjektion (bis zu 90%; UN/ECE, 2015a).

Ackerinjektoren sind speziell für den Einsatz auf Ackerland entwickelt worden. Dabei wird die Gülle auf Basis von Federzinken- oder Schwergrubbern, die am Güllefass mit aufgebaut werden, über Rohre zu den Bodenbearbeitungswerkzeugen abgeleitet und direkt in den Boden appliziert. Mit diesen Methoden gehen jedoch höhere Maschinengewichte einher, welche eine höhere Zugkraft benötigen sowie zu einer vermehrten Bodenverdichtung führen und damit verbunden zur Bildung und zur Emission von N_2O . In Österreich wird die Tiefeninjektion nicht empfohlen (BMNT, 2018).

Aktuell werden in Österreich durch die ÖPUL 2015-Maßnahme "Bodennahe Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern und Biogasgülle" ca. 3 Mio. m^3 (9-12% der Gesamtgülle) Flüssigmist bodennah ausgebracht (Anderl et al., 2019b; Hölzl, 2019). Zukünftig sollte der Anteil von bodennah ausgebrachtem Flüssigmist in Richtung 30% gehen (Pöllinger et al., 2018). Eine wesentliche Einschränkung zur Anwendung der genannten alternativen Methoden zur Flüssigmistausbringung bildet die Hangneigung. Der hohe Anteil an Breitverteilung in Österreich ist mitunter auf den hohen Berggebietsanteil zurückzuführen.

Darüber hinaus beeinflusst die **Wahl des Ausbringungszeitpunktes** die Emissionen entscheidend. Wirtschaftsdünger sollte bevorzugt an kühlen, windstillen Tagen (bis max. $15^\circ C$) mit zu erwartenden Regenereignissen ausgebracht werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass bei Starkregenereignissen v.a. in Hanglagen das Risiko von Abschwemmungen besteht. Besonders Abendstunden, kurz vor Sonnenuntergang bieten sich aufgrund i.d.R. niedrigerer Temperaturen und geringerer Windgeschwindigkeiten an. Zudem trägt Taubildung zu einer weiteren Gülleverdünnung mit Wasser bei (Amon et al., 2021; BMNT, 2018).

Neben Ausbringungsmethode und -zeitpunkt gibt es eine Reihe weiterer Aspekte und Maßnahmen, die im Zuge der Wirtschaftsdüngerausbringung zu berücksichtigen sind bzw. die Anwendbarkeit der genannten Methoden sowie die THG-Emissionen beeinflussen:

Eine bodennahe Flüssigmistausbringung wird durch einen hohen Trockenmassegehalt erschwert (Amon et al., 2005). Eine **Verdünnung der Gülle mit Wasser** vor der Ausbringung reduziert einerseits den Trockenmassegehalt bzw. verbessert die Fließfähigkeit, wodurch die Anwendbarkeit bodennaher Methoden verbessert wird. Andererseits kann verdünnte Gülle schneller in den Boden eindringen, wodurch die NH_3 Emissionen (aber auch CH_4 und N_2O Emissionen, vgl. Pöllinger-Zierler and Zentner, 2022) wiederum reduziert werden. Zudem werden die Pflanzenverschmutzung und resultierende Schäden vermindert (Amon et al., 2021; Anderl et al., 2017; BMNT, 2018).

Durch die **Ansäuerung von Gülle** wird der pH-Wert auf ein Niveau von 6 oder weniger abgesenkt. Dadurch wird das chemische Gleichgewicht von NH_3 zu NH_4 verschoben und es kann eine NH_3 Emissionsreduktion um 50% oder mehr erreicht werden (Anderl et al., 2016; UN/ECE, 2015b). Mohankumar Sajeev et al. (2018) kommen zum Schluss, dass durch die Ansäuerung von Gülle auch CH_4 Emissionen und N_2O Emissionen um 29-74% bzw. 21-55% reduziert werden können.

Bei der **Gülleseparierung** (Fest-Flüssig-Trennung) werden die Feststoffe mechanisch von der Gülle getrennt. Das Resultat sind zwei Fraktionen: eine flüssige Fraktion ("Dünngülle") mit geringem Trockenmassegehalt und eine Feststofffraktion ("Gülleseparat"; Amon et al., 2006). Die Gülleseparierung stellt - gerade bei häufig zu dickflüssiger Rindergülle - eine Maßnahme zur Reduktion des Trockenmassegehalts dar und ermöglicht so eine bodennahe Ausbringung (Hölzl, 2019). Die Feststofffraktion sollte in gleicher Weise wie Festmist auf dem Ackerland rasch eingearbeitet werden (BMNT, 2018). Neben geringeren NH_3 Emissionen durch raschere Infiltration der flüssigen Fraktion in den Boden verursacht separierte Gülle auch geringere CH_4 Emissionen (Pöllinger-Zierler and Zentner, 2022).

Die **anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdüngern** in der Biogasanlage ist eine effiziente Maßnahme zur Reduktion von THG-Emissionen. Bei der anaeroben Vergärung werden der Trockenmasse- und C-Gehalt von Wirtschaftsdüngern reduziert indem organische Substanz in mehreren Schritten von anaeroben Mikroorganismen abgebaut wird. Die im Zuge der Vergärung gewonnene Energie in Form

von Biogas (Methangas) kann einerseits energetisch genutzt werden und fossile Energieträger substituieren. Dadurch können zum Teil die Mehrkosten der Vergärung abgedeckt werden (Anderl et al., 2016). Andererseits werden dadurch die CH_4 Emissionen bei der Wirtschaftsdüngerlagerung reduziert. Allerdings steigt der NH_4 Gehalt im Flüssigmist. Dadurch liegt eine hohe N-Flüchtigkeit vor und das Potenzial für NH_3 Emissionen steigt. Entsprechend muss auf eine emissionsmindernde Lagerung und eine bodennahe Ausbringung geachtet werden (Amon et al., 2006, 2005; Anderl et al., 2016). In Österreich spielt die Wirtschaftsdüngervergärung im Vergleich zu anderen Biogassubstraten derzeit eine untergeordnete Rolle (BMNT, 2019a). Im Nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP; BMNT, 2019b) wird die Anhebung des Anteils in Biogasanlagen vergorenen Wirtschaftsdüngers auf 30% bis 2030 (im Vergleich zu 1% im Jahr 2019) als entscheidender Beitrag zur Energiewende genannt.

D-4.2.1.2 Weidehaltung

Die Weidehaltung hat neben der positiven Effekten auf das Tierwohl auch eine emissionsreduzierende Wirkung sowohl für NH_3 , als auch CH_4 und N_2O . Emissionsreduktionen entstehen aufgrund des verringerten Wirtschaftsdüngeranfalls im Stall und der verringerten Wirtschaftsdüngerlagerung während der Sommermonate, aber auch aufgrund des verringerten Energieeinsatzes sowohl für die Futterbergung/-lagerung und -bereitung als auch für die Güllelagerung und -ausbringung (Antony et al., 2021; Fritz et al., 2021; Kappel, 2020; Möhring and Zimmermann, 2005). Aufgrund des räumlich getrennten Anfalls von Kot und Harn werden bei der Weidehaltung NH_3 Emissionen reduziert, da Harn schnell und verlustarm in den Boden einsickern kann (Amon et al., 2007; Eurich-Menden et al., 2010). Bei einem Stall/Weide System ist jedoch zu beachten, dass erst ab einer Weidedauer von mindestens sechs Stunden Reduktionseffekte entstehen, da der Stall bis zum Abtrocknen der Lauffläche weiterhin als Emissionsquelle wirksam ist. In diesem Fall ist eine NH_3 Emissionsreduktion um bis zu 15% zu erreichen (Eurich-Menden et al., 2010). Höhere Werte von 25% bis 30% sind bei Vollweidesystemen von Milchkühen, Mutterkühen und Jungrindern mit mindestens 150 Vollweidetagen zu erwarten (Ogink et al., 2014; zitiert nach Amon et al., 2021).

In Österreich wurden im Rahmen der TIHALO II Studie (Pöllinger et al., 2018) Daten von 5.000 tierhaltenden Betrieben in den Bereichen Nutztierhaltung, Stallsystem und Wirtschaftsdüngermanagement erhoben. Die Befragungsergebnisse umfassen auch Informationen zum Weidegang der Tiere ("geweidet" und "nicht geweidet"). Demnach werden 71% der Milchkühe > 2 Jahre geweidet (umfasst alle Weidearten). Ein noch höherer Anteil wird bei Mutterkühen > 2 Jahre (79%) und bei Kalbinnen > 2 Jahre (81%) erreicht. Hingegen weisen Stiere 1-2 Jahre (12%) und Kalbinnen (Zucht) 1-2 Jahre (16%) den geringsten Anteil auf, haben jedoch einen hohe Weidezeit pro Tag (Stiere: 64% mit > 20 h Tag⁻¹; Kalbinnen: 77% mit > 20 h Tag⁻¹). Die Beweidung mit Schweinen ist in Österreich hingegen unüblich.

National wird die Weidehaltung bzw. die Ausweitung der Weidehaltung und -dauer auch in den ÖPUL-Maßnahmen "Tierschutz - Weide" und "Alpung und Behirtung" sowie im NEKP (BMNT, 2019b) und im Nationalen Luftreinhalteprogramm (BMNT, 2019a) als klimaschutzrelevante Maßnahme angesprochen.

Im Rahmen der Evaluierung des Programms Ländliche Entwicklung 2019 (Anderl et al., 2019b) wurde ein Ergebnisindikator "Verringert Ammoniakemissionen" berechnet. Die Potenzialabschätzung zeigt, dass Weidehaltung verglichen mit einem Referenzsystem ohne Weidehaltung zu geringeren NH_3 Emissionen führt. Das Potenzial vermehrter Weidehaltung bestätigt auch eine Analyse von Kappel (2020). Die Ergebnisse zeigen, dass ein vermehrtes Festmistsystem und eine Ausweitung der Weidehaltung im Vergleich zu einer nachhaltigen Bauweise mit Flüssigmistsystem und Weideverzicht THG-Emissionen und Umweltauswirkungen stärker senken. Das bestätigen auch Hörtenhuber et al. (2010) und geben ein THG-Reduktionspotenzial von 2,4% je 10% Steigerung der Weidedauer (gemessen am Jahreszeitbudget) an.

D-4.2.1.3 Fütterung

Die Fütterung von Nutztieren ist ein wesentlicher Faktor, der die Ausscheidung von CH₄ und andern (N-haltigen) Gasen beeinflusst. Insbesondere entstehen CH₄ Emissionen im Agrarsektor aus der Pansenfermentation von Futtermitteln durch Rinder. In Österreich lag der Anteil an den nationalen THG-Emissionen im Jahr 2019 bei 4,7% und damit bei annähernd 50% der nationalen THG-Emissionen aus dem Agrarsektor (Anderl et al., 2021). In Bezug auf CH₄ bestimmen vor allem der Stärke- und Fasergehalt der Ration und die einhergehende Verdaulichkeit die Höhe der Emissionen (Hartung and Monteny, 2006; Terler et al., 2022). Hingegen bestimmt die in Futtermitteln enthaltene N-Menge und -form die Höhe der N-Ausscheidung und damit die Höhe der NH₃ Emissionen in der Nutztierhaltung (Amon et al., 2021). Eine kontrollierte, bedarfsgerechte Fütterung kann zur Reduktion von THG-Emissionen in der Tierhaltung beitragen.

Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Reduktion der CH₄ Emissionen in der Rinderhaltung ist die Optimierung der Futterzusammensetzung. Neben Grundfutter setzten landwirtschaftliche Betriebe zusätzlich Krafftutter ein. Grundfutter ist *"wirtschaftseigenes Futter, welches sowohl wasserreiche Futtermittel wie Grünfutter und anderes Saftfutter in Form von Silagen als auch trockenes Raufutter, wie z.B. Heu und Stroh, umfasst"* (Antony et al., 2021, p. 75). Als Krafftutter wird *"energiereiches, aber rohfaserarmeres Mischfutter, das sich aus verschiedenen Getreiden, Leguminosen und anderen energie- oder eiweißreichen, aber rohfaserarmeren Einzelfuttermitteln zusammensetzt"* bezeichnet (Antony et al., 2021, p. 86). Die Menge des Krafftuttereinsatzes hängt - z.B. bei Milchkühen - von der angestrebten Milchleistung ab. Terler et al. (2022) analysieren den Einfluss des Krafftutteranteils in der Futterration auf die Milchleistung und CH₄ Produktion. Die Ergebnisse zeigen, dass sich ein zunehmender Krafftutteranteil einerseits positiv auf die Energie-korrigierte Milchleistung, also jene Milchleistung unter Berücksichtigung der Inhaltsstoffe (insb. Fett- und Eiweißgehalt) im Vergleich zu einer Referenzmilch (mit 4% Fettgehalt und 3,4% Eiweißgehalt) auswirkt, diese also steigt (höhere "Methaneffizienz"). Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse aber auch, einen signifikanten Einfluss des Krafftutteranteils der Rationen auf die CH₄ Produktion von Rindern. Sowohl die tägliche CH₄ Produktion als auch die CH₄ Produktion pro kg Grund- und Gesamtfutteranteil nehmen mit steigendem Krafftutteranteil zu. Bei gleichbleibenden Tierbeständen würde absolut mehr CH₄ produziert werden. Eine Erhöhung des Krafftutteranteils hätte damit nur bei sinkenden Tierbeständen eine klimaschutzrelevante Wirkung (Terler et al., 2022). Steigende THG-Emissionen durch den vermehrten Einsatz von Düngemitteln während der Produktion können dem positiven Effekt eines höheren Krafftutteranteils ebenfalls entgegenwirken (Hörtenhuber et al., 2010).

Sowohl im Österreichischen Klimaschutzbericht (Anderl et al., 2021) als auch in der Studie von Terler et al. (2022) wird darauf hingewiesen, dass ein großer Anteil des Krafftutters auch durch monogastrische Nutztiere und den Menschen genutzt werden kann, welche im Zuge des Stoffwechsels deutlich weniger CH₄ produzieren als Wiederkäuer. Dies spricht ebenfalls für einen geringen Krafftutteranteil in Wiederkäuer-Futterrationen. Im Gegenzug handelt es sich bei Grünlandflächen, deren Anteil mit etwa 46% an der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Österreich sehr hoch ist, um Flächen die ausschließlich mit Wiederkäuern zur Lebensmittelerzeugung genutzt werden können.

Zur Sicherstellung einer hohen Laktationsleistung bei geringem Krafftuttereinsatz ist eine hohe Grundfutterqualität zentral (Hülsbergen et al., 2013). Grundlage für eine hohe Grundfutterqualität ist ein leistungsfähiger Pflanzenbestand, bestehend aus 60-70% Gräser, 15-20% Leguminosen und der Rest aus (erwünschten) Wiesenkräutern (Plitzner et al., 2019; Resch, 2013). Zudem haben Landwirt:innen über Pflegemaßnahmen, die Düngung und die Nutzungsintensität Einfluss auf die Grundfutterqualität des Pflanzenbestandes (Plitzner et al., 2019). Zum Beispiel können durch einen frühen Schnitzeitpunkt der Rohfasergehalt im Raufutter reduziert und der Nährstoffgehalt verbessert werden (Hörtenhuber et al., 2010). Hörtenhuber et al. (2010) gehen von einer THG-Emissionsreduktion um 1,5% je 0,1 MJ NE_L (Netto-Energie-Laktation) Steigerung pro kg Trockenmasse aus. Plitzner et al. (2019) bieten einen detaillierten Leitfaden zur Sicherstellung einer hohen Grundfutterqualität. Zusätzliche Vorteile der Erzeugung und des Einsatzes qualitativ hochwertigen Grundfutters sind

geringere THG-Emissionen aufgrund des niedrigeren Energieeinsatz sowie die oftmals kürzeren Transportwege verglichen mit Kraftfutter (Hülsbergen et al., 2013).

Im Bereich der Fütterung kann zudem der Einsatz von Futterzusatzstoffen, sowohl pflanzlich, als auch chemisch-synthetisch, welche methanerzeugende Bakterien im Pansen verringern, zu einer CH₄ Emissionsreduktion führen (Beauchemin et al., 2020; Brade and Distl, 2015; Hörtenhuber et al., 2021; Jayasundara et al., 2016).

Die Anpassung der Fütterungsstrategie ist auch eine zentrale Maßnahme zur Reduktion von N-Ausscheidungen von Nutztieren. Insbesondere die Verminderung bzw. Vermeidung von Eiweißüberschüssen führt zu einem Rückgang der N-Ausscheidungen und senkt so das NH₃ Emissionspotenzial (Amon et al., 2021; Bracher, 2011) und wird vom BMNT auch im Ratgeber für die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft zur Begrenzung von Ammoniakemissionen (BMNT, 2018) als notwendig angeführt. Anderl et al. (2017) errechnen für die Maßnahme "Proteinreduzierte Fütterungsstrategien" bei Rindern ein technisches NH₃ Einsparungspotenzial von 2.400 t bzw. im Geflügelbereich von 300 t jährlich. Bei Schweinen und Geflügel können N-Ausscheidungen durch Abstimmung des Futters mit dem jeweiligen Wachstums- und Leistungsabschnitt reduziert werden ("Phasenfütterung"; BMNT, 2018). Mit einem errechneten technischen Emissionsreduktionspotenzial von 1.500 t NH₃ ist die Phasenfütterung bei Schweinen eine vielversprechende Maßnahme (Anderl et al., 2017). Im Sinne der Optimierung der Futtermittelration bei gleichzeitiger Reduktion des Eiweißanteils (insbesondere von Sojaschrot) in der Fütterung wird in der Österreichischen Eiweißstrategie (BMLRT, 2021a) der verstärkte Einsatz synthetisch hergestellter Aminosäuren diskutiert (BMLRT, 2021a). Dadurch könnten auch Futtermittelimporte, welche v.a. in Ökobilanzstudien häufig als wichtiger Ansatzpunkt zur Reduktion futtermittelbedingter THG-Emissionen genannt sind, reduziert werden.

D-4.2.1.4 Stabilisierung der Tierzahlen

Zur Stabilisierung der Tierbestände trotz steigender Nachfrage nach (tierischen) Lebensmitteln gibt es mehrere Ansätze, welche (in Österreich) vorwiegend die Rinderhaltung betreffen. Einerseits kann die steigende Nachfrage durch eine Verbesserung der Produktivität und Effizienz ((Milch-)Leistung), d.h. eine Erhöhung des Outputs pro Einheit (Tier), erreicht werden. Andererseits tragen eine Verbesserung der Tiergesundheit (Verringerung von Tierverlusten) und eine Erhöhung der Nutzungsdauer über die Reduktion der erforderlichen Remonte zu einer CH₄ Emissionsreduktion bei.

In Österreich hat sich der Viehbestand seit 2005 stabilisiert, hat aber im Vergleich zu den 1990er Jahren abgenommen (bei Milchkühen von rund 905.000 im Jahr 1990 auf rund 525.000 im Jahr 2021; Statistik Austria, 2021). Gleichzeitig ist die Milchleistung je Milchkuh seit 1990 gestiegen. Im Jahr 2020 lag die durchschnittliche Milchleistung konventionell wirtschaftender Betriebe bei 7.896 kg und war damit 104 kg höher als 2019. Im Vergleich dazu war die Milchleistung bei biologisch wirtschaftenden Betrieben etwa 21% geringer (BMLRT, 2021b). Im NEKP (BMNT, 2019b) werden konstant bleibende Rinderzahlen bis 2025 als realistische Maßnahme betrachtet.

Es gibt unterschiedliche Ansätze den Zusammenhang zwischen der Milchleistung und den CH₄ Emissionen darzustellen. Unabhängig davon, kommen mehrere Studien zum Schluss, dass bei einer steigenden Milchleistung die CH₄ Emissionen nicht im gleichen Ausmaß zunehmen. Die Analyse der Umweltauswirkung von 22 österreichischen Milchproduktionsbetrieben zeigt eine negative Korrelation zwischen der Flächenmilchleistung (Milchleistung ha⁻¹) und dem THG-Potential. Demnach ergab sich für intensive wirtschaftende Betriebe (hohe Flächenmilchleistung) ein geringeres THG-Potential pro kg Milch (Marton and Guggenberger, 2015). Auch in einer Schweizer Studie mit 67 Milchproduktionsbetrieben fanden die Autor:innen einen negativen Zusammenhang zwischen THG-Potenzial und Milchleistung pro Kuh (Alig et al., 2011). Die Milchleistung wird sowohl vom Futterniveau (z.B. Kraftfutteranteil) als auch vom Genotyp beeinflusst (Gruber et al., 2018).

Gruber et al. (2018) konnten zeigen, dass das Futterniveau und die Zusammensetzung der Futtermittelration nicht nur die Milchleistung sondern auch die Fitness der Tiere beeinflussen. Insbesondere wirken sich

energiereich, kraftfutterbetone Futtermitteln bei hochleistenden Genotypen positiv auf die Gesundheit und Leistung auf, bei kombinierten (Zweinutzungsrasen) und nicht auf Hochleistung gezüchtete Genotypen hingegen negativ (häufigere Tierarzt-Behandlungen). Für die Stabilisierung der Tierzahlen ist auch eine Verbesserung der Tiergesundheit und die daraus resultierende längere Nutzungsdauer ein wesentlicher Ansatzpunkt.

D-4.2.2 Ackerbau

D-4.2.2.1 Stickstoffdüngung

Neben Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) ist Stickstoff (N) einer der wichtigsten Nährstoffe für das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen. N kommt im Boden in anorganischer, leicht löslicher ("mineralischer") Form als Nitrat (NO_3) und Ammonium (NH_4) vor (BMLRT, 2022). Pflanzen nehmen N über die Wurzeln in dieser anorganischen Form auf und verwandeln NO_3 zu N_2O und organischen Verbindungen. Der gesamte N-Bedarf einer Kultur hängt im Wesentlichen von der Kulturart sowie deren Ertragsniveau bzw. dem standortspezifischen Ertragsniveau ab. Für das optimale Pflanzenwachstum und die Sicherstellung von Erträgen ist die optimale Verfügbarkeit von N von großer Relevanz. Einerseits können Pflanzen bei zu wenig N nicht richtig gedeihen, was zu Ertragseinbußen führt. Andererseits kann zu viel N giftig für Pflanzen sein (vgl. Britto and Kronzucker, 2002) und die Umwelt schädigen (Oenema et al., 2015; Ravishankara et al., 2009).

Zahlreiche Studien zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen N-Düngemengen und N_2O Emissionen (Foldal et al., 2019; Fuß et al., 2011; IPCC, 2019; Zehetmeier et al., 2017) und bestätigen, dass die ausgebrachten N-Düngemengen oftmals den N-Bedarf übersteigen (Zethner et al., 2019). In Böden entstehen N_2O Emissionen indem Nitrat (NO_3) und Ammonium (NH_4) über mikrobielle Prozesse (Nitrifikation zw. Denitrifikation) ab- bzw. umgebaut werden (IPCC, 2019). Die mikrobiellen Prozesse und damit die Höhe der N_2O Emissionen variieren sowohl zeitlich als auch räumlich und werden von der Temperatur, den Bodeneigenschaften (u.a. Bodentyp, Bodenwassergehalt, pH-Wert) sowie der Art des zugeführten Düngers (Mineraldünger, organischer Dünger) und dem Bodenmanagement beeinflusst (Amon, 2014; Kasper et al., 2019; Pellerin et al., 2013).

In Österreich ist das Agrarumweltprogramm ÖPUL (Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft; BMLRT, 2021c) ein zentrales Instrument für die Umsetzung einer klimafreundlichen Landwirtschaft. Die Reduktion oder der Verzicht des N-Düngereinsatzes sind in mehreren ÖPUL-Maßnahmen, u.a. "Umweltgerechte und biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung", "Naturschutz" und "Vorbeugender Gewässerschutz", geregelt. In einer Studie von Foldal et al. (2019) wurden die Auswirkungen unterschiedlicher ÖPUL-Maßnahmen auf die N_2O Emissionen modelliert. Die Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang zwischen der Bewirtschaftungsweise, insbesondere dem Düngeneiveau, und N_2O Emissionen. Zum Beispiel führt eine Reduktion des N-Düngereinsatzes um 15% im Vergleich zu einer intensiv konventionellen Bewirtschaftung zu einer hohen N_2O Emissionsreduktion von 2 bis 8 kg N $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$, bei gleichzeitig verhältnismäßig geringen Ertragsrückgängen (0 bis 10%). Auch die weitere Reduktion des N-Düngereinsatzes, um 25% im Vergleich zu einer intensiv konventionellen Bewirtschaftung, führte zu weiteren N_2O Emissionseinsparung - jedoch nicht proportional. Die höchste N_2O Emissionseinsparung wurde für biologisch bewirtschaftete Flächen festgestellt. Neben Vorgaben zum N-Düngereinsatz werden im ÖPUL-Programm zur Sensibilisierung von Landwirt:innen auch einschlägige Schulungen bzw. Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen forciert.

Pellerin et al. (2013) führen die geringe N-Effizienz als eines der wesentlichen Probleme und Handlungsfelder an. Laut diesem Bericht wird im Durchschnitt nur die Hälfte der von französischen Landwirt:innen ausgebrachten Düngemenge von Pflanzen aufgenommen. Der Rest geht über Emissionen oder Auswaschung verloren. In Österreich ist die N-Effizienz lt. der Österreichischen Stickstoff- und Phosphorbilanz der Landwirtschaft (Zethner et al., 2019) zwischen den Jahren 2000 und 2017 von 56% auf 65% gestiegen. Die geringe N-Effizienz - selbst bei Verwendung von

Managementtools wie Düngerrechnern - kann u.a. auf die häufige Überdüngung aufgrund der Überschätzung tatsächlicher Erntemengen zurückgeführt werden (Pellerin et al., 2013).

Insgesamt kann für die zukünftigen Landwirtschaft eine Erhöhung der N-Effizienz, d.h. eine Reduktion der Emissionen pro zugeführter Düngereinheit bzw. eine bessere Ausnutzung durch die Pflanzen (gemessen am Verhältnis von N im Erntegut und der ausgebrachten N-Menge, siehe Zethner et al., 2019; Osterburg et al., 2019; Oenema et al., 2013), als zentraler Ansatz zur Reduktion des N-Düngereinsatzes und der daraus resultierenden N₂O Emissionen aus der Literatur abgeleitet werden. Dazu können einerseits organisatorische Maßnahmen, wie eine präzise Düngerbedarfsermittlung und bedarfsgerechte N-Düngung, d.h. eine Reduktion des N-Überschusses durch Optimierung der N-Düngergaben (Amon, 2014; Pellerin et al., 2013) beitragen. Andererseits technische Maßnahmen, wie die möglichst präzise Ausbringung von (N-)Düngern.

Die bedarfsgerechte Düngung ist eine wesentliche Voraussetzung, um optimales Pflanzenwachstum und damit die Ausschöpfung von Ertragspotentialen sicherzustellen und THG-Emissionen zu vermeiden (BMEL, 2021; BMLRT, 2022). Grundlage für die Optimierung der N-Düngergaben ist die Kenntnis über den kulturartenspezifischen N-Bedarf sowie den standortspezifischen, pflanzenverfügbaren N-Gehalt (d.h. Nitrat NO₃ und Ammonium NH₄) im Boden.

Der kulturartenspezifische N-Bedarf wird von der Höhe des erzielten Ertrages beeinflusst, welcher wiederum von den Standortbedingungen abhängt. Für Österreich bieten unter anderem die Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Acker und Dauergrünland (BMLRT, 2022) und der Düngerrechner der LK Österreich (2022) eine Hilfestellung bei der Einstufung des Ertragspotential in Anhängigkeit der Ertragslage sowie des resultierenden N-Bedarfs. Zum Beispiel liegt der N-Bedarf für Körnermais lt. Düngerrechner der LK Österreich (2022) auf Standorten mit niedrigem Ertragspotential (<8 t ha⁻¹) bei 110 kg ha⁻¹, auf Standorten mit sehr hohem Ertragspotential (>13 t ha⁻¹) jedoch bei 210 kg ha⁻¹.

Eine weitere Möglichkeit zur groben Abschätzung der N-Effizienz und der N-Vorräte im Boden ist die schlagbezogene Stickstoffbilanzierung. Dabei wird der N-Saldo berechnet, indem die Erntemenge (in t ha⁻¹) mit dem N-Gehalt im Erntegut multipliziert und von der N-Düngemenge abgezogen wird (BMLRT, 2022).

Die räumliche Variabilität - oft variieren die Bedingungen bereits innerhalb eines Feldes - der tatsächlichen Menge an pflanzenverfügbarem N im Boden, die zeitliche Variabilität der Aufnahme durch die Pflanzen sowie die zunehmende Variabilität klimatischer Bedingungen erschweren die Einschätzung des tatsächlichen N-Bedarfs für die bedarfsgerechte Düngung. Eine regelmäßige (teilflächenspezifische) Bodenbeprobung sowie der Einsatz von Präzisionslandwirtschaft (precision agriculture) können eine besser angepasste, teilflächenspezifische Düngung unterstützen (BMLRT, 2022). Unter Präzisionslandwirtschaft wird ein Managementkonzept verstanden, welches mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (z.B. GPS-Technologien, Satelliten, Sensoren) räumliche und zeitliche Schwankungen der Ressourcenbedingungen und Anforderungen von Feldern und Pflanzen erkennt. Dadurch können Dünge- und Betriebsmittelausbringung optimiert und innerhalb eines einzelnen Feldes variabel und genauer ausgebracht werden und so die Umweltauswirkungen landwirtschaftlicher Produktion reduziert werden (vgl. European Parliament. Directorate General for Parliamentary Research Services., 2016; JRC, 2014 und EIP-AGRI unter <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/digitising-agriculture/developing-digital-technologies/precision-farming-0>). Dabei werden zum Beispiel mittels digitaler Bestandessensoren, z.B. durch die Verwendung von Online-Sensorik oder Satellitendaten, Vegetationsindizes berechnet, welche auf die vorhandene Biomasse und die N-Versorgung bzw. den N-Bedarf schließen lassen (BMLRT, 2022; Oenema et al., 2013). Eine Studie von Winiwarter et al. (2018) schätzt das N₂O Emissionseinsparungspotential durch den Einsatz von Präzisionslandwirtschaft auf bis zu 40%. Auch die Ergebnisse und Analysen des JRC (EU-Joint Research Centre; JRC, 2014) bestätigen die Reduktion von N₂O-Emissionen durch den Einsatz von Technologien zur teilflächenspezifischen Düngung.

D-4.3 Interaktive Webplattformen

Für die Vermittlung komplexer Konzepte und Ergebnisse mit mehreren (Daten-)Dimensionen stehen unterschiedliche Optionen und Informationskanäle zur Verfügung. Interaktive Webplattformen (auch: Dashboard, performance dashboards, scorecards) sind eine solche Option und bieten eine Möglichkeit, eine Reihe von (sozio-)ökonomischen und ökologischen Indikatoren zu kommunizieren und zu visualisieren.

D-4.3.1 Grundlagen

Few (2012, p. 30) fasst die wesentlichen Funktionen einer interaktiven Webplattform folgendermaßen zusammen "A visual display of the most important information needed to achieve one or more objectives that has been consolidated on a single computer screen so it can be monitored and understood at a glance." (Eine visuelle Darstellung der wichtigsten Informationen, die zum Erreichen eines oder mehrerer Ziele benötigt werden und die auf einem einzigen Computerbildschirm zusammengefasst wurden, so dass sie auf einen Blick überwacht und verstanden werden können.) Interaktive Webplattformen visualisieren also Daten.

Ursprünglich als Instrument bzw. visuelle Schnittstelle zur Überwachen (Monitoring), zum Messen bzw. Analysieren und zum Management von Unternehmensleistungen eingeführt, ist eine interaktive Webplattform ein Instrument, das für das Informationsmanagement und die Berichterstattung in verschiedenen Kontexten verwendet wird. Mittels interaktiven Webplattformen können komplexe Informationen über die aktuelle Situation, historische Trends und hypothetische Entwicklungen an die Gesellschaft weitergegeben werden (Eckerson, 2011). Dieser Interpretation von Eckerson (2012, 2011) zufolge haben interaktiven Webplattformen drei wesentliche Funktionen:

- Die Überwachungs-/**Monitoringfunktion** liefert kritische Informationen auf einen Blick, indem aktuelle und relevante Daten verwendet und i.d.R mit grafischen Elementen dargestellt werden.
- Die **Analysefunktion** ermöglicht es Nutzer:innen, Leistungsdaten über mehrere Dimensionen und auf verschiedenen Detailebenen zu analysieren und zu untersuchen, um der Ursache von Problemen und Fragen auf den Grund zu gehen.
- Die **Managementfunktion** fördert die Kommunikation zwischen Stakeholdern und bietet ein kontinuierliches Feedback über eine Reihe kritischer Aktivitäten, so dass das Unternehmen in die richtige Richtung gelenkt werden kann.

In Verbindung mit diesen drei Funktionen ergeben sich drei Ebenen von Informationen. Abb. D-1: gibt einen Überblick über dies Informationsebenen und deren Bezug zu den beschriebenen Funktionen. Dieser Zusammenhang entspricht der natürlichen Abfolge, in welcher die Nutzer:innen mit Informationen interagieren (Eckerson, 2012, 2011). Nutzer:innen beginnen damit sich einen Überblick zu verschaffen und zu identifizieren welche Aspekte Aufmerksamkeit erfordern (Monitoringfunktion). Dies soll durch die garfische Darstellung von Schlüsselindikatoren unterstützt werden. Als nächstes betrachten Nutzer:innen jene Aspekte, die Aufmerksamkeit erfordern genauer, um sie besser zu verstehen und entscheiden zu können, ob eine Anpassung oder Änderung im Verhalten notwendig ist (Analysefunktion). Dazu sind weitere Informationen über die den dargestellten Schlüsselindikatoren zugrundeliegenden Daten notwendig. Wenn schließlich zusätzliche Informationen benötigt werden, um das Verständnis von Nutzer:innen zu vervollständigen, bevor entschieden wird wie reagiert werden soll (Managementfunktion), sollte die interaktive Webplattform als Anlaufstelle für diese Informationen dienen (Few, 2012).

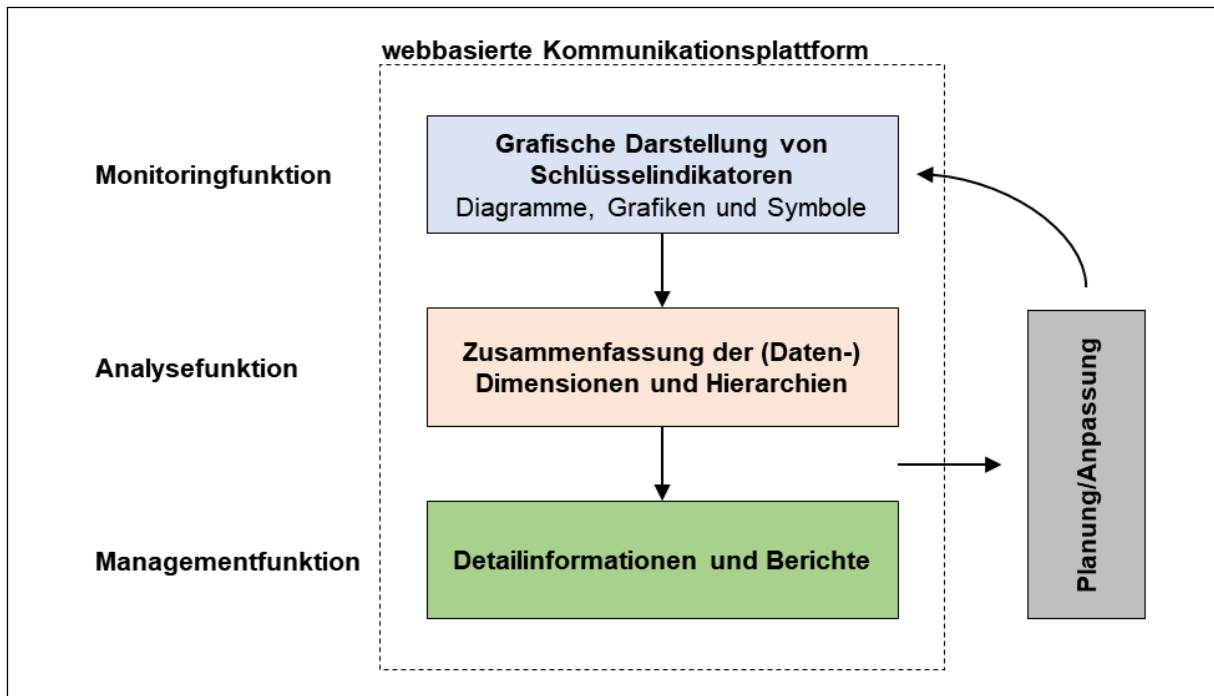


Abb. D-1: Drei Ebenen von Informationen sowie deren Verbindung zu den drei wesentlichen Funktionen einer interaktiven Webplattform (eigenen Darstellung nach Eckerson, 2012, 2011).

D-4.3.2 Technische Umsetzungsschritte und -empfehlungen

Idealerweise unterstützen interaktive Webplattformen ihre Nutzer:innen bei der Erreichung von Zielen oder beim Treffen von Entscheidungen. Viele interaktive Webplattformen verfehlen dieses wesentliche Ziel jedoch, indem so viele Daten wie möglich visualisiert werden und der Fokus auf die wesentlichen Daten und Indikatoren verloren geht (Janes et al., 2013).

Janes et al. (2013) nennen (i) die Wahl einer geeigneten Datengrundlage und (ii) die Wahl der geeigneten Darstellungsform als wesentliche Grundlage für die Entwicklung einer "nützlichen" interaktiven Webplattform. Tabelle D-1 bietet einen Überblick über die notwendigen Informationen für die **Wahl der geeigneten Datengrundlage** nach Janes et al. (2013) sowie die Übertragung auf die im Rahmen dieses Projekts angestrebte interaktiven Webplattform.

Tab. D-1: Informationsbedarf für die Wahl der geeigneten Datengrundlage als Basis für die Entwicklung einer interaktiven Webplattform (nach Janes et al., 2013)

Beschreibung nach Janes et al. (2013)	Übertragung auf die angestrebte interaktive Webplattform
<p>Ziel:</p> <p>1. Was? Definition des im Fokus der Analysen stehenden Objektes</p> <p>2. Warum? Grund für die Analyse dieses Objektes</p>	<p>1. Was? (nicht-CO₂) THG-Emissionen aus landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Betriebsebene</p> <p>2. Warum? zur Förderung klimafreundlicher Landwirtschaft (der Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Betrieben)</p>
<p>Fragestellung</p>	<p>Wie hoch sind die N₂O (CH₄, NO₃) Emissionen einer landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahme?</p>

<p>Definition der relevanten Eigenschaften (Indikatoren) des zu analysierenden Objektes</p> <p>→ Für die Wahl der Indikatoren gilt grundsätzlich, dass diese Informationen darstellen sollen, die für die zu treffenden Entscheidungen entscheidend sind (Han et al., 2014).</p>	<p>Welche Auswirkung hat eine Veränderung der Bewirtschaftungsmaßnahme auf die THG-Emissionen?</p> <p>Welche Auswirkung hat eine Veränderung der Bewirtschaftung auf den Ertrag/die Kosten/die Erlöse/etc.?</p> <p>→ weitere relevante Eigenschaften werden aus den Leitfaden-gestützten Interviews mit österreichischen Landwirt:innen abgeleitet</p>
<p>Messungen/Messwerte</p> <p>Definieren welche Daten gesammelt werden müssen, um die Fragestellungen auf (quantitative) Weise zu beantworten</p>	<p>ausgewählte Beispiele:</p> <p>spezifische Emissionsfaktoren, angebaute Kulturarten, Düngelevels, verwendete Technologien, Tierbestände, Art der Wirtschaftsdüngerabdeckung, variable Kosten, Förderungen (z.B. Prämien), etc.</p>

Die Kenntnis dieser Informationen sowie die dafür notwendigen und erhobenen Daten bilden die Grundlage für die **Wahl der Darstellungsform** der Indikatoren in einer interaktiven Webplattform. Die Darstellungsform beeinflusst die Geschwindigkeit, in der Informationen wahrgenommen und verarbeitet werden. Grundsätzlich gilt, dass ein Text gelesen und seriell verarbeitet werden muss, ein relativ langsamer Prozess. Hingegen können Grafiken auf einen Blick wahrgenommen und parallel verarbeitet werden, ohne dass Individuen darüber nachdenken müssen (Few, 2012). Für die Umsetzung einer interaktiven Webplattform sind in der Literatur folgende Überlegungen und -empfehlungen zu finden (Few, 2012; Janes et al., 2013):

- Anzeige der interaktiven Webplattform auf einem Bildschirm, ohne die Notwendigkeit eines Bildlaufs, d.h. Bildschirmbreite/-höhe nicht überschreiten. Dies erleichtert es den Nutzer:innen Vergleiche anzustellen, Zusammenhänge zu erkennen und das große Ganze zu sehen.
- Die dargestellten Indikatoren können ihre Funktion, nämlich aufzuklären, nur erfüllen, wenn auch der richtige Kontext bzw. Unterstützung für die Interpretation bereitgestellt wird. Zum Beispiel ist es mit der reinen Darstellung der betrieblichen THG-Emissionen schwierig einzuschätzen, ob es sich um einen "guten" oder "schlechten" Wert handelt. Die Möglichkeit diese mit dem regionalen Durchschnitt oder dem Durchschnitt über alle Betriebe desselben Betriebstyp zu vergleichen, unterstützt bei der Ergebnisinterpretation.
- Die Aussagekraft und Interpretierbarkeit von Grafiken wird maßgeblich von der Wahl der (richtigen) Diagrammart beeinflusst. Zum Beispiel kann für die Identifikation regionaler Hotspots die Darstellung mittels Karten sinnvoll sein, für einen Vergleich unterschiedlicher Maßnahmen jedoch ein Balkendiagramm.
- Alle ausgewählten, dargestellten Informationen sind wichtig, sollten aber nicht gleich wichtig sein. Gezielte Hervorhebungen können bzw. sollten die Aufmerksamkeit der Nutzer:innen auf die wichtigsten Aspekte und Informationen lenken. Dazu zählt auch das Vermeiden "unnötiger" Dekorationen (z.B. auffällige Logos, irrelevanten Farben und Formen).

Generell gilt, dass eine aussagekräftige, verständliche und ansprechende Benutzeroberfläche bzw. Visualisierung ein zentrales Kriterium für die Verwendung und Nützlichkeit interaktiver Webplattformen sind.

D-4.3.3 Potenzielle Nutzer:innen und Anwendbarkeit

Um nützlich/erfolgreich zu sein/einen Mehrwert zu haben, muss eine interaktive Webplattform eine klar definierte Gruppe von Nutzer:innen (Zielgruppe) haben, deren (Informations-) Bedürfnisse die Anforderungen an die webbasierte Kommunikationsplattform (insbesondere dargestellte Kennzahlen, Darstellungsweise, verwendetes Vokabular, etc.) bestimmen (Eckerson, 2011). Die hier angestrebte, interaktive Webplattform soll für den Agrarsektor klimaschutzrelevante Modellergebnisse auf

unterschiedliche Gruppen von Nutzer:innen zugeschnitten darstellen. Im Rahmen dieses Projekts liegt der Fokus auf der Entwicklung einer interaktiven Webplattform für die Gruppe der Landwirt:innen. Um die Flexibilität zu erhöhen und zukünftige Erweiterungen für weitere Gruppen von Nutzer:innen sicherzustellen wird ein modularer Aufbau angestrebt. Nachfolgend werden die unterschiedlichen Rollen bzw. potenziellen Nutzer:innen (Abb. D-2:) und wichtigsten Informationsflüsse für die angestrebte interaktive Webplattform kurz erläutert (vgl. Schneider et al., 2019).

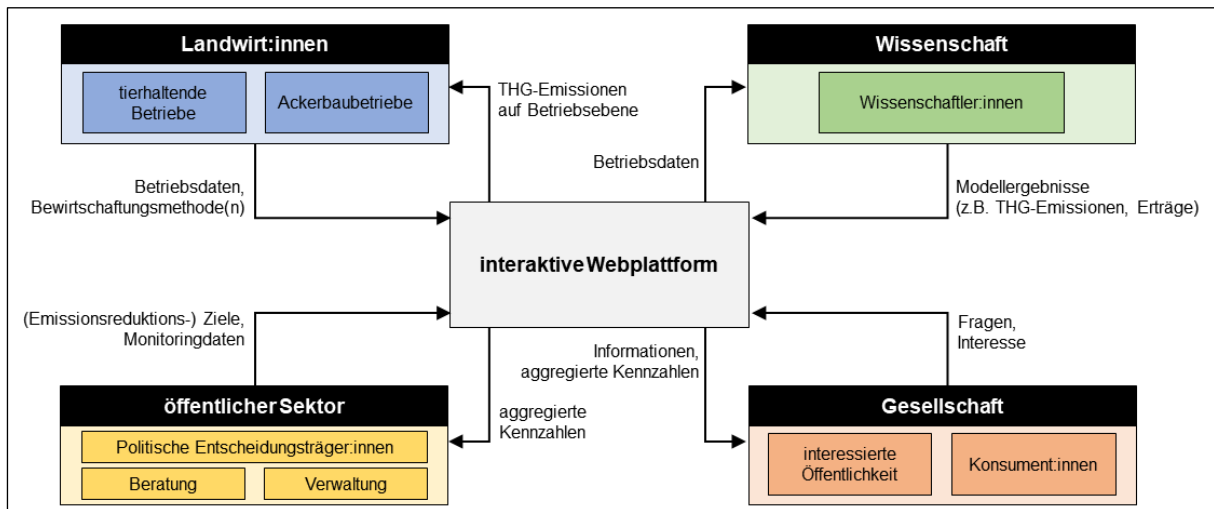


Abb. D-2: Wesentliche Rollen bei der Entwicklung und potenzielle Nutzer:innen der angestrebten, interaktiven Webplattform und wichtige Informationsflüsse (eigene Darstellung nach Schneider et al., 2019).

D-4.3.3.1 Landwirt:innen

Landwirt:innen kommt eine wesentliche Rolle als (erste) Gruppe von Nutzer:innen der interaktiven Webplattform zu. Landwirt:innen sollen die Möglichkeit haben den Einfluss ihrer Managemententscheidungen bzw. Änderungen in ebendiesen auf (nicht-CO₂) THG-Emissionen direkt zu verfolgen und zu bewerten. Weiters soll die angestrebte interaktive Webplattform als Benchmarking-System dienen, mit dem die Landwirt:innen ihre betriebsspezifischen Ergebnisse (z.B. jährliche THG-Emissionen je ha in CO₂-äquivalenten) mit aggregierten Kennzahlen - z.B. für die Region oder den Betriebstyp - vergleichen und von anderen lernen können. Dadurch können vielversprechende Klimaschutzmaßnahmen ermittelt und die gewonnenen Informationen für die Planung des künftigen Betriebsmanagements und die Steigerung der Emissions-Effizienz des Betriebs verwendet werden. Im Weiteren könnte diese Information bspw. auch für den Zugang Warenkennzeichnungen (labelling) genutzt werden.

Zur bestmöglichen Abstimmung der Anforderungen von Landwirt:innen an die über eine interaktive Webplattform verfügbaren Ergebnisse nehmen diese neben der Rolle der zukünftigen Nutzer:innen auch bei der Entwicklung der interaktiven Webplattform eine wesentliche Rolle ein. Sie können mit ihrem Wissen, Erfahrungen und Daten einen wichtigen Beitrag bei der Entwicklung der interaktiven Webplattform leisten. Insbesondere sollen die im Rahmen des vorliegenden Projektes geführten Leitfaden-gestützte Interviews (Kapitel D-5) Informationen

- über den aktuellen Wissensstand und die Einstellung von Landwirt:innen zu klimaschutzrelevanten Bewirtschaftungsmethoden liefern (Kapitel D-4.2 und D-6).
- über weitere für die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen als relevant erachtete und in der interaktiven Webplattform darzustellende Kennzahlen liefern (neben THG-Emissionen auf Betriebsebene; Kapitel D-6.2).

- das Interesse an der Verwendung einer interaktiven Webplattform zur Analyse der Auswirkungen der eigenen Bewirtschaftungsentscheidungen auf THG-Emissionen bzw. deren Beitrag zum Klimaschutz liefern (Kapitel D-6.2).

D-4.3.3.2 Wissenschaft

Die angestrebte, webbasierte Kommunikationsplattform basiert auf einer Reihe wissenschaftlicher Werkzeuge - v.a. Landnutzungsmodelle und THG-Berechnungsmethoden - die von Wissenschaftler:innen (weiter-)entwickelt und verwendet werden, um die schwer messbaren THG-Emissionen auf landwirtschaftlicher Betriebsebene zu schätzen. Diese Werkzeuge stellen agrarökologische Prozesse und ökonomische Auswirkungen dar und schätzen die THG-Emissionen unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Düngung, Wirtschaftsdüngermanagement, Tierbestände; vgl. Kapitel 4.2) bzw. den Effekt von Änderungen in den Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Als Eingangsdaten für die Landnutzungsmodellierung und die Berechnungen werden Betriebs- und Monitoringdaten verwendet, die sowohl über Landwirt:innen direkt oder vom öffentlichen Sektor (z.B. Bodendaten) zur Verfügung gestellt werden. Über den laufenden Austausch mit den weiteren Gruppen von potenziellen Nutzer:innen wird eine bestmögliche Nutzung des vorhandenen Wissens, Abstimmung der Interessen und Anpassung an unterschiedliche Anforderungen sichergestellt.

D-4.3.3.3 Öffentlicher Sektor

Im Hinblick auf den öffentlichen Sektor wird angestrebt, dass die interaktive Webplattform aggregierte Ergebnisse (z.B. nach Betriebstyp, nach Produktionsregion) zur Verfügung stellt. Politische Entscheidungsträger:innen, Verwaltungseinheiten und landwirtschaftlicher Berater:innen sollen den Beitrag unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen zu nationalen THG-Emissionsreduktionszielen sowie etwaige ökonomische Auswirkungen (z.B. über Grenzvermeidungskosten) erheben und vergleichen können. Dafür ist - wie auch bei Landwirt:innen - ein Austausch mit Entscheidungsträger:innen, Verwaltung etc. unabdingbar, denn nur so können jene Indikatoren ermittelt und dargestellt werden, die für (politische) Entscheidungen entscheidend sind (Han et al., 2014).

Die Informationen aus der interaktiven Webplattform können zum Beispiel als Grundlage für die Gestaltung der Klima- und Agrarpolitik dienen oder die Entscheidungsfindung auf regionaler oder lokaler Ebene unterstützen, z.B. bei Genehmigungsverfahren von Bauvorhaben oder Betriebserweiterungen (über Faktoren wie Tierbestand, Stallsystem, Fütterungssystem etc.).

D-4.3.3.4 Gesellschaft

Die Gesellschaft bzw. interessierte Konsument:innen könnten die interaktive Webplattform bzw. zusätzliche Module nützen, um sich einerseits direkt über aggregierte Informationen zu THG-Emissionen im Agrarsektor zu informieren und andererseits indirekt, wenn die Informationen zu betrieblichen THG-Emissionen für Warenkennzeichnungen verwendet werden. Ein weiterer Vorteil, der sich für die Gesellschaft ergeben kann, sind verringerte Umweltexternalitäten durch Umsetzung von klimaschutzrelevanten Bewirtschaftungsmaßnahmen durch Landwirt:innen oder die Optimierung politischer Entscheidungen.

D-5 Qualitative Interviews

D-5.1 Modell der privaten, proaktiven Anpassung an den Klimawandel (MPPACC)

Für die Datenanalyse bildet das Modell der privaten, proaktiven Anpassung an den Klimawandel (MPPACC; Model of Private Proactive Adaptation to Climate Change; Grothmann and Patt, 2005) die theoretische Grundlage. Das ursprüngliche MPPACC-Modell wird im Folgenden kurz dargestellt. Kleine Abänderungen wurden vorgenommen, um auf den Fokus auf den Klimaschutz zu berücksichtigen, welche nachfolgend ebenfalls näher erläutert werden. Abb. D-3: gibt einen Überblick über das MPPACC Modell.

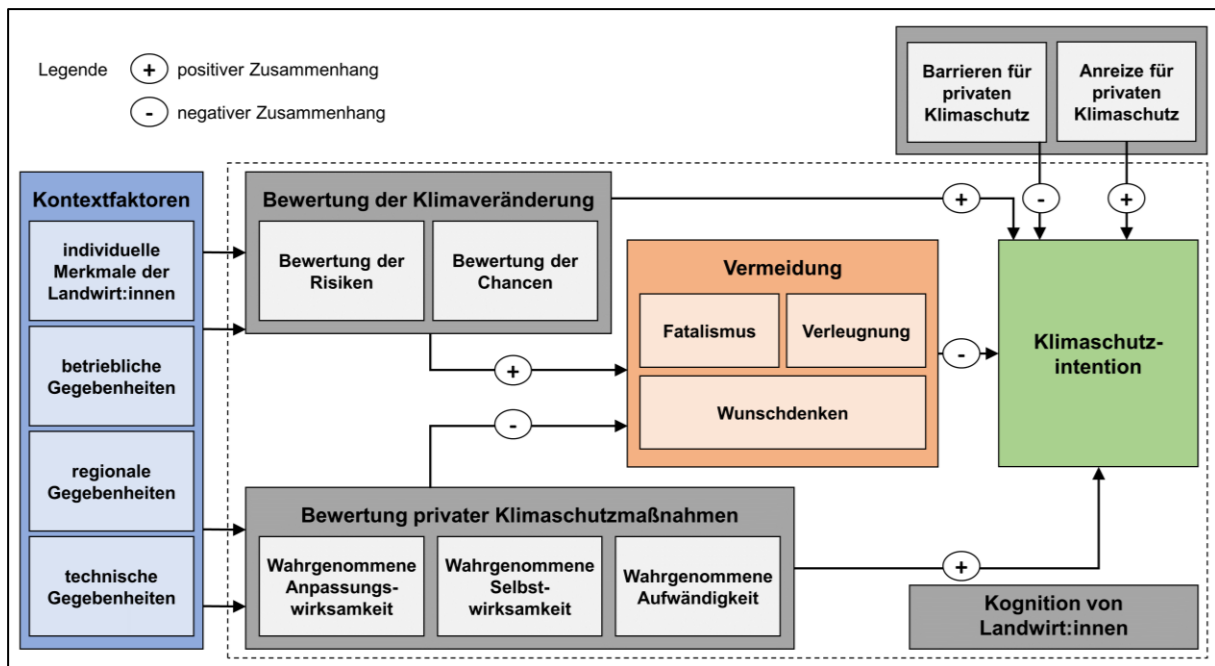


Abb. D-3: Modell der privaten, proaktiven Anpassung an den Klimawandel (MPPACC; eigene, adaptierte Darstellung nach Grothmann und Patt, 2005)

Das theoretische Modell besteht vorwiegend aus kognitiven Faktoren, die die Verhaltensintention einzelner Personen erklären. Eine Verhaltensintention beschreibt die Motivation einer Person, ein bestimmtes Verhalten umzusetzen und gilt als stärkster Prädiktor für die tatsächliche Umsetzung dieses Verhaltens. Die einzelnen Faktoren beziehen sich immer auf die jeweiligen individuellen und subjektiven Wahrnehmungen ("Kognition von Landwirt:innen", innerhalb der strichlierten Linie in Abb. D-3). Zudem werden diese Wahrnehmungen von Kontextfaktoren (blaue Box in Abb. D-3), wie sozio-demographischen Merkmalen der Landwirt:innen, betrieblichen, regionalen und technischen Gegebenheiten bestimmt.

Das theoretische Modell unterscheidet zwei wesentliche sozio-kognitive Prozesse, die die individuellen Entscheidungen von Landwirt:innen beeinflussen können (graue Boxen in Abb. D-3): Der erste Prozess beschäftigt sich mit der Bewertung von Chancen und Risiken, die durch **regionale Klimaveränderungen** entstehen können. Darunter werden zum Beispiel die von Landwirt:innen wahrgenommenen bzw. erwarteten Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremwetterereignissen (z.B. Trockenheit, Dürre) und damit verbundene wahrgenommene bzw. erwartete betriebliche Auswirkungen verstanden. Es wird davon ausgegangen, dass eine hohe Bewertung des Risikos durch zukünftige klimatische Veränderungen die Verhaltensintention, d.h. die Intention Maßnahmen zur Reduktion klimawandelbedingter Auswirkungen, also Klimaschutzmaßnahmen, erhöht. Dies ist in Abb.

D-3: mit einem "+"-Symbol dargestellt. Der zweite Prozess setzt sich mit der **Bewertung privater Klimaschutzmaßnahmen** auseinander. Dies umfasst die Wahrnehmung zur Klimaschutzwirksamkeit (ob und wie weit eine bestimmte Klimaschutzmaßnahme auf dem jeweiligen landwirtschaftlichen Betrieb als effektiv eingeschätzt wird), zur Selbstwirksamkeit (wie der:die Landwirt:in seine:ihre Fähigkeit einschätzt, die entsprechende Klimaschutzmaßnahme umzusetzen) und zur Aufwändigkeit (Kosten, Zeit, notwendige Anstrengungen, etc.). Es wird davon ausgegangen, dass eine höhere Bewertung der wahrgenommenen Anpassungswirksamkeit und der wahrgenommenen Selbstwirksamkeit sowie eine geringere Bewertung der wahrgenommenen Aufwändigkeit die Verhaltensintention erhöht ("+"-Symbol in Abb. D-3:).

In Abhängigkeit vom Ergebnis dieser beiden Prozesse besagt das theoretische Modell, dass ein Individuum entweder mit einer Klimaschutzintention (grüne Box in Abb. D-3:) oder mit einer Form von **Vermeidung** (orange Box in Abb. D-3:) reagiert. Klimaschutzmaßnahmen können der Reduktion oder Vermeidung von ungünstigen physischen oder monetären Auswirkungen dienen oder der Nutzung von sich neu ergebenden Chancen. Vermeidung bezieht sich auf Reaktionen zur Reduktion oder Vermeidung von unangenehmen Emotionen, die von den wahrgenommenen Risiken oder Auswirkungen herrühren. Beispiele dafür sind Wunschdenken, Verleugnung oder Fatalismus. Neben den Risiko- und Maßnahmen-bezogenen Faktoren wird die Verhaltensintention auch von der Wahrnehmung der regionalen und wirtschaftlichen sowie politische Gegebenheiten direkt beeinflusst. Dabei stellen Anreize jeweils fördernde und Barrieren jeweils hemmende Faktoren dar.

D-5.2 Grundlagen und Prinzipien qualitativer Sozialforschung

Für die Erreichung der Projektziele wurde ein qualitativer Forschungsansatz gewählt. Die qualitative Sozialforschung stellt Individuen und deren persönliche Erfahrungen und Wahrnehmungen in den Mittelpunkt. Die qualitative Sozialforschung zielt darauf ab, persönliche (subjektive) Wahrnehmungen, Einstellungen und Bewertungen zu einem bestimmten Thema zu verstehen und daraus resultierende Zusammenhänge aufzudecken (Flick et al., 2019). Anwendungsbeispiele sind die Erhebung der subjektiven Wahrnehmung und individuellen Risikobewertung von Dürre- und Trockenheitsereignissen und die Einstellung zu und Bewertung von Handlungsalternativen (z.B. adaptive oder präventive Bewirtschaftungsverfahren). Eine der Stärken qualitativer Sozialforschung ist deren Fähigkeit empirische Phänomene aufzudecken, welche mit quantitativen Methoden kaum oder nur schwer zu erfassen sind. Dabei fällt ein breites Spektrum an Methoden zur Datenerhebung unter den Begriff der qualitativen Sozialforschung, darunter teilnehmende Beobachtungen, Gruppendiskussionen, Dokumentenanalysen und verschiedene Interviewtypen (Lamnek, 2010). Die Gemeinsamkeit all dieser Methoden ist die erforderliche Einhaltung bestimmter Prinzipien, wie z.B. Offenheit, Kommunikation, Prozesscharakter, Reflexivität, Explikation und Flexibilität (Helfferich, 2011; Lamnek, 2010).

Im Rahmen dieses Projektes wurden semi-strukturierte, d.h. Leitfaden-gestützte Interviews geführt. Bei dieser Art der Interviewführung dient ein Interviewleitfaden mit vorab formulierten Fragen und Unterfragen als Grundlage für die Kommunikation während des Interviews. Der Interviewleitfaden wird in der Regel nach theoretischen Vorüberlegungen entwickelt und soll helfen die Gespräche thematisch zu strukturieren und alle relevanten Themenbereiche abzudecken. Um einen ständigen Wechsel zwischen Themen zu vermeiden, sollte der Interviewleitfaden selbst übersichtlich sein und einer natürlichen Erzählweise folgen. Dabei sind die Fragenformulierung, -anzahl und -abfolge zur Schaffung eines Gleichgewichts zwischen einer unvoreingenommenen Interviewsituation und der Beibehaltung des Bezugs zugrundeliegender Theorien und Annahmen gleichermaßen wichtig wie eine der wesentlichen Herausforderungen. Die Interviewfragen sollen offen formuliert sein und die Interviewpartner:innen ähnlich eines "natürlichen Gespräches" zum Erzählen anregen, ohne dass Antworten vorweggenommen oder beeinflusst werden. So bietet diese Art der Interviewführung ein Höchstmaß an Offenheit, d.h. Interviewpartner:innen können frei antworten und weitere, für sie relevante, Aspekte in das Gespräch einbringen und schildern. Um den Interviewpartner:innen die

Möglichkeit narrativer Schilderungen einzuräumen ist auch die Anzahl der Fragen von entscheidender Bedeutung (Helfferrich, 2011; Kruse, 2014).

D-5.3 Leitfaden-gestützte Interviews

D-5.3.1 Erstellung des Interviewleitfadens

Der Interviewleitfaden basiert auf einer umfangreichen Literaturrecherche (siehe u.a. Kapitel D-3) und die Fragen wurden unter Berücksichtigung des in Kapitel D-5.1 vorgestellten theoretischen Modells sowie Erfahrungen der Projektmitarbeiter:innen aus vorhergehenden Projekten formuliert (z.B. Matousek et al., 2022; Kropf et al., 2020; Mitter et al., 2019). Der Fokus des Interviewleitfadens lag auf dem Wissen von Interviewpartner:innen über Betriebstypen-spezifischen Klimaschutzmaßnahmen sowie auf Faktoren, die für die (nicht-) Umsetzung ebendieser am landwirtschaftlichen Betrieb ausschlaggebend sind. Weitere Fragen befassten sich mit dem Informationsverhalten der Interviewpartner:innen über die (klimaschutzrelevante) Anpassung von Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie deren Einstellung zu interaktiven Webplattformen als potenzielle Informationsquelle.

Zusätzlich zum Interviewleitfaden wurde ein Strukturdatenblatt erstellt. Im Strukturdatenblatt werden demographische Informationen zu den Interviewpartner:innen sowie betriebspezifische Details erfasst. Nach mehreren Projektteam-internen Diskussionen und Feedbackschleifen wurden sowohl der Interviewleitfaden als auch das Strukturdatenblatt einem Pretest unterzogen. Dazu wurden Testinterviews mit zwei österreichischen Landwirt:innen durchgeführt. Nach den Testinterviews wurden die Interviewpartner:innen um Feedback gebeten und dieses in den Interviewleitfaden eingearbeitet. Da nach der Testphase nur geringfügige Änderungen am Interviewleitfaden vorgenommen wurden, wurden auch diese Interviews in der weiteren Analyse berücksichtigt.

Der finale Interviewleitfaden ist in folgende Themenbereiche gegliedert:

1. Informationen im Vorfeld des Interviews (z.B. Details zur Masterarbeit im Rahmen des Projekts, Datenschutz)
2. Wahrnehmung klimatischer Veränderungen und deren betriebliche Auswirkungen
 - Wahrgenommene klimatische Veränderungen
 - Wahrgenommene Auswirkungen auf den eigenen Betrieb
3. Klimaschutzrelevante Bewirtschaftungsmaßnahmen
 - Maßnahmen, die Landwirt:innen umsetzen (können) um zur Reduktion von landwirtschaftlichen THG-Emissionen beizutragen (3-4 Betriebstypen-spezifische Maßnahmen)
 - Welche Maßnahmen werden bereits umgesetzt und aus welchen Gründen werden diese umgesetzt?
 - Welche Maßnahmen werden (noch) nicht umgesetzt und aus welchen Gründen werden diese nicht umgesetzt?
4. Informationsverhalten und Einstellung zu interaktiven Webplattformen
 - Welche Informationsquellen werden genutzt, um sich über Bewirtschaftungsmaßnahmen zu informieren?
 - Werden online oder offline Medien genutzt? // Welche Informationsmedien werden genutzt?
 - Wäre es interessant den THG-Effekt von Veränderungen in den Bewirtschaftungsmaßnahmen zu kennen?

- Kurze Erläuterung zu interaktiven Webplattformen: Unter welchen Bedingungen ist eine Nutzung vorstellbar?

5. Abschließende offene Frage

Detailliertere Unterfragen wurden nur gestellt, wenn relevante Aspekte im Rahmen der Erzählungen der Interviewpartner:innen nicht thematisiert wurden. Die Einstiegsfrage wurde bewusst zur Wahrnehmung des Klimawandels formuliert, um die Interviewpartner:innen zum Erzählen einzuladen und ihnen einen Rahmen für die Relevanz des Themas Klimaschutz zu bieten. Nach dem ersten Themenbereich, in dem es allgemein um die Wahrnehmung klimatischer Veränderungen und deren Auswirkungen ging, folgten im zweiten Teil Fragen zu 3-4 klimaschutzrelevanten Bewirtschaftungsmaßnahmen. Der Fokus lag stets auf der Betriebsebene, da diese für Landwirt:innen ökonomisch die wichtigste Betrachtungsebene darstellt. Je nach dem Betriebstyp, wurden dem:r Interviewpartner:in entsprechende Bewirtschaftungsmaßnahmen vorgeschlagen, welche auf Basis der Literaturrecherche und Expertengesprächen sowie Workshops im Rahmen anderer Projekte, ausgewählt wurden. Während beispielsweise Ackerbaubetriebe gebeten wurde etwas über ihr Düngemanagement und ihre Düngeplanung zu erzählen, wurden Landwirt:innen von Tierhaltungsbetriebe nach ihrem Wirtschaftsdüngermanagement gefragt. Dieser Teil sollte auch zusätzliche Informationen über die Präsenz und Relevanz des Themas Klimaschutz bei der Veränderung von Bewirtschaftungsmaßnahmen liefern.

Der dritte Teil begann mit einer Frage zum Informationsverhalten der Interviewpartner:innen. Danach folgte eine kurze Erläuterung von interaktiven Webplattformen allgemein und zum angestrebten Konzept für eine interaktive Webplattform als betriebliches THG-Emissionsmonitoring. Um die Interviewsituation etwas aufzulockern, wurde bei diesem Thema ein Bildmaterial eingebaut: Bei der Erläuterung des angestrebten Konzepts wurde den Interviewpartner:innen zusätzlich eine Abbildung mit der beispielhaften Darstellung einer interaktiven Webplattformen mit Landwirtschaft- und Klimaschutzbezug gezeigt. Der Fokus der Fragen zu interaktiven Webplattformen lag auf Erfahrungen mit dieser Art digitaler Informationsquelle sowie der Meinung zu ebendiesen bzw. Einschätzung diese zukünftig zu nutzen. Dabei wurden die Interviewpartner:innen gebeten zu erläutern unter welchen Bedingungen sie sich vorstellen können eine interaktive Webplattform mit Fokus auf Klimaschutz auf landwirtschaftlicher Betriebsebene zu nutzen. Die Abschlussfrage beendete das Interview und bot den Interviewpartner:innen die Möglichkeit weitere, für sie relevante, Punkte zu ergänzen.

Grundsätzlich stellte der Interviewleitfaden zwar eine Richtlinie für die Abfolge der Fragen dar, die tatsächliche Vorgehensweise wurde jedoch an die individuelle Interviewsituation angepasst und richtete sich nach dem Gesprächsverlauf. Dadurch wurde oben erläuterte Fragenabfolge - mit Ausnahme der Einstiegs- und Abschlussfrage - nicht immer eingehalten und auch die Wortwahl an die jeweilige Interviewsituation angepasst. Im Einzelfall wurden vom Interviewer sogar spontane ad-hoc Fragen ergänzt, welche nicht Teil des Leitfadens sind, jedoch im Laufe des Interviews auftraten und die Beantwortung der Forschungsfragen unterstützten.

D-5.3.2 Auswahl der Interviewpartner:innen

Ziel qualitativer Interviews ist die Erfassung und Analyse persönlicher Wahrnehmungen und daraus resultierenden Zusammenhängen. Jede:r Einzelne hat unterschiedliche Wahrnehmungen der Realität. Die Auswahl der Interviewpartner:innen deckt eine bestimmte Bandbreite dieser persönlichen Wahrnehmungen ab. Somit sollte die Auswahl der Interviewpartner:innen auf Basis bestimmter, vom Forschungsziel abhängiger Kriterien erfolgen. Zu diesen Auswahlkriterien zählen zum Beispiel demografische, regionale oder soziale Charakteristika (Kruse, 2014). Für dieses Forschungsprojekt wurden die Interviewpartner:innen anhand verschiedener Kriterien auf betrieblicher Ebene ausgewählt. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet sowohl konventionell als auch biologisch bewirtschaftete Betriebe einzubeziehen. Zusätzlich wurde jeweils auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Ackerbau- und Tierhaltungsbetriebe geachtet.

Um passende Interviewpartner:innen zu finden gibt es verschiedene Rekrutierungsverfahren, wie etwa das Schneeballsystem und die Multiplikatoren- bzw. Gatekeeper-Strategie. Beim Schneeballsystem werden Interviewpartner:innen rekrutiert, indem bereits interviewte Personen gebeten werden weitere potenzielle Interviewpartner:innen zu benennen oder zu kontaktieren. Bei der Gatekeeper-Strategie werden Personen, die in einem bestimmten Feld tätig sind, als Vermittler:innen tätig. Die Gatekeeper sind häufig Mitarbeiter:innen von Institutionen oder Mitglieder von Organisationen und aufgrund ihrer Tätigkeit gut vernetzt und haben einen guten Überblick bzw. Zugang zu potentiellen Interviewpartner:innen. Neben diesen zwei Strategien können Interviewpartner:innen auch über eine direkte Recherchestrategie rekrutiert werden. Dazu zählen zum Beispiel die Suche über Telefonbücher, aufgegebene Zeitungsanzeigen oder Internetpräsenzen (Foren, Websites, etc.). Außerdem besteht die Möglichkeit diese Rekrutierungsstrategien miteinander zu kombinieren (vgl. Kruse, 2014).

Für die Interviews in diesem Forschungsprojekt wurden die Gatekeeper Strategie und das Schneeballsystem angewendet. Erste Kontakte zu potenziellen Interviewpartner:innen wurden über vermittelnde Organisationen, darunter zum Beispiel die Landwirtschaftskammer und LBG Österreich, hergestellt. Die interviewten Landwirt:innen haben weitere Kontakte vorgeschlagen. In Summe wurden mehr als 30 potenzielle Interviewpartner:innen kontaktiert. Davon haben 14 einem Interview zugestimmt. Davon 10 Einzelinterviews. In 4 Fällen gab es mehr als eine:n Interviewpartner:in, da auch Ehepartner bzw. Töchter und Söhne einer interviewten Person am Interview teilnahm.

D-5.3.3 Interviewführung und Transkribieren

Im Sommer 2022 (Juni 2022 bis Juli 2022) wurden x persönliche, Leitfaden-gestützte Interviews mit Landwirt:innen in Ost-Österreich geführt und digital aufgezeichnet. Die Dauer der Interviews betrug zwischen ca. 20 und ca. 70 Minuten. Der Großteil der Interviews fanden bei den Landwirt:innen zu Hause statt, was ebenfalls zur Schaffung einer vertrauten Umgebung für die Interviewpartner:innen beiträgt. In vereinzelt Fällen stimmten die Interviewpartner:innen einem Interview Zuhause nicht zu oder war dies aufgrund der zeitlichen Verfügbarkeit der Interviewpartner:innen nicht möglich und wurde an einem betriebsexternen Ort (Kaffeehaus, Arbeitsplatz des:r Interviewpartner:in) durchgeführt.

Persönliche Interviews bieten zudem den Vorteil, dass durch persönliche Interaktionen, z.B. das Händereichen bei der Begrüßung und eine persönliche Erklärung zum Interviewablauf eine vertraute und vertrauensvolle Gesprächsbasis geschaffen wird. Eine vertraute und vertrauensvolle Interviewsituation ist bei gesellschaftlich sensiblen Themen wie dem Klimawandel bzw. einer verstärkten Notwendigkeit seitens der Landwirtschaft einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten besonders wichtig. Weitere Vorteile persönlicher Interviewsituationen sind, dass die wahrgenommene Körpersprache zusätzliche Informationen liefern kann oder eingesetzt werden kann, um den Erzählfluss der Interviewpartner:innen zu fördern. Außerdem können Unklarheiten rascher geklärt werden und zusätzliche Materialien, wie beispielsweise das in den vorliegenden Interviews eingesetzte Bildmaterial zur beispielhaften Darstellung einer interaktiven Webplattform, einfacher eingesetzt werden und die Interviewsituation abwechslungsreicher gestalten. Zudem nehmen sich die Interviewpartner:innen erfahrungsgemäß für persönliche Interviews mehr Zeit als für Telefoninterviews, womit umfangreichere und "durchdachtere" Antworten verbunden sind (vgl. Irvine et al., 2012; Irvine, 2011).

Vor dem eigentlichen Interview wurde jede:r Interviewpartner:in über den Ablauf des Interviews und den weiteren, vertraulichen Umgang mit den Daten informiert. Datenschutz und Anonymität wurden gewährleistet und die Interviewpartner:innen wurden um Zustimmung zur digitalen Aufzeichnung des Interviews gebeten. Seitens des Interviewers wurde im Gegenzug zugesichert, dass die Daten nach Abschluss der Analysen vernichtet werden und dass die anonymisierten Transkripte vertraulich behandelt werden (Anmerkung: Die vollständigen Transkripte werden diesem Projektbericht nicht angefügt. In den Ergebnissen werden ausschließlich relevante Zitate wiedergegeben). Die Interviews selbst wurden auf Basis des vorab ausgearbeiteten Interviewleitfadens durchgeführt. Nach jedem Interview wurde der:die Interviewpartner:in gebeten das vorbereitete Strukturdatenblatt auszufüllen.

Nach Abschluss jedes Interviews füllte der Interviewer ein Interviewprotokoll aus. Das Interviewprotokoll dient der Aufzeichnung zusätzlicher Informationen, wie zum Beispiel der Interaktion während des Interviews, Störungen während des Interviews oder der Gesprächsatmosphäre.

Das gesamte Audiomaterial wurde in Textformat gebracht, dieser Prozesse wird transkribieren genannt. Zum Transkribieren wurden die Software f4transkript (audiotranskription dr. dresing & pehl GmbH, 2022) und easytranscript (E-Werkzeug, 2022) verwendet. Die aufgezeichneten Interviews wurden wortwörtlich transkribiert und nonverbale Äußerungen, Pausen, Zögern, Lachen oder Akzentuierungen in den Transkripten vermerkt. Da die Interviews in österreichischem Dialekt geführt wurden, wurden - wie von Mayring (2015) - empfohlen, die gesprochenen Worte in das Schriftdeutsch übertragen. Im Zuge des Transkribierens wurden alle Angaben, die Rückschlüsse auf den:die Interviewpartner:in erlauben anonymisiert. Zum Beispiel wurden die Namen der Interviewpartner:innen mit der Abkürzung "IP" für Interviewpartner:in, gefolgt von einer Nummer auf Basis der chronologischen Interviewreihenfolge abgekürzt. Zum Zweck der qualitativen Inhaltsanalyse wurden nur die anonymisierten und transkribierten Textdateien, nicht jedoch die Audiodateien aufgehoben. Die Transkripte dienten als Grundlage für die qualitative Inhaltsanalyse, welche entlang des Modells der privaten, proaktiven Anpassung an den Klimawandel (Kapitel D-5.1) durchgeführt wurde.

D-5.4 Analyse der Interviews

D-5.4.1 Qualitative Inhaltsanalyse der Interviewtranskripte

Die qualitative Inhaltsanalyse ist in den Sozialwissenschaften eine der am meisten verwendeten Methoden zur systematischen Textanalyse. Im Sinne der Hermeneutik ist das wesentliche Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse das Interpretieren und Verstehen von Kommunikationsmaterial. Bei diesem Kommunikationsmaterial muss es sich nicht zwangsläufig nur um Texte - wie im vorliegenden Projekt mit den Interviewtranskripten der Fall - handeln, dazu zählt etwa auch bildliches oder musikalisches Material (Mayring et al., 1991). In der Literatur existieren zahlreiche Vorgehensweisen für qualitative Inhaltsanalyse, die sie einerseits zu einem flexiblen Tool machen und die weitverbreitete Verwendung begründen, andererseits jedoch auch dazu führen, dass keine einheitliche Definition und kein einheitliches Verständnis zu diesem Verfahren existieren (Pawicki, 2014; Schreier, 2014; Stamann et al., 2016). Zum Beispiel unterscheidet Mayring (2015) zwischen der zusammenfassenden, explizierenden und strukturierenden Inhaltsanalyse. Unabhängig von der Vorgehensweise herrscht Einigkeit darüber, dass es sich um ein systematisches, regelgeleitetes und theoriegeleitetes Vorgehen handelt. Dadurch sollen zwei wesentliche Gütekriterien, die Validität und die Reliabilität erfüllt werden (Mayring et al., 1991; Schreier, 2014).

Zur Analyse des Datenmaterials wurde in diesem Forschungsprojekt eine inhaltlich-strukturierende Vorgehensweise gewählt. Ziel der inhaltlich-strukturierenden Inhaltsanalyse ist es, bestimmte Inhalte und Themen im Datenmaterial zu identifizieren und zu konzeptualisieren. Dazu wurde das gesamte Datenmaterial kodiert. Darunter versteht man die Zuordnung einzelner Textpassagen zu Kategorien. Die einzelnen Kategorien bilden zusammen ein Kategoriensystem (Stamann et al., 2016). Bei der Bildung dieser Kategorien wird grundsätzlich zwischen einer induktiven und deduktiven Strategie unterschieden. Bei der deduktiven Strategie werden die Kategorien vor der Textanalyse festgelegt. Dies kann auf Basis einer bestimmten Theorie oder eines Modells, aber auch anderen Untersuchungen und dem Interviewleitfaden selbst geschehen. Hingegen ist die induktive Strategie ein datengetriebener Ansatz. Die Kategorien werden also nicht vorab definiert, sondern im Rahmen der Textanalyse. Sie basieren also auf dem erhobenen Datenmaterial. Um eine größtmögliche Offenheit zu gewähren, wurde im vorliegenden Forschungsprojekt - und wie von Gläser und Laudel (2013) empfohlen - eine Kombination dieser beiden Strategien gewählt, also eine deduktiv-induktive Vorgehensweise. Die deduktiv-induktive Vorgehensweise zeichnet sich durch eine theoriegeleitete Kategorienbildung vor der Analyse des Datenmaterials (deduktiv) aus, welche im Rahmen der Datenanalyse verfeinert und erweitert werden (induktiv).

D-6 Ergebnisse der qualitativen Interviews

Die Interviews wurden transkribiert, codiert und analysiert. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Interviewanalyse präsentiert. Die Ergebnisse der Interviews werden entlang der in Kapitel D-5.1 vorgestellten Komponenten des MPPACC Modells vorgestellt und durch anonymisierte Zitate unterstrichen (die Interviews wurden entsprechend der Bewirtschaftungsform und des Zeitpunkts der Durchführung nummeriert). Im ersten Teil werden die wahrgenommenen klimatischen Veränderungen und damit verbundenen wahrgenommenen betrieblichen Klimawandelauswirkungen kurz dargestellt. Im zweiten Teil werden die (nicht) umgesetzten Klimaschutzmaßnahmen sowie die Gründe für die (nicht) Umsetzung mit Fokus auf die Bewertung der Klimaschutzmaßnahmen hinsichtlich der wahrgenommenen Wirksamkeit, Selbstwirksamkeit und Aufwändigkeit präsentiert. Der letzte Teil dieses Kapitels wird das Informationsverhalten der Interviewpartner:innen hinsichtlich der (Klima-) Wirkung ihrer Managemententscheidungen und die Einstellung zur Verwendung einer webbasierten Kommunikationsplattform vorgestellt.

D-6.1 Wahrgenommene klimatische Veränderungen und betriebliche Klimawandelauswirkungen

D-6.1.1 Wahrgenommene klimatische Veränderungen

Der Großteil der interviewten Landwirt:innen hat, rückblickend auf die Zeit seitdem sie in der Landwirtschaft tätig sind, eine Veränderung des Klimas wahrgenommen. Die meisten Landwirt:innen schildern einen Anstieg der Temperaturen und eine Tendenz zu häufigeren und länger andauernden Hitzeperioden. Weiters werden "mildere und wärmere" Winter wahrgenommen. Von einzelnen Landwirt:innen werden zudem ein Rückgang der Niederschläge im Winter und eine zunehmend fehlende Schneedecke sowie damit einhergehend ein Feuchtigkeitsdefizit im Frühling als problematisch wahrgenommen, jedoch nicht die Kälte im Winter.

"Wir haben in den letzten 10 bis 15 Jahren deutlich trockenere Jahre und deutlich heißere Jahre. Ahm, wir haben, ahm, aus meiner Sicht hier im [Ort] bereits Zustände wie am Gardasee." (LW06)

In Verbindung mit dem wahrgenommenen Temperaturanstieg und den vermehrten Hitzephasen werden von vielen Landwirt:innen Niederschlagsveränderungen erwähnt, wobei sowohl Änderungen in der saisonalen Verteilung sowie der Häufigkeit und der Intensität von Niederschlagsereignissen wahrgenommen werden. Zur saisonalen Verteilung wurde von einigen Interviewpartner:innen erzählt, dass ihres Empfindens nach die notwendigen Jahresniederschlagssummen erreicht werden, sich die saisonale Verteilung jedoch verändert. Zum Beispiel wird die Frühjahrstrockenheit in Kombination mit dem verfrühten Vegetationsbeginn von vielen als problematisch wahrgenommen. Die Landwirt:innen sind sich einig, dass zudem die Intensität und Häufigkeit von Starkregenereignissen über die Jahre hinweg zugenommen haben und die großen Regenmengen innerhalb sehr kurzer Zeiträume oftmals die Aufnahmefähigkeit bzw. Speicherkapazität des Bodens übersteigen. Einzelne Landwirt:innen waren in den vergangenen Jahren zwar von Extremwetterereignisse, wie zum Beispiel Hagel, betroffen, diese werden jedoch nicht als in der Häufigkeit zunehmend wahrgenommen.

D-6.1.2 Wahrgenommene betriebliche Klimawandelauswirkungen

Bei den wahrgenommenen Auswirkungen von Klimaveränderungen auf den landwirtschaftlichen Betrieb können positive und negative Auswirkungen unterschieden werden. Die Ergebnisdarstellung erfolgt für Ackerbaubetriebe und Tierhaltungsbetriebe gemeinsam, da auch Landwirt:innen aus dem Bereich der Tierhaltung mit der Frage zu den betrieblichen Klimawandelauswirkungen vor allem Auswirkungen auf den Futterbau assoziiert haben.

Einerseits werden die längeren und früheren Hitzetage als Stressfaktor für die Pflanzen genannt. Andererseits geben die befragten Landwirt:innen häufig die wahrgenommene zunehmende Trockenheit als Grund für Ertragsschwankungen sowie Ernteeinbußen an, denn "Wasser ist immer der limitierende Faktor" (LW05). Vor allem der Anbau von Sommerkulturen, wie Sommergerste, wird von einigen Landwirt:innen als immer schwieriger und nicht mehr rentabel empfunden. In Bezug auf die Grünlandwirtschaft werden vor allem die fehlenden Niederschläge zu Beginn der Vegetationsperiode, aber auch späte Fröste und Schneefall im April oder Mai als negative Klimawandelauswirkung und Grund für Ertragsrückgänge wahrgenommen. Fast alle befragten Landwirt:innen berichten davon, dass sich Erntezeitpunkte und Vegetationsperioden seitdem sie in der Landwirtschaft tätig sind verändert haben. Diese Verschiebung wird sowohl als positive als auch negative Auswirkung wahrgenommen. Als Beispiel für eine positive wahrgenommene Klimawandelauswirkung hat ein:e Interviewpartner:in beschrieben, dass es sich durch die längere Vegetationsperiode in der Region bereits ausgeht, zwei Hauptkulturen anzubauen (insbesondere wurde die Kombination Wintergerste - Soja genannt). Gleichzeitig wird durch die Verschiebung der Vegetationsperiode aber auch eine höhere Arbeitsbelastung wahrgenommen, bei Ackerbaubetrieben verursacht durch gleichzeitig auftretende Erntefenster für mehrere Kulturen und bei Betrieben mit hohen Grünlandanteilen (Tierhaltungsbetriebe und gemischte Betriebe) durch oft sehr kurze Erntefenster.

"Der Ertrag schwankt da so stark. Weil, es gibt Jahre, wenn es zur richtigen Zeit regnet, dann ist es, kann das Getreide super sein, oder die Sommerkulturen sind super. Es ist, ahm, extreme Schwankungen halt." (LW05)

Ein Großteil der Landwirt:innen erzählt vom zunehmenden Bewässerungsbedarf bzw. davon, dass manche Kulturen früher nicht bewässert werden mussten und jetzt ohne Bewässerung nicht mehr angebaut werden können. Das wurde zum Beispiel bei Hackfrüchten (v.a. Kartoffel), aber auch bei Soja immer wieder beobachtet.

Aufgrund der steigenden Temperaturen, vor allem im Winter, steigen der Schädlings- und Unkrautdruck am Ackerland und werden zunehmend als Problem wahrgenommen. Denn mildere Winter mit weniger Frosttagen führen dazu, dass eine größere Anzahl an Schädlingen und Unkräutern überlebt.

D-6.2 Einstellung zu und Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen

In den nachfolgenden Kapitel werden zuerst alle von den Landwirt:innen bereits umgesetzten Klimaschutzmaßnahmen beschrieben, unabhängig davon, ob die Umsetzung davon motiviert war einen Klimaschutzbeitrag zu leisten, oder nicht. Zusätzlich werden die im Rahmen der Interviews thematisierten, jedoch nicht-umgesetzt Klimaschutzmaßnahmen kurz beschrieben. In den darauffolgenden Subkapiteln wird auf Faktoren, welche die Umsetzung fördernden bzw. hemmenden näher eingegangen.

D-6.2.1 Aktuell umgesetzte Klimaschutzmaßnahmen

Die Analyse der Interviews zeigt, dass die meisten interviewten Landwirt:innen auf ihren Betrieben in den letzten Jahren einige der diskutierten Bewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt haben. Vor allem Ackerbaubetriebe setzen bereits Bewirtschaftungsmaßnahmen um, mit denen sie einen Beitrag zur Reduktion von THG-Emissionen in der Landwirtschaft leisten können. Einige Landwirt:innen nannten die Umstellung von konventioneller auf biologische Wirtschaftsweise als grundlegend Veränderung. Neben dieser transformativen Umstellung, d.h. einer Änderung der grundlegenden strategische Ausrichtung des Betriebs, spielen vor allem Zwischenfruchtanbau und Begrünungen sowie die vermehrte Anwendung des Verfahrens der reduzierten Bodenbearbeitung eine Rolle. Vor allem Interviewpartner:innen biologisch wirtschaftender Ackerbaubetrieb setzen zunehmend pfluglose Bodenbearbeitung sowie Mulch- und Direktsaat ein. Im Zusammenhang mit der Düngung und mit Pflanzenschutz wurden mehrmals ein Umstieg auf eine extensive(re) Bewirtschaftungsweise und eine

Reduktion des Einsatzes mineralischer Dünger bzw. Pflanzenschutzmittel genannt. Einige Landwirt:innen haben auch von Veränderungen in der Fruchtfolge und im Aussaat- bzw. Erntezeitpunkten erzählt. Dabei wurden immer wieder standortangepasste Kulturen und Sorten, aber auch der Fokus auf wertvollere Kulturen und einen höheren Leguminosenanteil thematisiert.

Weiters wurde von einem:r Landwirt:in erwähnt, dass das Bewässerungssystem mittlerweile mit einer Photovoltaikanlage statt einem Dieselaggregat betrieben wird und auf einer der Betriebsflächen ein Windrad aufgestellt wurde.

D-6.2.2 Aktuell nicht umgesetzte Klimaschutzmaßnahmen

Bewirtschaftungsmaßnahmen mit Klimaschutzpotenzial, die im Rahmen der Interviews nicht von den Interviewpartner:innen selbst angesprochen wurden, wurden vom Interviewer eingebracht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Interviewpartner:innen keine teilflächenspezifische Düngung einsetzen. Ackerbaubetriebe gaben an, dass Düngemengen basierend auf den eigenen Erfahrungen zwischen den Schlägen variiert und an die jeweiligen Standortbedingungen angepasst werden, dass jedoch keine Technologien für Präzisionslandwirtschaft eingesetzt werden, die eine gezielte Variation innerhalb eines Feldes ermöglichen. Ähnlich ist die Situation bei Tierhaltungsbetrieben, welche bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern die Düngeintensität ebenfalls zwischen den Feldern variieren, jedoch keine teilflächenspezifische Düngung vornehmen. Die Interviewanalyse zeigt jedoch, dass Landwirt:innen den Einsatz von Technologien für Präzisionslandwirtschaft zur Regulierung des Betriebsmitteleinsatzes, Saatgutes und Düngers als sinnvoll wahrnehmen. Im Zusammenhang mit der teilflächenspezifischen Düngung und einer Vermeidung der Düngerausbringung in Fahrgassen wurde auch das Potenzial für eine Senkung der THG-Emission durch erwähnt. In Bezug auf den Einsatz neuer, präziser Technologien auch von keinem der Betriebe eine Ausbringung des Düngers über das Bewässerungssystem (Fertigation) angesprochen.

Bei den Ackerbaubetrieben zeigt die Auswertung der Interviews, dass nicht alle Betriebe eine konservierende Bodenbearbeitung einsetzen, sondern bei einem Teil der Interviewpartner:innen zumindest auf einem Teil der Ackerflächen das Verfahren der konventionellen Bodenbearbeitung angewendet wird. Auch Mulch- und Direktsaat wird nur von einem Teil der Interviewpartner:innen umgesetzt.

D-6.2.3 Erwartungshaltung von Landwirt:innen zur Maßnahmenumsetzung

Im Rahmen der Interviewanalysen zeigte sich, dass die (nicht-) Umsetzung von Maßnahmen von unterschiedlichen Erwartungen der Landwirt:innen an diese Maßnahmen beeinflusst wird. Es wurden sowohl Faktoren identifiziert, welche die Umsetzung von Maßnahmen fördern, als auch solche, die die Umsetzung hemmen. Diese Faktoren können weiter differenziert werden in die erwartete Wirksamkeit, die wahrgenommene Selbstwirksamkeit und die wahrgenommene Aufwändigkeit. Neben diesen kognitiven Faktoren können auch Betriebs-externe Faktoren, insbesondere soziale Normen und Kontextfaktoren, also Gegebenheiten, die nicht im Einflussbereich des:der einzelnen Landwirt:in liegen, die (nicht-) Umsetzung von Maßnahmen beeinflussen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Umsetzung von Maßnahmen, auch wenn diese einen potenziellen Beitrag zum Klimaschutz leisten, kaum von Überlegungen zu deren Klimawirkung beeinflusst wird. In den folgenden Subkapiteln werden die genannten Überlegungen und Einstellungen der Landwirt:innen näher erläutert.

D-6.2.3.1 Die Maßnahmenumsetzung fördernde Erwartungen

Die interviewten Landwirt:innen haben erzählt, dass die Entscheidung für die Umsetzung des Verfahrens der konservierenden bzw. pfluglosen Bodenbearbeitung sowie der Anbau von Begrünungen (Zwischenfrüchten) auf Basis ihrer Erwartungen an eine verbesserte Bodengesundheit und -qualität getroffen werden (**erwartete Wirksamkeit**). Zum Beispiel erwarten sich Landwirt:innen mit "schlechten" Böden, d.h. Böden mit einer geringen Bodengütezahl, durch die Anwendung der reduzierten Bodenbearbeitung und die Einarbeitung von Pflanzenrückständen eine verbesserte Bodenfruchtbarkeit durch den Aufbau von Humus und gleichzeitig ein besseres Bodenleben und eine höhere Biodiversität. Vereinzelt spielen bei dieser Maßnahme auch Überlegungen zur Bindung von CO₂ im Boden, also Überlegungen zur Klimawirksamkeit, eine Rolle, werden jedoch stets als sekundäre bezeichnet.

"Ich meine, ich möchte als Bauer schon auch, ich möchte Humus aufbauen, weil ich weiß, dass das gut für meinen Boden ist. Und ich weiß, dann binde ich CO₂." (LW05)

Die interviewten Landwirt:innen erwarten sich durch Begrünungen auch einen Erosionsschutz. In manchen Regionen wurden vor allem Überlegungen zur Minderung der Winderosion und der resultierenden Wasserverdunstung genannt. Weiters wird der Anbau von Begrünungen von den Erwartungen an eine bessere Durchwurzelung des Bodens und damit verbunden eine verbesserte Wasserhaltekapazität motiviert. Von der besseren Durchwurzelung des Bodens erwarten sich die Landwirt:innen auch eine einfachere Bearbeitbarkeit und damit verbunden eine geringere Anzahl an Überfahrten. Mit der Reduktion der Überfahrten werden sowohl eine Reduktion des Arbeitsaufwandes als auch ein geringerer Treibstoffverbrauch und eine deutliche Kosteneinsparung - vor allem aufgrund der hohen Treibstoffpreise während des Zeitraums der Interviewführung - in Verbindung gebracht (**wahrgenommene Aufwändigkeit**). Ähnliche Überlegungen wurden auch zum Düngeeffekt von Begrünungen und damit verbundenen Düngereinsparungen genannt. Biologisch wirtschaftende Betriebe nannten vor allem den Düngeeffekt als zentrale Überlegung für den Zwischenfruchtanbau. Im Gegensatz dazu wird die Umsetzung der Maßnahme bei konventionell wirtschaftenden Betrieben vor allem von Überlegungen zur Optimierung der Düngerkosten motiviert. Auch in Bezug auf die Treibstoff- und Düngereinsparnis wurden Überlegungen zu geringeren THG-Emissionen von den Interviewpartner:innen als zweitrangig eingestuft.

Neben der Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen wurden die Erwartungen an einen geringeren Arbeitsaufwand sowie eine Reduktion des Bedarfs an Inputfaktoren wie Dünger, Pflanzenschutzmittel und Wasser auch für die Änderungen in der Fruchtfolge als wichtige Überlegungen identifiziert. Zum Beispiel erwähnte ein:e Interviewpartner:in, dass keine Zuckerrüben mehr angebaut werden, da diese "einfach zu viel Energie brauchen" (LW04/1). Vor allem Interviewpartner:innen biologisch wirtschaftender Betrieben wiesen immer wieder auf die Bedeutung einer Kreislaufwirtschaft hin und wählen die Kulturarten und Sorten auch basierend auf den am Betrieb vorhandenen Nährstoffen aus. Bei tierhaltenden und gemischten Betrieben ist dies zum Beispiel die vorhandene bzw. am Betrieb anfallende Menge an Wirtschaftsdünger, bei Ackerbaubetrieben kommen diese Nährstoffe vor allem von Begrünungen und dem Leguminosenanteil in der Fruchtfolge. Insgesamt zeigen die Ergebnisse unabhängig vom Betriebstyp und der Bewirtschaftungsform, dass Landwirt:innen Maßnahmen vermehrt umsetzen, wenn die dafür benötigten Geräte bereits am Hof vorhanden sind bzw. keine großen Investitionen notwendig sind.

"Mein CO₂ Ausstoß hat mich nie interessiert. Mich hat interessiert: Wie komme ich mit möglichst wenig Geldaufwand, möglichst wenig Arbeitsaufwand zu einer Kultur." (LW06)

Die Überlegung eines energieautarken landwirtschaftliche Betriebs durch die Produktion der benötigten Energie direkt am eigenen Betrieb (**wahrgenommene Selbstwirksamkeit**) wurde als einer der wesentlichen Gründe für die Kooperation mit Energieunternehmen zur Aufstellung eines Windrades auf den eigenen Bewirtschaftungsflächen genannt. Dies gilt auch für den Umstieg von einem Dieselaggregat auf eine PV-Anlage zum Betrieb einer Tröpfchenbewässerungsanlage. Auch die Sparsamkeit dieser Art der Bewässerung, sowohl im Hinblick auf die Vermeidung des Dieserverbrauchs als auch im Hinblick auf den Wasserverbrauch im Vergleich zu, zum Beispiel, Großflächenregnern

wurden als zentrale Überlegungen vor der Umsetzung dieser Maßnahme genannt (**wahrgenommene Aufwändigkeit**). Ein weiterer für den Umstieg auf eine PV-betriebene Tröpfchenbewässerungsanlage förderlicher Faktor ist die Erwartung eines erleichterten Arbeitsaufwandes. Dabei wurden sowohl ein geringerer Zeitaufwand, zum Beispiel durch den Wegfall des Auftankens und des Feldwechsels, als auch ein geringerer Kraftaufwand im Falle eines kaputten Schlauches genannt. Besonders betont wurde dabei, dass dies vor allem die Möglichkeiten der Mitarbeit von weiblichen Personen verbessert (**wahrgenommene Selbstwirksamkeit**). Neben diesen persönlichen Bewertungen und Überlegungen nannten die Landwirt:innen auch **soziale Normen** und **Kontextfaktoren** als wichtige Faktoren für den Umstieg auf eine PV-betriebene Tröpfchenbewässerungsanlage. Ein wesentlicher Umsetzungsgrund waren die von Diesellaggregaten ausgehende Lärm- und Geruchsbelästigung. Diese sind vor allem bei bewässerten Feldern in Siedlungsnähe problematisch. Außerdem wurde in diesem Zusammenhang die Möglichkeit eine öffentliche Förderung zu beantragen genannt.

Förderungen im Rahmen von Agrarumweltprogrammen, insbesondere ÖPUL, wurden auch im Kontext anderer, umgesetzter Maßnahmen als relevante Entscheidungskriterien genannt. Einerseits von Ackerbaubetrieben bzgl. der Begrünung und andererseits von Tierhaltungsbetrieben bzgl. der Entscheidung zur extensiveren Nutzung von Grünlandflächen.

D-6.2.3.2 Die Maßnahmenumsetzung hemmende Erwartungen

Mit den im Rahmen der Interviews diskutierten potenziellen Klimaschutzmaßnahmen werden von manchen Landwirt:innen auch Risiken und die Umsetzung hemmende Faktoren in Verbindung gebracht. Zum Beispiel nehmen manche Landwirt:innen einen hohen Unkrautdruck wahr, womit der Einsatz des Verfahrens der konventionellen Bodenbearbeitung bzw. des Pfluges begründet wird. Ähnliches gilt für den Einsatz von Pestiziden. Manche der interviewten Landwirt:innen nehmen für einzelne Kulturen - genannt wurde zum Beispiel die Erbse - ein zunehmendes Schädlingsaufkommen wahr und sehen sich nicht in der Lage dies Kulturen ohne den Einsatz von Pestiziden zu produzieren (**wahrgenommene Selbstwirksamkeit**).

Landwirt:innen sehen sich häufig aufgrund fehlender Maschinen nicht in der Lage bestimmte Maßnahmen umzusetzen. Zum Beispiel trifft dies auf eine teilflächenspezifische Düngung zu. Der Einsatz von Technologien für Präzisionslandwirtschaft wird von manchen Landwirt:innen zwar als sinnvoll erachtet, wird jedoch als hohes Risiko wahrgenommen, da diese Technologien zusätzliche, hohe Kosten mit sich bringen (**wahrgenommene Aufwändigkeit**). Vor allem kleine Betriebe bewerten diese Investitionen als zu teuer und nicht rentabel. Als Möglichkeit zur Reduktion dieses Risikos wurde eine gemeinschaftliche Investition in diese Technologien genannt. Hingegen wurden von Tierhaltern auf die fehlenden technischen Möglichkeiten einer präziseren oder teilflächenspezifischen Ausbringung von Festmist hingewiesen, haben jedoch in den vergangenen 10 - 20 Jahren eine deutliche Verbesserung bzgl. gleichmäßiger Ausbringung wahrgenommen (**Kontextfaktor**).

Nicht nur das wahrgenommene Risiko durch Investitionen in neue Maschinen hemmen die Umsetzung von Maßnahmen, sondern auch die Erwartung einer hohen oder steigenden Arbeitsbelastung bzw. fehlende Zeit (**wahrgenommene Aufwändigkeit**).

Die interviewten Landwirt:innen waren sich einig, dass Überlegungen gegen die Umsetzung einer Maßnahme vor allem vom erwarteten Kosten-Nutzen-Verhältnis beeinflusst werden. Manche Landwirt:innen sehen wirtschaftliche Anreize, zum Beispiel in Form von Subventionen (**Kontextfaktor**), als eine Möglichkeit das wahrgenommene Risiko zu verringern bzw. den erwarteten Nutzen (Chancen) durch die Umsetzung einer Maßnahme zu erhöhen. Jedoch nehmen Landwirt:innen einen steigenden bürokratischen Aufwand und damit auch Zeitaufwand als große Herausforderung wahr und erzählen, dass dieser eine entscheidende Rolle bei ihren Überlegungen spielt.

"Es ist immer dann die Frage, ob man das umsetzen kann oder ob es einen Anreiz dafür gibt, dass man es umsetzt. Es muss immer halt auch kombiniert sein mit irgendeinem Nutzen, den man als Bauer dann hat." (LW05)

D-6.2.4 Wahrgenommene Auswirkungen der Maßnahmenumsetzung

Eine Änderung der Bewirtschaftungsmaßnahmen und die Umsetzung potenzieller Klimaschutzmaßnahmen werden immer mit Chancen und Risiken in Verbindung gebracht. Chancen können zum Beispiel durch ein steigendes Einkommen aufgrund der Umsetzung einer Maßnahme erhöht werden, Risiken hingegen durch zusätzliche Kosten. Generell beziehen sich die interviewten Landwirt:innen im Hinblick auf die Effekte einer Maßnahme häufig auf eine verbesserte oder verschlechterte ökonomische Situation.

Durch die Umstellung der Bodenbearbeitung haben einige Landwirt:innen eine deutliche Treibstoff- und Kosteneinsparung wahrgenommen. Diese wird einerseits auf eine geringere Anzahl an Überfahrten zurückgeführt, andererseits auf geringere Maschinengewichte. Für einige Landwirt:innen haben die Umstellung der Bodenbearbeitung und der Fokus auf Begrünungen auch zu Ertragssteigerungen geführt. Diese werden vor allem mit der geringeren Winderosion und der resultierenden besseren Wasserversorgung und Nährstoffmobilisierung, v.a. N-Verfügbarkeit, im Boden begründet. Zusätzlich nehmen die Landwirt:innen eine steigende Anzahl an Bodenlebewesen und positive Auswirkungen auf die Biodiversität wahr. Für einen Teil der Landwirt:innen bedeutete diese Umstellung jedoch auch höhere Kosten, da Investitionen in neue Maschinen, z.B. neue Sä-Techniken, notwendig waren. Zudem wiesen einzelne Landwirt:innen darauf hin, dass durch die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung und die Einarbeitung von Begrünungen der Unkrautdruck gestiegen ist, was durch den höheren Zeitaufwand ebenfalls mit höheren Kosten in Verbindung gebracht wird.

Auch Landwirt:innen die auf neuere, sparsamere Bewässerungstechnologien oder auf PV-betriebene Bewässerungsanlagen umgestellt haben nehmen positive Auswirkungen in Form von Treibstoff- und Kosteneinsparungen wahr. In diesem Zusammenhang wurde auch erzählt, dass beantragbare Förderungen für diese Maßnahmen zwar die Überlegungen und Umsetzungsentscheidung beeinflussten, die Abwicklung des Förderwesens jedoch als sehr aufwändig und mühsam wahrgenommen wurde. Als problematisch und im Widerspruch zum Grundgedanken der biologischen und nachhaltigen Wirtschaftsweise wird auch das hohe Abfallaufkommen durch den regelmäßig notwendigen Tausch der teuren Tropfschläuche wahrgenommen.

Interviewte Landwirt:innen von Tierhaltungsbetrieben nehmen neue(re) Technologien zur Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger, insbesondere das Schlitzverfahren, aber auch die Einarbeitung des Wirtschaftsdüngers als eine klimaschonende Methode im Vergleich zur breitflächigen Ausbringung wahr. Dabei wird auf eine geringere THG-Ausgasung hingewiesen. Gleichzeitig betonen Landwirt:innen auch die geringere Geruchsbelästigung und positiven Auswirkungen für Anrainer.

Durch Umstellungen in der Fruchtfolge berichten manche Landwirt:innen von geringeren Erträgen, welche sie teilweise auch auf geringere Bestandesdichten zurückführen. Gleichzeitig nehmen die Landwirt:innen dadurch aber auch eine Reduktion im Düngereinsatz, im Bewässerungsaufwand und im Arbeitszeitaufwand wahr. Durch diese geringeren Kosten werden auch Kulturen, die geringere Erträge liefern als ökonomisch vorteilhaft bewertet.

Unabhängig davon, ob es sich um Ackerbau- oder Tierhaltungsbetriebe handelt, haben biologisch wirtschaftende Landwirt:innen darauf hingewiesen, dass die Überlegung einen Betrag zum Klimaschutz zu leisten zwar für die Umstellung von konventioneller auf biologische Wirtschaftsweise keine Rolle spielte, sie jedoch zunehmend positive gesellschaftliche Reaktionen und Einstellungen wahrnehmen.

"Es war, vorwiegend keine Überlegung, aber mittlerweile merkt man's schon. Oder profiliert man sich damit eigentlich, dass man dann nicht so viel Erdöl braucht, dass man den Dünger ausbringt." (LW04/1)

D-6.3 Informationsverhalten und Einstellung zu interaktiven Webplattformen

In den nachfolgenden Kapiteln wird zuerst ein Überblick über das Informationsverhalten von Landwirt:innen gegeben. Danach wird die Technologienutzung mit Fokus auf Erfahrungen mit interaktiven Webplattformen und die Einstellungen der Landwirt:innen zur Nutzung der angestrebten interaktiven Webplattform zur Darstellung klimaschutzrelevanter Modellergebnisse beschrieben.

D-6.3.1 Informationsverhalten hinsichtlich Maßnahmenwirksamkeit und -auswirkung von Landwirt:innen

Die interviewten Landwirt:innen nutzen eine Vielzahl an Informationsquellen (Abb. D-4:) und Medien (Abb. D-5:), um sich über Auswirkungen und Wirkungen von Veränderungen in ihren Bewirtschaftungsmaßnahmen zu informieren. Bildungs- und Forschungseinrichtungen (z.B. BOKU), Empirische Wissen (persönliche Erfahrungen und Beobachtungen), landwirtschaftliche Organisationen und Institutionen (z.B. Landwirtschaftskammer) sowie Personen (z.B. Kolleg:innen) gehören zu den von den Interviewpartner:innen erwähnten Informationsquellen.

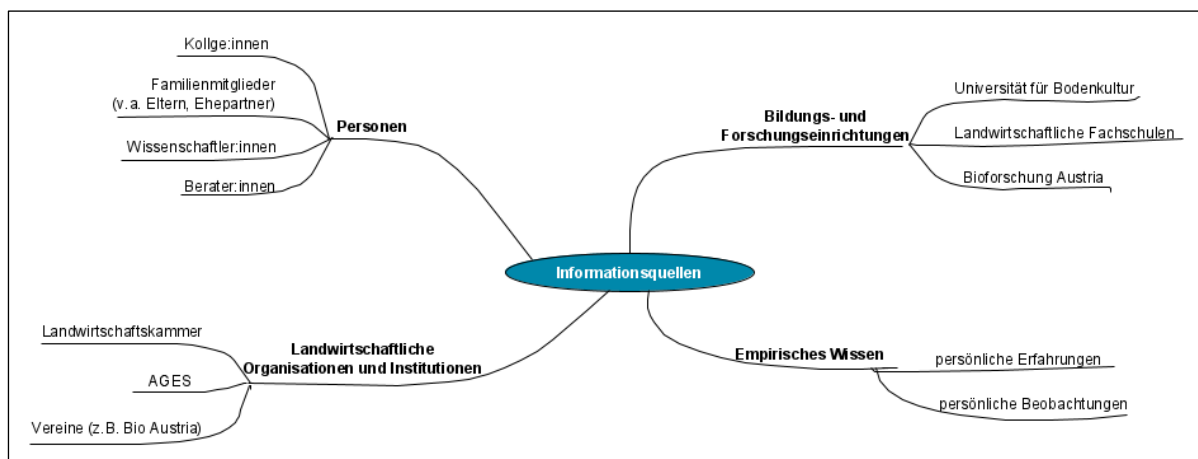


Abb. D-4: Von den Interviewpartner:innen erwähnte Informationsquellen. (eigene Darstellung)

Die interviewten Landwirt:innen gewinnen ihre Informationen über soziale Netzwerke, wobei Diskussionen, Arbeitskreise und Gespräche genannt wurden. Viele der Interviewpartner:innen haben auch angegeben, dass sie regelmäßig Veranstaltungen besuchen, wobei hier die regelmäßige Teilnahme an Schulungen und Ausbildungen sowie Vorträgen als besonders bedeutendes Informationsmedium genannt wurde: "Natürlich das eine sind Bildungsveranstaltungen. Das ist immer, immer Thema." (LW05). Zudem gaben fast alle Interviewpartner:innen an, dass sie sich sowohl online (digitale Medien) als auch offline (analoge Medien) über die Auswirkungen und Effekte von Veränderungen in ihren Bewirtschaftungsmaßnahmen informieren.

Im Hinblick auf diese Informationsquellen und Medien konzentrieren sich die Interviewpartner:innen vor allem auf die praktische Anwendung. Dabei sind einerseits die Erfahrungen von anderer Landwirt:innen von besonderer Bedeutung: "Und ich verwende aber sicher genauso viel ein Netzwerk von eben eigenständig denkenden Bauern. Ah, wo jeder, der etwas hört, es auch wirklich weitergibt." (LW06). Andererseits liegt der Fokus immer auf der Wirtschaftlichkeit betrieblicher Veränderungen.

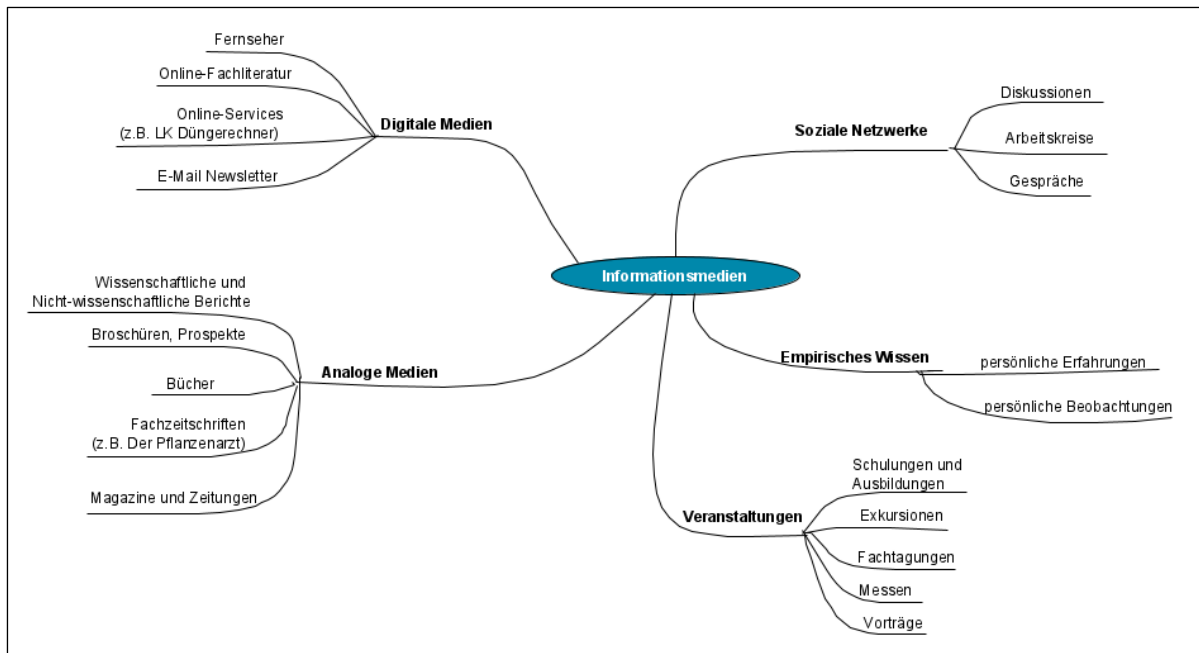


Abb. D-5: Von den Interviewpartner:innen erwähnte Informationsquellen. (eigene Darstellung)

D-6.3.2 Erfahrungen und Einstellungen von Landwirt:innen zu interaktiven Webplattformen

Die Analyse der Interviews zeigt grundsätzlich eine positive Einstellung gegenüber der Nutzung von online Medien und Online-Services. Der Großteil der interviewten Landwirt:innen gab an während betrieblicher Planungsphasen regelmäßig interaktive Online-Services, d.h. Online-Services die es den Landwirt:innen ermöglichen selbst Daten einzugeben oder Parameter zu verändern, zu verwenden. Dabei wurden zum Beispiel online Düngerechner (z.B. der LK-Düngerechner) und online Deckungsbeitragsrechner genannt. Hingegen hat keine:r der interviewten Landwirt:innen Erfahrung mit interaktiven Webplattformen, welche die Umwelt- und Klimaauswirkungen eines Verhaltens anhand unterschiedlicher Kennzahlen darstellen - unabhängig davon, ob die Bewirtschaftung des landwirtschaftlichen Betriebs oder das Verhalten im Alltag (z.B. Konsumententscheidungen) im Fokus stehen. Generell verdeutlichen die Analysen, dass Landwirt:innen über die verwendeten Informationsquellen und -medien wenig Informationen über die Klimawirkung ihrer Bewirtschaftungsmaßnahmen bekommen und das Thema "landwirtschaftliche Klimawandelanpassung" deutlich mehr Aufmerksamkeit bekommt als das Thema "Klimaschutz in der Landwirtschaft".

"Also ich glaub das Selbstverständnis vom Landwirt ist so: ich erzeuge die Lebensmittel mit der Natur und da kann schon nicht so viel schief gehen fürs Klima. Dass das aber ein großer Hebel ist, ist uns bewusst die sich damit beschäftigen, aber ich glaub der Landwirtschaft in dem Sinne noch nicht." (LW01)

Trotz der fehlenden Erfahrung im Umgang mit dieser Art interaktiver Webplattform äußerten die Interviewpartner:innen Interesse an Informationen zu betrieblichen THG-Emissionen und zur Klimawirkung (bzw. allgemein zur Umweltwirkung) unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen. Häufig kamen Aussagen wie "Ja, ich meine eine Veranschaulichung wäre auf jeden Fall sinnvoll." (LW03) oder "Es wäre sicher spannend es zu wissen." (LW01).

Ein:e Interviewpartner:in hat in Bezug auf die Nützlichkeit der angestrebten Webplattform explizit auf die wahrgenommene, zunehmende politische Diskussion und steigende Relevanz des Themas Klimaschutz in der Landwirtschaft hingewiesen.

"Es ist eine lässige G'schicht, ähm, ich glaube man es wird bei den Bauern ankommen. Das Thema wird wichtiger, wir spüren den Klimawandel. Alle. Und ich glaube, dass so ein Tool einerseits eine Hilfestellung sein das ich beim Betrieb wirklich was verändere was optimiere." (LW01)

Manche Interviewpartner:innen können sich auch vorstellen die Informationen über THG-Emissionen von Bewirtschaftungsmethoden im Rahmen betriebliche Planungsphasen zu beachten. Die Interviewpartner:innen sind sich jedoch einig, dass THG-Emissionen "sicher nicht der primäre Fokus" (LW05) wären, sondern Entscheidungen stets auf Basis ökonomischer Überlegungen und der Wirtschaftlichkeit von Bewirtschaftungsmaßnahmen getroffen werden. Interviewpartner:innen mit landwirtschaftlicher Direktvermarktung haben mit Informationen zur Klimawirkung ihrer Bewirtschaftungsweise bzw. ihrer Produkte Chancen und Vorteile in der Produktvermarktung in Verbindung gebracht. Sie sehen durch die Kommunikation dieser Information sowohl eine höhere Wertschätzung gegenüber den Endkunden als auch ein Potenzial für eine höhere Wertschätzung durch die Endkunden.

"Also für mich als Direktvermarktung wäre es interessant. Schauts her, ich mach das so und so und ihr machts es anders und ich kann auch dann in absoluten Zahlen sagen was man dadurch einsparen kann und was man jetzt fürs Klima tut. Also für die Kommunikation mit dem Konsumenten wäre es sich auch spannend." (LW01)

D-6.3.3 Anforderungen von Landwirt:innen an eine interaktive Webplattform zur Kommunikation klimaschutzrelevanter Modellergebnisse

Trotz des Interesses der interviewten Landwirt:innen zeigen die Analysen der Interviews in Bezug auf die Einstellung gegenüber der Verwendung einer interaktiven Webplattform, welche klimaschutzrelevante Modellergebnisse aus der Landwirtschaft darstellt, dass die alleinige Darstellung betrieblicher THG-Emissionen keinen ausreichenden Anreiz für die Verwendung bietet. In Übereinstimmung mit der Erwartungshaltung an die Umsetzung von Bewirtschaftungsmaßnahmen (Kapitel D-6.2.3) ist es für Landwirt:innen besonders wichtig, dass mit Hilfe der angestrebten interaktiven Webplattform auch ökonomische und monetäre Kennzahlen abgerufen und visualisiert werden können. Besonders interessant ist für Landwirt:innen, wie viele Produktionsinputs (u.a. Treibstoff und Dünger) durch veränderte Bewirtschaftungsmaßnahmen eingespart werden können bzw. welche Investitionen getätigt werden müssen. Von einem:r Landwirt:in wurde auch eine Darstellung von Vergleichswerten zu Verhalten aus dem Alltag vorgeschlagen. Zum Beispiel die Umrechnung der THG-Emissionen pro Hektar in die mit einem Auto zurücklegbare Kilometer.

"Wenn du ökonomische Werte dahinten hast, dann, ja, ist es sicher für die Landwirte viel interessanter." (LW05)

In Bezug auf die durch Landwirt:innen selbst einstellbaren, betriebspezifischen Daten wurden unterschiedliche Anforderungen genannt. Aus Sicht der Landwirt:innen sollte ihnen die interaktive Webplattform die Möglichkeit bieten unterschiedliche Standortbedingungen auszuwählen und zu vergleichen. Darunter fällt die Auswahl des Bodentyps sowie regionaler klimatischer Bedingungen (z.B. eine Unterscheidung zwischen Feucht- und Trockengebieten). Für Landwirt:innen biologisch bewirtschafteter Betriebe ist die Unterscheidung zwischen konventioneller und biologischer Bewirtschaftung und damit zwischen Düngerarten (mineralische und organische Dünger) es besonders wichtig.

In Bezug auf die Bewirtschaftungsmethoden zeigen die Interviewergebnisse, dass Landwirt:innen folgende Unterscheidungen und Auswahlmöglichkeiten als relevant für die Berechnung und Visualisierung der Kennzahlen halten

- Kulturartenwahl,
- unterschiedlichen Verfahren der Bodenbearbeitung,

- Begrünung bzw. Zwischenfruchtanbau,
- Düngeintensitäten und Düngerarten,
- Methode der Wirtschaftsdüngerausbringung,
- Bewirtschaftungsintensitäten (Grünland).

Zusätzlich wurde von Landwirt:innen vorgeschlagen, dass über die interaktive Webplattform weitere Informationen zur Verfügung gestellt werden, welche bei der Umsetzung einer Maßnahme beachtet werden sollten, um zum Beispiel eine langfristige Klimaschutz-Wirkung zu gewährleisten.

Neben diesen Anforderungen an die angestrebte und im Rahmen der Interviews diskutierte interaktive Webplattform äußern sich die Landwirt:innen positiv zur Integration ebendieser in ein bereits bestehendes Tool. Davon erwarten sich Landwirt:innen einen geringeren (Zeit-) Aufwand aufgrund der nur einmal notwendigen Eingabe ihrer Daten, während sie zusätzliche, wertvolle Informationen zu betrieblichen THG-Emissionen abrufen können.

D-7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In Österreich entfallen etwa 10% der gesamten Treibhausgas (THG-) Emissionen (inkl. Emissionshandel) auf den Agrarsektor, wobei nicht-CO₂ THG-Emissionen (CH₄ Methan und N₂O Lachgas) von besonderer Bedeutung sind. Die größte Emissionsquelle sind mit einem Anteil von etwa 57% Gärungs- und Verdauungsprozesse von Wiederkäuern, gefolgt von der Düngung mit einem Anteil von ca. 28%. Sowohl auf EU als auch nationaler Ebene ist die Reduktion von THG-Emissionen und die Erreichung der Klimaneutralität bis 2050 (EU) bzw. 2040 (Ö) eines der wichtigsten politischen Ziele. Zur Erreichung dieses ambitionierten Zieles wurde eine Reihe von Gesetzen und Strategien erarbeitet und eingeführt, welche in allen Sektoren – auch in der Landwirtschaft – eine Minderung der THG-Emissionen vorsehen. Die Landnutzungsmodellierung kann wichtige Informationen zur technischen Umsetzbarkeit, Wirksamkeit und Effizienz von THG-Reduktionsmaßnahmen im Agrarsektor liefern. Trotz zahlreicher Studien hinkt die technische Umsetzung von THG-Reduktionsmaßnahmen jedoch hinterher. Mit dem Projekt WebKomKlima wird ein Beitrag zur Förderung der Kommunikation wissenschaftlicher Ergebnisse geleistet. Dadurch kann die Umsetzung und Auswahl von THG-Reduktionsmaßnahmen im Agrarsektor unterstützt und ein Beitrag zur Erreichung politischer Klimaschutzziele geleistet werden.

Ziel des Projektes ist es, ein Konzept für eine interaktive Webplattform zur Kommunikation klimaschutzrelevanter Ergebnisse aus der Landnutzungsmodellierung zu erstellen. Dadurch soll es Landwirt:innen möglich sein selbst klimaschutzrelevante Kennzahlen (THG-Emissionen) auf landwirtschaftlicher Betriebsebene zu erheben. Zum Beispiel die Auswirkung von Änderungen in Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie Düngeintensitäten und Wirtschaftsdünger-management, oder der Verwendung von Technologien, wie Präzisionslandwirtschaft.

Eine umfangreiche Literaturrecherche wurde durchgeführt, um klimaschutzrelevante Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft sowie Informationen zur Umsetzung von interaktiven Webplattformen zu ermitteln. Dabei lag der Schwerpunkt auf Bewirtschaftungsmaßnahmen mit Relevanz für nicht-CO₂ THG-Emissionen, die am landwirtschaftlichen Betrieb ohne maßgebliche Investitionen umgesetzt werden können. Zum Beispiel fallen darunter die Anpassungen der Düngeintensitäten und der Fruchtfolge sowie die Lagerung und Ausbringungstechnik von Wirtschaftsdünger. Hingegen wurde auf Maßnahmen wie das Stallsystem und eine Umstellung von konventioneller auf biologische Wirtschaftsweise nicht näher eingegangen. Die gesichtete Literatur wurde thematisch zusammengefasst und strukturiert aufbereitet. Im Ackerbau wurden die Düngung, die standortangepasste Kulturartenwahl und die Bodenbearbeitung bzw. die Aussaat von Zwischenfrüchten als wichtige Maßnahmen mit THG-Reduktionspotenzial identifiziert. In der Tierhaltung haben das Wirtschaftsdüngermanagement, die Weidehaltung und die Fütterung einen wesentlichen Einfluss auf die betrieblichen THG-Emissionen.

Basierend auf dem Literaturüberblick wurde ein Interviewleitfaden entwickelt und Leitfaden-gestützte Interviews mit österreichischen Landwirt:innen aus den Bereichen Ackerbau und Tierhaltung geführt. Zentrale Themen der Interviews waren (i) die Wahrnehmung klimatischer Veränderungen und deren Auswirkungen auf den eigenen Betrieb, (ii) die Einstellung zu und Kenntnis über klimaschutzrelevanten Bewirtschaftungsmaßnahmen und (iii) das Informationsverhalten und die Einstellung zu interaktiven Webplattformen. Die Ergebnisse der Befragung liefern wertvolle Informationen, für die Konzeption der interaktiven Webplattform. Die qualitative Inhaltsanalyse zeigt, dass viele Landwirt:innen bereits Bewirtschaftungsmaßnahmen umsetzen, mit denen sie einen Beitrag zur THG-Reduktion leisten. Die Landwirt:innen sind jedoch kaum über die Klimawirkung ihrer Bewirtschaftung bzw. die Auswirkung von Veränderungen informiert. Entscheidungen werden vor allem auf Basis ökonomischen Überlegungen (Kosten (-einsparung), Ertragserwartungen) getroffen. Der Großteil der befragten Landwirt:innen zeigte jedoch Interesse an Informationen zur Klimawirkung (bzw. allgemein zur Umweltwirkung) ihrer Bewirtschaftungsmethoden. Zum Beispiel wird damit von einem:r Interviewpartner:in auch Chancen bei der Produktvermarktung in Verbindung gebracht. Dies zeigt den

Handlungsbedarf zur Förderung eines verstärkten Wissenstransfers. Die angestrebte interaktive Webplattform kann als Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Landwirt:innen dienen und die proaktive Umsetzung individueller Klimaschutzmaßnahmen unterstützen. Viele Interviewpartner:innen haben eine positive Einstellung gegenüber der Nutzung einer interaktiven Webplattform, und können sich vorstellen die daraus gewonnenen Informationen auch in betriebliche Planungsprozesse einfließen zu lassen. Dafür sehen die befragten Landwirt:innen die Bereitstellung standortspezifische Informationen sowie die Darstellung ökonomischer Kennzahlen als zentrale Anforderung.

Im Rahmen der Ermittlung der Anforderungen an die interaktive Webplattform wurde nicht nur die Perspektive der Landwirt:innen berücksichtigt, sondern weitere Gruppen von potenziellen Nutzer:innen identifiziert (Wissenschaftler:innen, Gesellschaft, öffentlicher Sektor). Diese Gruppen können einerseits wichtige Daten und Informationen zur Verfügung stellen und andererseits Nutzergruppen-spezifisch aufbereitete und visualisierte Daten und Ergebnissen abfragen. Um die Flexibilität zu erhöhen und zukünftige Erweiterungen für weitere Gruppen von Nutzer:innen sicherzustellen wird ein modularer Aufbau vorgeschlagen.

D-8 Referenzen

- Alig, M., Mieleitner, J., Baumgartner, D.U., 2011. Umweltwirkung der Milchproduktion, in: Hersener, J.-L., Baumgartner, D.U., Dux, D. (Eds.), Umweltwirkungen Der Milchproduktion. In: Hersener et al., 2011. Zentrale Auswertung von Ökobilanzen Landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB). Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich/Ettenhausen, pp. 64–74.
- Amon, B., 2014. FarmClim: Farming for a better climate by improving nitrogen use efficiency and reducing greenhouse gas emissions (Publizierbarer Endbericht). Klima- und Energiefonds, Wien, Österreich.
- Amon, B., Borghardt, G., Büscher, W., Düsing, D., Elberskirch, K., Eurich-Menden, B., Geburek, F., Hahne, J., Hartung, E., Hofmeier, M., Kowalewsky, H.-H., Nesor, S., Pflanz, W., Pries, M., Richter, S., Schmidhalter, U., Schrader, L., Spiekers, H., Stalljohann, G., Wulf, S., 2021. Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft mindern. KTBL und Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Deutschland.
- Amon, B., Fröhlich, M., Weißensteiner, R., Zablatnik, B., Amon, T., 2007. Tierhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement in Österreich (Endbericht No. GZ LE. 1.3.2/0066-II/1/2005). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Boxberger, J., 2005. Lagerung von Milchviehflüssigmist - Wirkung der Abdeckung auf NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen. Agrartechnische Forschung 11.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S., 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. Agriculture, Ecosystems & Environment, Mitigation of Greenhouse Gas Emissions from Livestock Production 112, 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.030>
- Anderl, M., Bartel, A., Geiger, K., Gugele, B., Gössl, M., Haider, Simone, Heinfellner, H., Heller, C., Köther, Traute, Krutzler, T., Kuschel, V., Lampert, C., Neier, H., Pazdernik, K., Perl, D., Poupa, S., Prutsch, A., Purzner, M., Rigler, E., Schmid, C., Schmidt, G., Schodl, B., Storch, A., Stranner, G., Schwarzl, B., Schwaiger, E., Vogel, J., Weiss, P., Wiesenberger, H., Wieser, M., Zechmeister, A., 2021. Klimaschutzbericht 2021 (No. REP-0776). Umweltbundesamt GmbH (UBA), Wien, Österreich.
- Anderl, M., Friedrich, A., Gangl, M., Haider, S., Köther, T., Kriech, M., Lampert, C., Mandl, N., Matthews, B., Pazdernik, K., Pfaff, G., Pinterits, marion, Poupa, S., Purzner, M., Schieder, W., Schmid, C., Schmidt, G., Schodl, B., Schwaiger, E., Schwarzl, B., Titz, M., Weiss, P., Wieser, M., Zechmeister, A., 2020a. Austria's National Inventory Report 2020 - Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol (No. REP-0724). Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- Anderl, M., Geiger, K., Gugele, B., Gössl, M., Haider, S., Heller, C., Köther, T., Krutzler, T., Kuschel, V., Lampert, C., Neier, H., Pazdernik, K., Perl, D., Poupa, S., Purzner, M., Rigler, E., Schieder, W., Schmidt, G., Schodl, B., Storch, A., Stranner, G., Vogel, J., Wiesenberger, H., Zechmeister, A., 2020b. Klimaschutzbericht 2020. Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- Anderl, M., Geiger, K., Gugele, B., Gössl, M., Haider, Simone, Heller, C., Ibesich, N., Köther, Traute, Krutzler, T., Kuschel, V., Lampert, C., Neier, H., Pazdernik, K., Perl, D., Poupa, S., Purzner, M., Rigler, E., Schieder, W., Schmidt, G., Schodl, B., Svehla-Stix, S., Storch, A., Stranner, G., Vogel, J., Wiesenberger, H., Zechmeister, A., 2019a. Klimaschutzbericht 2019 (No. Band 0738). Umwelt Bundesamt (UBA), Wien, Österreich.
- Anderl, M., Gössl, M., Storch, A., Huber, S., Lindinger, H., Loishandl-Weisz, H., Nemetz, S., Gabriel, O., Offenzeller, M., Ortner, R., Schwaiger, E., Schwarzl, B., Sedy, K., 2019b. Bewertung der Auswirkungen der Schwerpunktbereiche Verringerung Treibhaus-gase Landwirtschaft (5D) und Kohlenstoffspeicherung in Land- und Forstwirtschaft (5E). Programm LE14-20; Bewertung 2019 (Endbericht). Umweltbundesamt GmbH (UBA), Wien, Österreich.

- Anderl, M., Haider, S., Zethner, G., 2017. Quantifizierung von Maßnahmen zur Ammoniakreduktion aus der Landwirtschaft (No. UBA Report REP-0629). Umweltbundesamt GmbH (UBA), Wien, Österreich.
- Anderl, M., Haider, S., Zethner, G., Kropsch, M., Pöllinger, A., Zentner, E., 2016. Massnahmen zur Minderung sekundärer Partikelbildung durch Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft. Umweltbundesamt, Wien.
- Antony, F., Teufel, J., Liu, R., Bieler, C., Sutter, D., Spescha, G., Hartmann, W., Schroers, J.O., 2021. Sichtbarmachung versteckter Umweltkosten der Landwirtschaft am Beispiel von Milchproduktionssystemen (Abschlussbericht No. UBA-FB000607). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Deutschland.
- audiotranskription dr. dresing & pehl GmbH, 2022. f4transkript.
- 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, s2–s16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- BKA Österreich, 2020. Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020-2024. Bundeskanzleramt Österreich, Wien.
- BMEL, 2021. Ackerbaustrategie 2035: Perspektiven für einen produktiven vielfältigen Pflanzenbau. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Berlin, Germany.
- BMLRT, 2022. Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland: Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien, Österreich.
- BMLRT, 2021a. Österreichische Eiweißstrategie (Abschlussbericht). BMLRT - Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien, Österreich.
- BMLRT, 2021b. Grüner Bericht 2021 - Die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft; Gemäß §9 des Landwirtschaftsgesetzes (No. 62. Auflage). BMLRT - Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien, Österreich.
- BMLRT, 2021c. Sonderrichtlinie ÖPUL 2015. Sonderrichtlinie der Bundesministerin für Nachhaltigkeit und Tourismus für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (No. GZ 2021-0.067.610 (BMLRT/Agrarumweltprogramm (ÖPUL))). Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien, Österreich.
- BMNT, 2019a. Nationales Luftreinhaltprogramm 2019 gemäß §5 Emissionsgesetz-Luft 2018. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien, Österreich.
- BMNT, 2019b. Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich: Periode 2021-2030 gemäß Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen parlaments und des Rates über das Governance-System für die Energieunion und den Klimaschutz. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Vienna, Austria.
- BMNT, 2018. Ratgeber für die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft zur Begrenzung von Ammoniakemissionen. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien, Österreich.
- Bracher, A., 2011. Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh). Zollikofen und Posieux.
- Brade, W., Distl, O., 2015. Das ruminale Mikrobiom des Rindes (Teil 2). *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft* 93. <https://doi.org/10.12767/buel.v93i3.67>
- Britto, D.T., Kronzucker, H.J., 2002. NH₄⁺ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology* 159, 567–584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz (Klimaschutzgesetz – KSG), 2011. , BGBl. I Nr. 106/2011.
- Döhler, H., Eurich-Menden, B., Dämmgen, U., Osterburg, B., Lüttich, M., Bergschmidt, A., Berg, W., Brunsch, R., 2002. Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und

- Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010 (No. 05/2002), UBA-Texte. Umweltbundesamt, Berlin, Germany.
- Döhler, H., Vandr , R., Wulf, S., Eurich-Menden, B., 2011. Abdeckung von G llelagerbeh ltern - Stand der Technik. Presented at the Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2011, Lehr- und Forschungszentrum f r Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein, pp. 45–48.
- Domingo, J., Miguel, E.D., Hurtado, B., Nature, F.G., M tayer, N., Bochu, J.-L., Pointerau, P., 2014. Measures at farm level to reduce greenhouse gas emissions from EU agriculture. European Parliament Directorate-General for Internal Policies.
- Eckerson, W.W., 2012. Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business. <https://doi.org/10.1002/9781119199984>
- Eckerson, W.W., 2011. Performance dashboards: measuring, monitoring, and managing your business, 2. ed. ed. Wiley, Hoboken, NJ.
- Eurich-Menden, B., Döhler, H., Weghe, H.V. den, 2010. Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar - Teil 1: Milchvieh. LANDTECHNIK 65, 434–436. <https://doi.org/10.1515/lt.2010.542>
- European Commission. Directorate General for Communication., 2021. Kenntnisse und Einstellungen der europäischen Bürgerinnen und Bürger zu Wissenschaft und Technologie: Bericht. Publications Office, LU.
- European Parliament. Directorate General for Parliamentary Research Services., 2016. Precision agriculture and the future of farming in Europe :scientific foresight study. Publications Office, LU.
- E-Werkzeug, 2022. easytranscript, transcription software.
- Few, S., 2012. Information Dashboard Design.
- Flick, U., Kardorff, E. von, Steinke, I. (Eds.), 2019. Qualitative Forschung: ein Handbuch, 13. Auflage, Originalausgabe. ed, Rororo Rowohlt's Enzyklopädie. rowohlt's enzyklopädie im Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg.
- Foldal, C.B., Kasper, M., Ecker, E., Zechmeister-Boltenstern, S., 2019. Evaluierung verschiedener ÖPUL Maßnahmen in Hinblick auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen, insbesondere Lachgas (Endbericht zum Forschungsauftrag des BMNT). Universität für Bodenkultur, Wien, Wien, Österreich.
- Frank, S., Beach, R., Havl k, P., Valin, H., Herrero, M., Mosnier, A., Hasegawa, T., Creason, J., Ragnauth, S., Obersteiner, M., 2018. Structural change as a key component for agricultural non-CO 2 mitigation efforts. Nature Communications 9, 1060. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03489-1>
- Fritz, C., Grassauer, F., Terler, G., 2021. Absch tzung 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. https://doi.org/10.15203/OEGA_30.4
- Fu , R., Ruth, B., Schilling, R., Scherb, H., Munch, J.C., 2011. Pulse emissions of N2O and CO2 from an arable field depending on fertilization and tillage practice. Agriculture, Ecosystems & Environment 144, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.020>
- Gl aser, J., Laudel, G., 2013. Life With and Without Coding: Two Methods for Early-Stage Data Analysis in Qualitative Research Aiming at Causal Explanations. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research 14. <https://doi.org/10.17169/fqs-14.2.1886>
- Grothmann, T., Patt, A., 2005. Adaptive capacity and human cognition: The process of individual adaptation to climate change. Global Environmental Change 15, 199–213. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002>
- Gruber, L., Häusler, J., Haiger, A., Terler, G., Schauer, A., Royer, M., Eingang, D., 2018. Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Leistung sowie Gesundheits- und Fruchtbarkeitsparameter von Milchkühen, in: Digitalisierung in Landwirtschaft, Versuchs- Und Untersuchungswesen - Anforderungen Und Auswirkungen. Westfälische wilhelms-Universität Münster, Deutschland, pp. 305–316.

- Han, X., Smyth, R.L., Young, B.E., Brooks, T.M., Lozada, A.S. de, Bubb, P., Butchart, S.H.M., Larsen, F.W., Hamilton, H., Hansen, M.C., Turner, W.R., 2014. A Biodiversity Indicators Dashboard: Addressing Challenges to Monitoring Progress towards the Aichi Biodiversity Targets Using Disaggregated Global Data. *PLOS ONE* 9, e112046. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112046>
- Hartung, E., Monteny, G.-J., 2006. Emission von Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) aus der Tierhaltung. *Agrartechnische Forschung Heft 4*, 62–69.
- Havlík, P., Valin, H., Herrero, M., Obersteiner, M., Schmid, E., Rufino, M.C., Mosnier, A., Thornton, P.K., Böttcher, H., Conant, R.T., Frank, S., Fritz, S., Fuss, S., Kraxner, F., Notenbaert, A., 2014. Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, 3709–3714. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308044111>
- Helfferrich, C., 2011. Die Qualität qualitativer Daten: Manual für die Durchführung qualitativer Interviews, 4. Aufl. ed, Lehrbuch. VS, Verl. für Sozialwiss, Wiesbaden.
- Himics, M., Fellmann, T., Barreiro-Hurle, J., 2020. Setting Climate Action as the Priority for the Common Agricultural Policy: A Simulation Experiment. *Journal of Agricultural Economics* 71, 50–69. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12339>
- Hölzl, F.X., 2019. Die Feinstaub-Richtlinie stellt hohe Anforderungen an die Landwirtschaft [online] [WWW Document]. URL <https://ooe.lko.at/die-feinstaub-richtlinie-stellt-hohe-anforderungen-an-die-landwirtschaft+2400+2950914> (accessed 7.19.22).
- Hörtenhuber, S., 2021. Betriebliches Analyse-Tool zu Umweltwirkungen der Milcherzeugung, in: Makro- Und Nanoplastik - Vom Boden Und Wasser Auf Den Teller. Presented at the 76. ALVA-Tagung, Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Agrar- und Veterinärwesen (ALVA), Graz, Österreich, pp. 178–182.
- Hörtenhuber, S., Größbacher, V., Weißensteiner, R., Veit, M., Zollitsch, W., 2021. Mitigation potential for greenhouse gases and ammonia of a commercial phytogenic feed additive for dairy cows, in: Tierernährung Zwischen Tierwohl Und Umweltschutz. Presented at the 19. BOKU-Symposium TIERERNÄHRUNG, Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie, Wien, Österreich, pp. 47–50.
- Hörtenhuber, S., Lindenthal, T., Amon, B., Markut, T., Kirner, L., Zollitsch, W., 2010. Greenhouse gas emissions from selected Austrian dairy production systems—model calculations considering the effects of land use change. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25, 316–329. <https://doi.org/10.1017/S1742170510000025>
- Hülsbergen, K.-J., Rahmann, G., et al., 2013. Klimawirkung und Nachhaltigkeit ökologischer Betriebssysteme - Untersuchung in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Berichtszeitraum 2008-2013 (Abschlussbericht). Weinstephan, Deutschland.
- IPCC, 2019. Special Report on Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. IPCC.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme (No. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use). IGES, Japan.
- Irvine, A., 2011. Duration, Dominance and Depth in Telephone and Face-to-Face Interviews: A Comparative Exploration. *International Journal of Qualitative Methods* 10, 202–220. <https://doi.org/10.1177/160940691101000302>
- Irvine, A., Drew, P., Sainsbury, R., 2012. 'Am I not answering your questions properly?' Clarification, adequacy and responsiveness in semi-structured telephone and face-to-face interviews. *Qualitative Research* 13, 87–106. <https://doi.org/10.1177/1468794112439086>
- Janes, A., Sillitti, A., Succi, G., 2013. Effective dashboard design. *Cutter IT Journal* 26, 17–24.
- Jayasundara, S., Ranga Niroshan Appuhamy, J.A.D., Kebreab, E., Wagner-Riddle, C., 2016. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian dairy farms and mitigation options: An updated review. *Can. J. Anim. Sci.* 96, 306–331. <https://doi.org/10.1139/cjas-2015-0111>

- JRC, 2014. Precision agriculture: an opportunity for EU farmers: potential support with the CAP 2014-2020 (Study Report). Joint Research Centre of the European Commission.
- Kappel, M., 2020. Ökobilanzierung von Milchviehstallsystemen im österreichischen Berggebiet - Vergleich von Anbindehaltung und Laufstall-Weide-Systemen mit besonderer Berücksichtigung des Wirtschaftsdüngermanagements. University of Natural Resources and Life Science, Vienna, Wien, Österreich.
- 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>
- Kropf, B., Schmid, E., Schönhart, M., Mitter, H., 2020. Exploring farmers' behavior toward individual and collective measures of Western Corn Rootworm control – A case study in south-east Austria. *Journal of Environmental Management* 264, 110431. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110431>
- Kruse, J., 2014. Qualitative Interviewforschung: ein integrativer Ansatz, Grundlagentexte Methoden. Beltz Juventa, Weinheim Basel.
- Lamnek, S., 2010. Qualitative Sozialforschung: Lehrbuch; [Online-Materialien], 5., überarb. Aufl. ed. Beltz, Weinheim Basel.
- LK Österreich, 2022. LK Düngerrechner.
- Marton, S., Guggenberger, T., 2015. Umweltanalyse am Beispiel Milch. Presented at the Abschlusstagung des Projektes FarmLife, HBLFA für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, pp. 53–62.
- Matousek, T., Mitter, H., Kropf, B., Schmid, E., Vogel, S., 2022. Farmers' Intended Weed Management after a Potential Glyphosate Ban in Austria. *Environmental Management*. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01611-0>
- Mayring, P., 2015. Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken, 12., überarbeitete Auflage. ed. Beltz Verlag, Weinheim Basel.
- Mayring, P., Flick, U., Kardorff, E. v., Keupp, H., Rosenstiel, L. v., Wolff, S., 1991. Analyseverfahren erhobener Daten, in: *Handbuch qualitative Forschung : Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen*. Beltz - Psychologie Verl. Union, pp. 209–213.
- MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030, 2021.
- Mitter, H., Larcher, M., Schönhart, M., Stöttinger, M., Schmid, E., 2019. Exploring Farmers' Climate Change Perceptions and Adaptation Intentions: Empirical Evidence from Austria. *Environmental Management* 63, 804–821. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01158-7>
- Mohankumar Sajeev, E.P., Winiwarer, W., Amon, B., 2018. Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Different Stages of Liquid Manure Management Chains: Abatement Options and Emission Interactions. *Journal of Environmental Quality* 47, 30–41. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.05.0199>
- Möhring, A., Zimmermann, A., 2005. Aufbau und Anwendung eines LP-Betriebsmodells mit integrierter Ökobilanz zur Ermittlung nachhaltiger Milchproduktionssysteme, in: *Schriften Der Gesellschaft Für Wirtschafts- Und Sozialwissenschaften Des Landbaues e.V.* Presented at the German Association of Agricultural Economists (GEWISOLA), Göttingen, Germany. <https://www.uni-goettingen.de/en/kat/download/23d9610c3eac792c7bd539796c6d8aa7.pdf/Beitrag-Moehring-Zimmermann.pdf>
- Oenema, O., Brentrup, F., Lammel, J., Bascou, P., Dobermann, A., Erisman, J.W., Garnett, T., Hammel, M., Haniotis, T., Hillier, J., Hoxha, A., Jensen, L., Oleszek, W., Pallière, C., Powlson, D. s, Quemada, M., Schulman, M., Sutton, M.A., Winiwarer, W., 2015. Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems Prepared by the EU Nitrogen Expert Panel.

- Oenema, O., Ju, X., de Klein, C., 2013. Reducing N₂O Emissions from Agricultural Sources. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Ogink, N.W.M., Groenestein, C.M., Mosquera, J., 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rapport No. 744). Wageningen UR Livestock Research, Wageningen, Netherlands.
- Osterburg, B., Heidecke, C., Bolte, A., Braun, J., Dieter, M., Dunger, K., Elsasser, P., Fischer, R., Fuß, R., Günter, S., Jacobs, A., Offermann, F., Rösemann, C., Rüter, S., Schmidt, T., Schweinle, J., Tiemeyer, B., Weimar, H., de Witte, T., 2019. Folgenabschätzung für Maßnahmenoptionen im Bereich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung, Forstwirtschaft und Holznutzung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 (Working Paper No. 137), Thünen Working Paper. Thünen Institut, Braunschweig, Deutschland.
- Pawicki, M., 2014. Kuckartz, Udo (2012). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim und Basel: Beltz Juventa, 188 S. [Rezension]. Journal of educational research online 141–145. <https://doi.org/10.25656/01:9681>
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., enault, c., Jeuffory, M.H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I., Pardon, L., 2013. How can French agriculture contribute to reducing greenhouse gas emissions? Abatement potential and cost of ten technical measures, Synopsis of the study report. INRA (France).
- Plitzner, C., Klocker, H., Prünster, T., Peratoner, G., Matteazzi, A., 2019. Leitfaden Grundfutterqualität, 2nd ed. Südtirol Druck - Tscherms, Bozen, Italy.
- Pöllinger, A., Kropsch, M., Huber, G., Amon, B., Breininger, W., Längauer, M., 2011. Bewertung von Güllelagerabdeckungen, Abschlussbericht Emissionen. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnerbachtal, Österreich.
- Pöllinger, A., Zentner, A., Brettschuh, S., Lackner Lukas, Amon, B., Strickler, Y., 2018. Erhebung zum Wirtschaftsdüngermanagement aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung in Österreich: Surveys on manure management from agricultural livestock farming in Austria. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.
- Pöllinger-Zierler, A., Zentner, A., 2022. Wirtschaftsdüngermanagement NEU im Hinblick auf Klimaschutz und Klimawandelanpassung. Presented at the 8. Umweltökologisches Symposium, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Raumberg-Gumpenstein, p. 6.
- Ravishankara, A.R., Daniel, J.S., Portmann, R.W., 2009. Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. Science 326, 123–125. <https://doi.org/10.1126/science.1176985>
- Reay, D.S., Davidson, E.A., Smith, K.A., Smith, P., Melillo, J.M., Dentener, F., Crutzen, P.J., 2012. Global agriculture and nitrous oxide emissions. Nature Climate Change 2, 410–416. <https://doi.org/10.1038/nclimate1458>
- Resch, R., 2013. Grundfutterqualität.
- Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG (Text von Bedeutung für den EWR), 2016., OJ L.
- Schneider, U., Rasche, L., Jantke, K., 2019. Farm-level digital monitoring of greenhouse gas emissions from livestock systems could facilitate control, optimisation and labelling. Landbauforschung 69, 9–12. <https://doi.org/10.3220/LBF1580734769000>
- Schreier, M., 2014. Varianten qualitativer Inhaltsanalyse. Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. Forum Qualitative Sozialforschung 15.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., 2007. Agriculture, in: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the

- Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Stamann, C., Janssen, M., Schreier, M., 2016. Qualitative Inhaltsanalyse - Versuch einer Begriffsbestimmung und Systematisierung. Forum: Qualitative Sozialforschung Volume 17, Art. 16.
- Statistik Austria, 2022. Agrarstrukturerhebung 2020.
- Statistik Austria, 2021. Rinderbestand 1. Dezember 2021 (Schnellbericht 1.3). Statistik Austria, Wien, Österreich.
- Statistik Austria, 2018. Agrarstrukturerhebung 2016 - Betriebsstruktur (Schnellbericht 1.17), Agrarstrukturerhebung. Statistik Austria, Wien, Österreich.
- Terler, G., Fasching, C., Eingang, D., Huber, G., Gappmaier, S., 2022. Einfluss von Fütterung und Genotyp auf Methanproduktion sowie Energie- und Proteinstoffwechsel von Milchkühen (Abschlussbericht No. Projekt Nr. 101149). HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnerbachtal, Österreich.
- UN/ECE, 2015a. Guidance document on preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources (No. ECE/EB.AIR/120). United Nations Economic and Social Council.
- UN/ECE, 2015b. Framework Code for Good Agricultural Practice for Reducing Ammonia Emissions. United Nations Economic Commission for Europe.
- UN/ECE, 1999. Control techniques for preventing and abating emissions of ammonia (No. EB.AIR/WG.5/1999/8/Rev.1). UN ECE Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Working Group on Strategies Technical Expert Group.
- United Nations Environment Programme, 2020. The emissions gap report 2020.
- Winiwarter, W., Höglund-Isaksson, L., Klimont, Z., Schöpp, W., Amann, M., 2018. Technical opportunities to reduce global anthropogenic emissions of nitrous oxide. Environ. Res. Lett. 13, 014011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ec9>
- Zehetmeier, M., Zickgraf, W., Effenberg, 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, Schriftenreihe. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihnstephan, Germany.
- Zethner, G., Schwarzl, B., Sedy, K., 2019. Umstellung der österreichischen Stickstoff- und Phosphorbilanz der Landwirtschaft auf EUROSTAT-Vorgaben (No. REP-0694). Umweltbundesamt GmbH (UBA), Wien, Österreich.
- Zethner, G., Sedy, K., Schwarzl, B., 2015. Evaluierung der Maßnahme "Pflugloser Ackerbau" hinsichtlich der Klimarelevanz (No. UBA Report REP-0622). Umweltbundesamt GmbH (UBA), Wien, Österreich.