

# Funktionaler Klimaschutz der Kärntner Landwirtschaft



**Das Ersuchen die aktuelle Klimawirkung der Kärntner Landwirtschaft darzustellen und mögliche Entwicklungspfade aufzuzeigen und zu bewerten geht von der LK Kärnten aus, welche die HBLFA Raumberg Gumpenstein um wissenschaftliche Unterstützung ersucht hat.**

Alle maßgeblichen Aspekte zur Analyse von Daten und zur Synthese von Aussagen beruhen auf bestehenden Arbeiten und Forschungsprojekten der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Diese Personen tragen zum Bericht bei (Nennung in alphabetischer Reihenfolge):

Mag. Christian Fritz MSc. (Institut Tier, Technik und Umwelt)

Dr. Florian Grassauer (Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Dissertant)

Dr. Thomas Guggenberger (Institut für Nutztierforschung)

Dr. Markus Herndl (Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft)

Dr. Georg Terler (Institut für Nutztierforschung)

Zitat: Guggenberger, T., Fritz, C., Herndl, M., Terler, G., Grassauer, F. (2024): Funktionaler Klimaschutz der Kärntner Landwirtschaft. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 96 Seiten

## Impressum

Projektnehmer:in: HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Institut für Nutztierforschung

Adresse: Raumberg 38

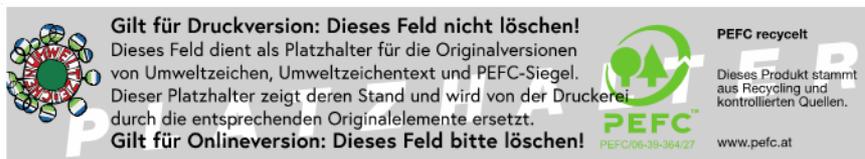
Projektleiter:in: Dr. Thomas Guggenberger

Tel.: 03682/22451-260

E-Mail: [thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at](mailto:thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at)

Gestaltung: Lauren Mayer

Titelbild: Achim Mandler



Raumberg-Gumpenstein, 2022. Stand: 10. September 2024

## Inhalt

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Basisdefinition.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Ausgangslage .....</b>	<b>11</b>
2.1 Globale Klimaerwärmung .....	11
2.2 Klimaerwärmung in Österreich.....	12
2.2.1 Klimaszenarien für Kärnten .....	12
2.2.2 Forschungslage Landwirtschaft Österreich .....	14
2.3 Bilanzierung von Treibhausgasen in Österreich .....	16
2.4 Klimaschutzziel.....	19
2.4.1 Studie Klimaziele der Landwirtschaft des Umweltbundesamtes .....	20
2.4.2 Der nationale Energie- und Klimaschutzplan (NEKP) .....	21
2.4.3 Landesrechnungshof Kärnten: Klimaschutz des Landes.....	22
2.5 Methodik für die Bewertung funktionaler Ziele.....	22
2.6 Zusammenfassung Kapitel 2 .....	25
<b>3 Die Nahrungsproduktion in Kärnten.....</b>	<b>27</b>
3.1 Historische Daten zur Bestimmung der Netto-Ausgangsposition.....	27
3.1.1 Die Landnutzung .....	28
3.1.2 Die Tierbestände.....	29
3.2 Die aktuelle Produktion und ihre Umweltwirkungen.....	34
3.2.1 Übersicht aus den INVEKOS-Daten.....	34
3.2.2 Die Umweltverträglichkeit der gegenwärtigen Produktion .....	37
3.2.3 Die Milchproduktion .....	37
3.2.4 Die Mutterkuhhaltung .....	39
3.2.5 Die Schweinehaltung .....	40
3.2.6 Der spezialisierte Ackerbau .....	43
3.3 Regionale Versorgungssicherheit .....	43
3.4 Zusammenfassung Kapitel 3 .....	45
<b>4 Treibhausgase: Bewertung, Grenzen.....</b>	<b>47</b>
4.1 Metriken .....	49
4.1.1 Global Warming Potential (GWP) .....	49
4.1.2 Global Temperature Potential (GTP) .....	50
4.1.3 Zeitreihen des Strahlungsantriebs.....	51
4.2 Klimaneutralität der Kärntner Landwirtschaft .....	54
4.3 Bilanzierungsgrenzen.....	58

4.3.1	CRF-Sektoren .....	58
4.3.2	Adressaten der Bilanzierung.....	59
4.4	Wechselwirkungen Treibhauswirkung .....	62
4.5	Wechselwirkungen Ökosysteme .....	62
4.6	Zusammenfassung Kapitel 4 .....	63
<b>5</b>	<b>Problemlösungskonzepte.....</b>	<b>65</b>
5.1	Parametrisierung .....	65
5.2	Umsetzungsaufgaben und Intensität bis 2050 .....	69
5.3	Wirkungsanalyse .....	71
5.4	Kommunikation zur Wirkungsanalyse .....	72
5.4.1	Statement 1: Die gemeinsame Aufgabe .....	73
5.4.2	Statement 2: Problemfall Methan .....	74
5.4.3	Statement 3: Null Emissionen ist das Ziel.....	77
<b>6</b>	<b>Aspekte für Entscheidungsträger .....</b>	<b>80</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>87</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>88</b>
	<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>90</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>91</b>

# Kurzfassung

Im Gegensatz zu Wirtschaftssektoren, die ausschließlich die Energiewende vorantreiben müssen, hat die Landwirtschaft bei ihren Klimaschutzzielen eine komplexere Aufgabe zu lösen. Ihr wesentlicher Beitrag an Treibhausgasen ist biologischen Ursprungs und stammt aus zeitlich und stofflich dynamischen Kreisläufen. Diese sind eng mit den natürlichen Grundlagen des Bundeslandes, das sind die Felder und Tiere auf den Höfen der Bäuerinnen und Bauern, verknüpft. Einzelne Handlungen lösen dort Folgewirkungen aus. Der vorliegende Beitrag erfasst, analysiert und bewertet diese Kreisläufe im Detail und verbindet die Ergebnisse mit dem Ziel der Klimaneutralität. Folgende Ergebnisse wurden erarbeitet:

1. Während sich derzeit übliche Klimaschutzstrategien nicht an der erreichbaren Wirkung in der Temperaturerwärmung orientieren, beruht funktionaler Klimaschutz auf einer Entscheidungsstrategie, die sowohl Ergebnisse der Ökobilanzen, als auch den tatsächlichen Beitrag von Emissionen zur Veränderung der Energiebilanz der Erde (Strahlungsantrieb) nutzt.
2. 85 % der rund 10.000 Betriebe mit landwirtschaftlichen Nutztieren gestalten die Grünlandregion Kärntens. Diese betragen 80% der landwirtschaftlichen Fläche im Bundesland und liefern Futter, das nur mit Wiederkäuern in wertvolle Nahrung umgewandelt werden kann. Darüber hinaus garantiert eine standortangepasste Bewirtschaftung des Grünlandes eine Reihe weiterer Ökosystemleistungen, wie zum Beispiel den Erhalt der Kulturlandschaft oder dem Erhalt der Artenvielfalt.
3. Die enge Bindung zwischen Grünland und Wiederkäuer ist das natürliche Ergebnis der historischen Entwicklung. Das Lebendgewicht der Herden lag 1890 sogar um 13 % über dem Ergebnis im Jahr 2018. Als Folge unterschreiten die Methanemissionen derzeit bereits um mindestens 8 % den historischen Wert des vorindustriellen Zeitalters. Für Lachgas, dem insgesamt wichtigsten biogenen Treibhausgas in der Landwirtschaft, trifft dies nicht zu. Allerdings ist auch bei diesem Treibhausgas mindestens die Hälfte der aktuellen Wirkung im Jahr 1890 bereits vorhanden.
4. Die Ökobilanzierung vieler Produktionszweige in Kärnten ist möglichen Importquellen weit oder sehr weit überlegen. So zeigt die Ökobilanz von Milch, dass diese im europäischen Vergleich einen Spitzenplatz einnimmt und die beste Treibhausgasbilanz Europas aufweist. Reduktionen in der Produktion zugunsten einer geringeren Klimabilanz in Kärnten führen bei gleichbleibender Nachfrage zu einer globalen Verschlechterung. Jeder importierte Liter Milch aus dem EU-Raum führt global zu

zusätzlichen 20 - 30 % an Treibhausgasen, bei extensivem Rindfleisch kann der Wert, je nach Herkunftsland, auf zusätzlich über 200 % ansteigen. Das bedeutet, dass alle Produkte mit günstigem ökologischen Fußabdruck auf jeden Fall in Kärnten zu produzieren sind.

5. Die Klimaerwärmung ist physikalisch betrachtet eine Änderung der Energiebilanz in der Atmosphäre, die der Veränderung der Gaszusammensetzung folgt. Im Parameter Strahlungsbilanz RF wird diese Änderung in der Einheit  $\text{mWm}^2$  angegeben. Als Netto-Strahlungsbilanz NRF bezeichnen wir die Veränderung des Wertes zwischen einem historischen und einem gegenwärtigen Zeitpunkt. NRF drückt die Summe der menschlichen Handlungen aus und ist damit die ideale Grundlage für Entscheidungen. Die aktuelle Berechnungsmethode des Treibhauspotenzials (GWP) ist dafür nicht geeignet und führt bei der Bewertung der Landwirtschaft zu falschen Schlüssen.
6. Der relative Anteil des NRF der Landwirtschaft im Jahr 2020 liegt bei rund 5,7 % während der Anteil der Landwirtschaft in der nationalen Treibhausgasbilanz für die Kärntner Landwirtschaft mit 14 % angegeben wird. Mit geeigneten Maßnahmen kann dieser Anteil von 5,7 % auf 3,6 % im Jahr 2050 sinken und liegt dann nur noch 30 % über dem Ausgangswert im Jahr 1980. Die berechnete Gesamtabweichung aller Wirtschaftssektoren in Kärnten wird zu diesem Zeitpunkt 689 % betragen
7. Die Bewertung der einzelnen Treibhausgase ergibt, dass
  - a)  $\text{CO}_2$  aus fossiler Energie in der Landwirtschaft zwar wenig Bedeutung hat, aber jede weitere Nutzung den Strahlungsantrieb erhöht.
  - b)  $\text{N}_2\text{O}$  nur mehr sehr langsam ansteigend, einen zusätzlichen Beitrag leistet. Bis 2050 können die globalen politischen Ziele, das ist die relative Klimaneutralität, erreicht werden.
  - c)  $\text{CH}_4$  bereits die historischen Stände unterschreitet und damit sowohl relativ als auch absolut klimaneutral ist.  $\text{CH}_4$  der Wiederkäuer in Kärnten hat keinen zusätzlichen Beitrag zur Klimaerwärmung geleistet. Eine künstliche Reduktion der Wiederkäuerherde als theoretisches Planungsziel im Klimaschutz hat viele Folgewirkungen und wird nicht empfohlen.
8. Den Entscheidungsträgern in Kärnten wird geraten, der Diskussion um Zielfunktionen auf der Basis des Treibhauspotenzials (GWP) (z.B. -32,7 %) kein normatives Gewicht zu geben, sondern vielmehr proaktiv an Maßnahmen zu arbeiten die geeignet sind, um NRF zu stabilisieren. Diese Maßnahmen sind:
  - a) die Energiewende, um zusätzliche Emissionen aus fossilem  $\text{CO}_2$  zu verhindern.
  - b) ein spürbarer Eingriff in die N-Bilanzen der Böden und die Bodengesundheit durch ein ganzes Bündel an Maßnahmen zur Senkung der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen. Beiträge können z.B. durch eine Ausweitung der N-reduzierten Fütterung, Verbesserung

der N-Bilanz und der N-Effizienz in der Düngung (Düngerreduktion, Einsatz stabilisierter Mineraldünger, usw.), Ausbau der Biolandwirtschaft, Maßnahmen zum Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel, Ausbau der Weidehaltung, Verbesserung der Wirtschaftsdüngerausbringung, schonende Bearbeitungsmaßnahmen von Grünland- und Ackerböden, minimale Bodenbearbeitung usw. geleistet werden.

- c) Erarbeitung und Umsetzung einer Kärntner Eiweißstrategie um die Importe von Futtermitteln mit einem hohen Anteil an Umweltwirkungen aller Art sukzessive zu reduzieren. Ein in sich komplexes Thema, das von der Grundfutterqualität im Grünland über die Fruchtfolgen am Acker bis zur Nutzung von Nebenprodukten der Nahrungsindustrie reicht, ohne die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe aus dem Auge zu verlieren.
- d) der Einsatz von Futtermitteln mit CH<sub>4</sub>-senkenden Eigenschaften als zusätzlichen Leistungsbeitrag der Wiederkäuerhaltung.

Alle aufgezählten Maßnahmen sind ein bedeutender Teil des Konzeptes einer Standortgerechten Landwirtschaft. Dieses Konzept sollte als Leitkultur der Landwirtschaft im Bundesland Kärnten nach den eigenen Gegebenheiten fein ausgearbeitet und generationsübergreifend umgesetzt werden.

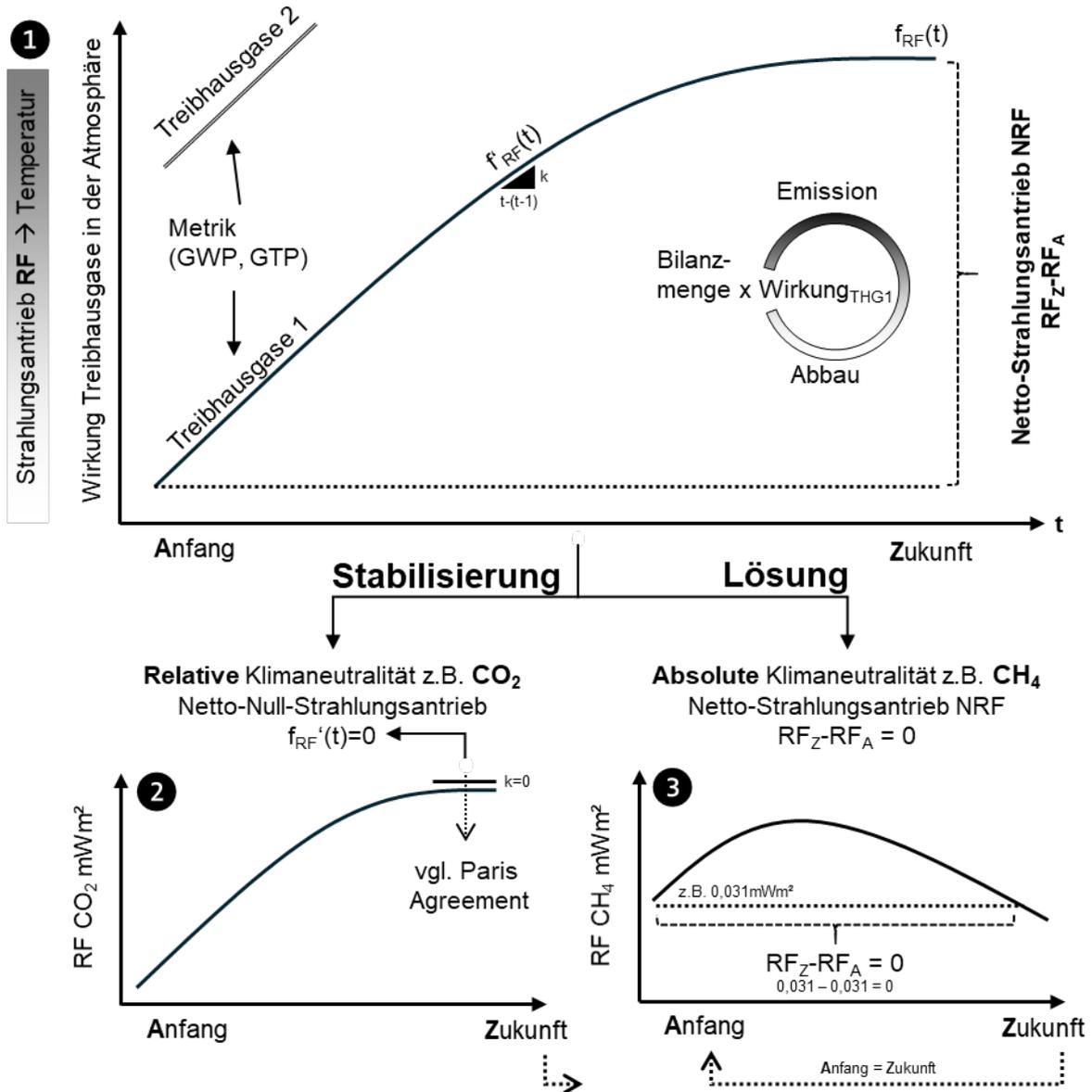
# 1 Basisdefinition

Das vorgestellte Thema hat allgemein eine große Nähe zum Alltagsverständnis der Bevölkerung von Kärnten. Alle Menschen sind mit der Landschaft vertraut, die Bäuerinnen und Bauern haben tiefes Wissen über ihre Prozesse und den damit verbundenen Aufgaben und Leistungen. Jede Person ist zudem in das Gespräch des Klimawandels eingebunden. Auch hier werden viele Aspekte gehört, wesentliche Aspekte oft aber nicht verstanden. Viele Abschnitte dieses Beitrags widmen sich diesem Verständnis. Dabei tauchen einige Begriffe besonders oft auf. Diese werden hier einleitend erklärt.

Im Wesentlichen gilt es ❶ die Veränderungen in der Atmosphäre zu beobachten und daraus geeignete Schlüsse abzuleiten. Damit verbundene Ziele können sowohl die Stabilisierung ❷ der Veränderung auf einem erreichten Niveau, als auch die Wiederherstellung ❸ eines ursprünglichen Zustandes sein. Zukunftspfade sind nicht frei wählbar, weil sie von den grundlegenden physikalischen Eigenschaften einzelner Treibhausgase abhängen.

Jedenfalls steht fest, dass der Strahlungsantrieb  $RF$ , das ist die Summe aller in der Zeit wirksamen Mengen in der Energiebilanz der Atmosphäre, die einzige Größe ist die, die Entwicklung auch ohne Verzerrung darstellen kann.

Abbildung 1: Einordnung von Begriffen in die Bewertung



Begriffsdefinition Strahlungsantrieb RF: Der Strahlungsantrieb (engl. Radiative Forcing) ist ein Maß für die Änderung der Energiebilanz der Erde durch Änderung der Wirkung der Strahlung aus dem Weltraum und wird in  $W/m^2$  gemessen. Der Begriff wurde vom IPCC eingeführt, um im Rahmen der Klimastudien den Einfluss externer Faktoren auf die Strahlungsbilanz bzw. das Klimasystem der Erde zu beschreiben (Houghton et al., 1990). Die Veränderung ( $\Delta$ ) von RF ist der Auslöser für die in  $^{\circ}C$  messbare Temperaturveränderung auf der Erde ( $\Delta RF$  1750-2019 =  $2,72 Wm^2$ ).

Begriffsdefinition Metriken: Für die Erstellung von nationalen Treibhausbilanzen nach den Regeln des IPCC war die dynamische Erstellung von RF-Zeitreihen für jedes Treibhausgas (THG) (vgl. Houghton et al., 1990) wohl zu komplex, weshalb als starke Vereinfachung ein fester Umrechnungsfaktor für einzelne Treibhausgase gesucht wurde. Mit dem Global Warming Potential (GWP) = Treibhauspotenzial hat sich ein Vorschlag durchgesetzt der CO<sub>2</sub>-Emissionen unterdurchschnittlich bewertet. Das Global Temperature Potential (GTP) = Erwärmungspotential folgt der tatsächlichen Veränderung in der Atmosphäre besser, wird aber nur in der Ökobilanzierung verwendet.

Bildbeschreibung zu Abbildung 1: ❶ Ausgehend von einem historischen Anfangspunkt erwärmt jedes Treibhausgas (THG) im Zeitverlauf die Atmosphäre in einer spezifischen Abhängigkeit zur Mengenbilanz (Emission-Abbau) und zur physikalischen Wirksamkeit des betroffenen THG. Die mathematische Funktion der Zeitreihe bietet für Entscheidungsträger zwei interessante Bewertungspunkte. Dieses sind a.) jener Zeitpunkt, in dem die Wachstums- bzw. Abbaukräfte gleich groß sind und der Zuwachs von RF (k) zum Stillstand kommt (siehe ❷). Ab diesem Augenblick konnte das Wachstum bei bestehenden Schaden angehalten und die Situation stabilisiert werden. Der zweite Fall b.) ist lösungsorientiert und kann sich entlang der Zeitachse nach a.) bei vollständig abbaubaren THG einstellen. Im Idealfall erreicht RF wieder das Ausgangsniveau ❸ und damit den ursprünglichen Zustand. Der Schaden wurde vollständig behoben. Ganz allgemein nennen wir hier die Differenz von RF zwischen zwei Zeitpunkten Netto-Strahlungsantrieb NRF.

❷ Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist in der Atmosphäre, in für Entscheidungen nutzbaren Zeiträumen, nicht vollständig abbaubar. Es aggregiert seine Wirkung so lange, bis die noch emittierte Menge den Bindungsvermögen der Weltmeere und der Biomasse entspricht. Weil dieses THG weit von diesem Gleichgewicht entfernt ist, gilt hier als erster Schritt die Erreichung der Klimaneutralität oder als Synonym der Netto-Null-Ziele. Gemeint ist damit aber immer eine relative Entwicklung die ihren Erfolg bei bestehenden Schaden an der Eindämmung zusätzlicher Schäden misst.

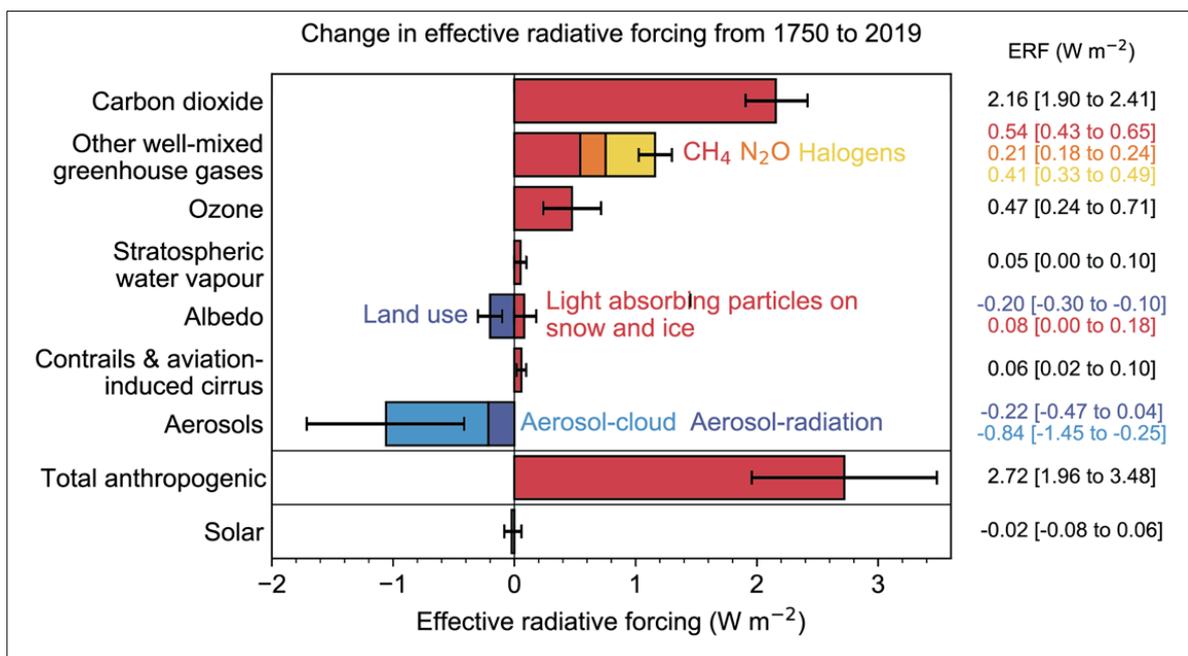
❸ Biogene THG, vor allem Methan (CH<sub>4</sub>), aggregieren kaum, weil durch Oxidation ein schneller Abbau garantiert ist. Mit dem Rückgang der Emissionsmenge sinkt sofort auch RF. So kann dieses Treibhausgas tatsächlich zum historisch geltenden Ausgangspunkt zurückkehren und seinen Schaden vollständig beheben. Diese Eigenschaft verdient den Begriff absolute Klimaneutralität.

# 2 Ausgangslage

## 2.1 Globale Klimaerwärmung

Der sechste Sachbestandsbericht der Arbeitsgruppe I des Weltklimarates (IPCC, 2021) beschreibt die Gesamtheit der dynamischen Effekte die zum Anstieg, aber auch zur Reduktion des atmosphärischen Strahlungsantriebs (Radiative Forcing RF) beitragen. Der aktuelle Bericht benennt verschiedene Treibhausgase. Für die Landwirtschaft relevant sind dabei die Emission von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Verbrennung fossiler Energie, Lachgas (N<sub>2</sub>O) aus der Denitrifikation von Stickstoffverbindungen im Boden und Methan (CH<sub>4</sub>) aus der enterogenen Fermentation und aus Wirtschaftsdüngerlagern. Das physikalische Grundkonzept des IPCC ermöglicht die Benennung der Strahlungseffizienz (Radiative Efficiency RE) der Treibhausgase und damit eine Übertragung der globalen Ergebnisse auf nationale Bilanzen (Guggenberger et al., 2022).

Abbildung 2: Veränderung im Strahlungsantrieb (Radiative Forcing) seit 1750 als zentraler Messwert für das Voranschreiten der anthropogenen Klimaerwärmung. (Abbildung 5 aus Forster et al., 2021)



Bildbeschreibung zu Abbildung 2: Der Strahlungsantrieb ist eine Leistungsgröße für die Veränderung der Energiebilanz der Atmosphäre. Er wird in Watt pro m<sup>2</sup> angegeben und hat damit die maximale Erklärungsnähe zur Globalstrahlung der Sonne, die ebenfalls in dieser Einheit angegeben wird. In ihrer effektiven Form beträgt der Strahlungsantrieb seit 1750 in Summe 2,72 Wm<sup>2</sup> (Forster et al., 2021). Die Summe wird aus Erwärmungs- und Kühlungseffekten gebildet. CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung fossiler Energie ist die zentrale Wirkungsgröße der seit 270 Jahren voranschreitenden Entwicklung.

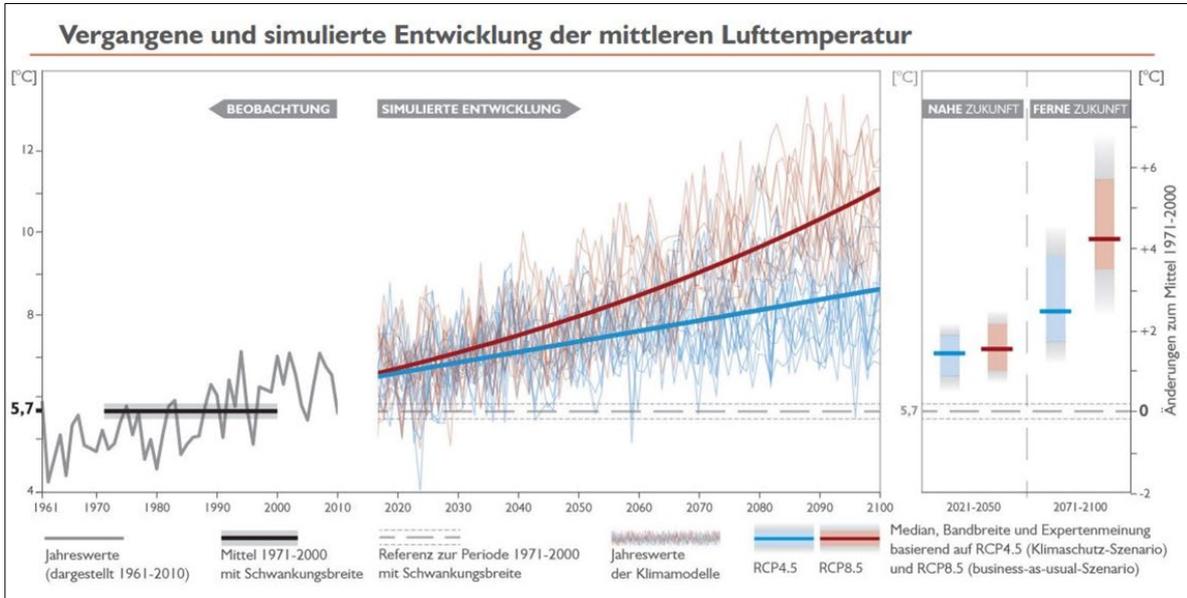
## 2.2 Klimaerwärmung in Österreich

### 2.2.1 Klimaszenarien für Kärnten

Der Strahlungsantrieb der globalen Atmosphäre erhöht die Jahresmitteltemperatur auch in Österreich, wobei lokale Effekte das globale Ergebnis abschwächen oder anheben können. Im Projekt ÖKS15 wurde ein nationales Down-Scaling der globalen meteorologischen Modelle auf die Ebene der Bundesländer vorgenommen (ÖKS15, 2015). Mit dem Bericht „Klimaszenarien für das Bundesland Kärnten bis 2100“ liegt damit eine Prognose vor, die in diese Arbeit als Quelldatensatz eingehen kann (Chimani et al., 2015). Die Arbeit prognostiziert im Klimaschutz-Szenario RCP4.5 einen Temperaturanstieg von +2,4°C für die Periode 2071-2100. Das BAU-Szenario RCP8.5 erreicht einen Wert von +4.2°C. Für den Niederschlag wird eine leichte Zunahme prognostiziert.

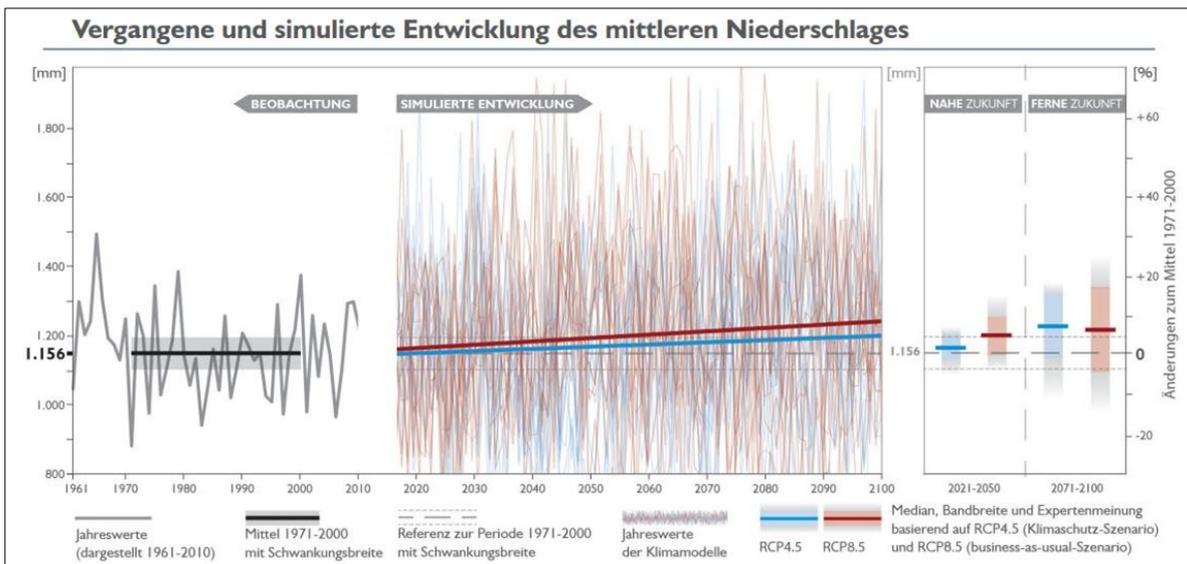
Empirisch ist gerade für Kärnten jedoch eine höhere Sensibilität im Hinblick auf den Niederschlag angebracht. Berichte aus dem Süden von Slowenien und aus Südtirol zeigen dort tendenziell eine Verschiebung der mediterranen Trockengebiete nach Norden. Möglich, dass diese zunehmen, auch nördlich der Karnischen Alpen und Karawanken stärker spürbar werden.

Abbildung 3: ÖKS15 Factsheet Kärnten: Vergangene und simulierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur



Bildbeschreibung zu Abbildung 3: Ausgehend von einer mittleren Jahrestemperatur von 5,7° C in der Periode 1970-2000 nimmt die Temperatur im Szenario 4.5 weiter etwa linear zu, während das Szenario 8.5 eher exponentiell zunimmt. Die Schwankungsbreite der Szenarien ist groß, die Dynamik der Schwankungen folgt aber der Entwicklung.

Abbildung 4: ÖKS15 Factsheet Kärnten: Vergangene und simulierte Entwicklung des mittleren Niederschlages



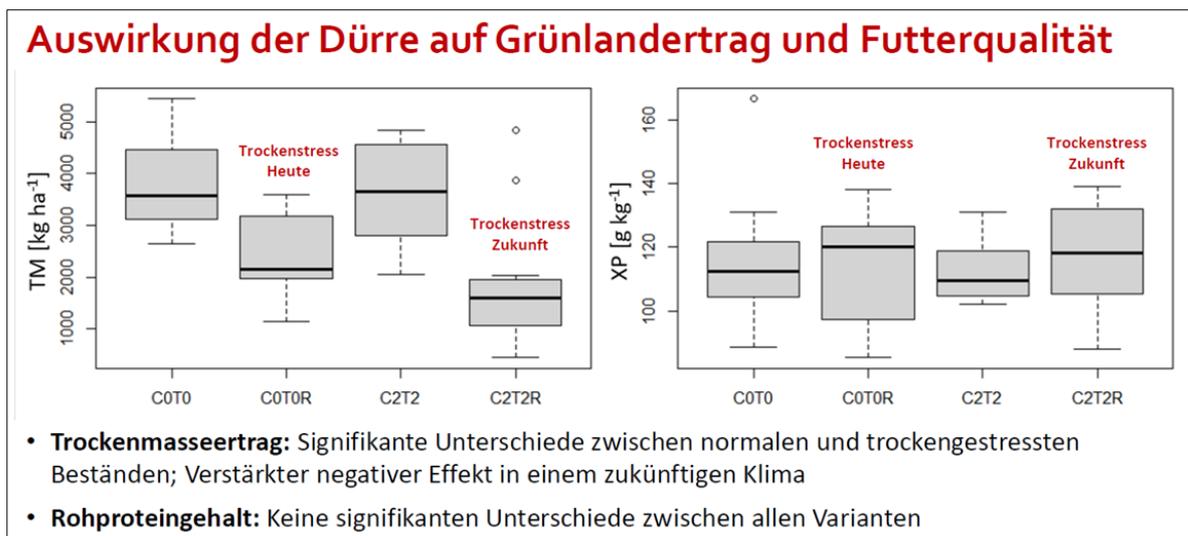
Bildbeschreibung zu Abbildung 4: Der Niederschlag ist, selbst auf Bundesländergröße, ein kaum zu prognostizierender Wert. Die Klimamodelle nehmen eine leichte Zunahme der Jahresniederschläge an, wobei die Zunahme vor allem in den Wintermonaten erwartet wird.

## 2.2.2 Forschungslage Landwirtschaft Österreich

### 2.2.2.1 Simulation der Klimaerwärmung Dauergrünland

Auf der Ebene Landwirtschaft führt die Klimaveränderung (Wärme, Extremereignisse) zu einer Veränderung der pflanzenphysiologischen Prozesse. Im Projekt ClimGrass der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde eine fernere Zukunft mit hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (C0 = derzeit, C1 = +150 ppm, C2 = +300 ppm) und einer bereits deutlich angestiegenen Jahresmitteltemperatur (T0 = derzeit, T1 = +1,5°C, C2 = +3°C) simuliert. Die Auswirkungen auf den Boden und die Pflanzen sind für Wirtschaftsgrünland nun bekannt. Besonders wichtig für die Landwirtschaft ist die Bilanz aus Verdunstung und Niederschlag. Dafür wurde ein eigenes Experiment angelegt, in dem Dürren simuliert wurden. Diese wurden im Experiment durch automatische Regendächer realisiert, die bei jeder Art von Niederschlag über Sensoren sofort ausgefahren wurden. Die Trockenexperimente wurden so gelegt, dass der gesamte zweite Aufwuchs keinen Niederschlag erhielt. Abbildung 5 zeigt die dramatische Wirkung: Bei vergleichbaren Nährstoffgehalten bricht der Mengenertrag bei derzeitigem Klima um 1/3 bei einem zukünftigen um die Hälfte ein. (Schaumberger et al., 2022).

Abbildung 5: Auswirkung der Dürre auf Grünlandertrag und Futterqualität



Beschreibung zu Abbildung 5: Der Ertrag im zweiten Aufwuchs von Dauergrünland entspricht bei einem gegenwärtigen Klima (C0T0) in etwa einem zukünftigen Klima in fernerer Zukunft (C2T2). Mehr Wärme und mehr CO<sub>2</sub> führen hier bei ausreichendem Niederschlag nicht zu einem höheren Ertrag. Trockenheit wirkt sich jedoch unter den zukünftigen Bedingungen deutlich stärker aus als unter Gegenwärtigen.

#### **2.2.2.2 Klimaerwärmung Alm- und Berggebiet**

Für extensives Grünland im Bereich der Almen stehen die Ergebnisse eines eigenen Experimentes zur Verfügung (ALM20 Dafne 101151/1) und können in diese Arbeit eingehen (Guggenberger et al., 2021). Dieses Experiment wertet in einem Referenznetz von Versuchsflächen die Veränderung von Klima, Ertrag und Futterqualität in den letzten 25 Jahren aus. Tabelle 1 zeigt am Beispiel von linearen Gleichungen zur Bewertung der Monatsmitteltemperatur bzw. der Niederschläge pro Monat die Veränderung in den letzten 25 Jahren. Wichtig ist hier die Zeile  $k$ , welche die als Steigung die Zunahme pro Jahr anzeigt. Für alle Monate der Vegetationsperiode sind die Werte positiv oder stark positiv. Das bedeutet, dass in den letzten 25 Jahren das Klima immer wärmer wurde. In Summe betrug die mittlere Erwärmung für die Monate April bis September  $+2,1^{\circ}\text{C}$  bei einer leichten Zunahme des Niederschlages von 44 mm. ALM20 bestätigt bzw. übertrifft damit die Prognosen von ÖKS15. Das hat große Bedeutung in einem Bundesland wie Kärnten mit einem besonders großen Anteil an Almflächen.

Tabelle 1: Regressionen zur Bewertung von Messwerten von Temperatur und Niederschlag in den Monaten April bis September

Parameter	April	Mai	Juni	Juli	August	September	April-September
<b>Lufttemperatur [°C] Mittelwert</b>							
<i>Koeffizienten der linearen Gleichung</i>							
d	-225,380	-36,908	-191,110	-143,880	-94,820	-90,196	
k	0,117	0,025	0,104	0,081	0,056	0,052	
<i>Rechenwerte der linearen Gleichung</i>							
1990	6,9	12,8	15,1	16,9	17,2	12,9	13,6
2019	10,2	13,6	18,1	19,3	18,8	14,4	15,7
Veränderung [1990,2019]	3,4	0,7	3,0	2,3	1,6	1,5	2,1
Veränderung [10 Jahre]	1,17	0,25	1,04	0,81	0,56	0,52	0,72
<b>Niederschlagssumme [mm] Mittelwert</b>							
<i>Koeffizienten der linearen Gleichung</i>							
d	2.135,4	-3.893,5	1.517,8	934,91	-2.521,5	-319,03	
k	-1,0293	2	-0,685	-0,3794	1,3929	0,2198	
<i>Rechenwerte der linearen Gleichung</i>							
1990	87,1	86,5	154,7	179,9	250,4	118,4	876,9
2019	57,2	144,5	134,8	168,9	290,8	124,7	920,9
Veränderung [1990,2019]	-29,8	58,0	-19,9	-11,0	40,4	6,4	44,1
Veränderung [10 Jahre]	-10,29	20,00	-6,85	-3,79	13,93	2,20	15,19

### 2.3 Bilanzierung von Treibhausgasen in Österreich

Für die Bewertung von Treibhauswirkungen und die Maßnahmen zum Klimaschutz hat sich ein Netzwerk an Akteuren vereint. Dieses wird zentral von den Vereinten Nationen gelenkt, die als Akteur den Weltklimarat (IPCC) gegründet haben. Dieser hat die maßgeblichen Grundlagen zur Bewertung von Treibhauswirkungen (Guidelines) verfasst und an die lokalen Behörden zur verpflichtenden Umsetzung weitergegeben. Die Verpflichtungen zur Inventur und in Folge zur Reduktion von Treibhausgasen wird in einer Vielzahl von Gesetzen auf völkerrechtlicher und bundesstaatlicher Ebene festgelegt (siehe Übersicht (Guggenberger et al., 2020b)). Das international verpflichtende Konzept beruht auf einer Summierung weniger Emissionswerte für die Produzenten eines Landes. Diese werden grob ebenso wenigen Sektoren zugerechnet. Es gibt weder eine Produkt- noch eine Konsumorientierung. Diese Aspekte können im Rahmen der Ökobilanzierung in Botton-up-Verfahren aus den tatsächlichen Produktionsdaten, bestehenden Inventaren (Ecoinvent, 2011) und allgemeinen Bewertungsmodelle (IPCC, 2006, 2019) berechnet werden. Während das Konzept des IPCC bei der Bewertung von Treibhauspotenzialen auf die Methode des Global Warming Potential (GWP) festgelegt ist, besteht in der Ökobilanzierung ein breiterer Zugang. Hier ist eine



Abbildung 7: Zeitreihe [1900,2050] CO<sub>2</sub>

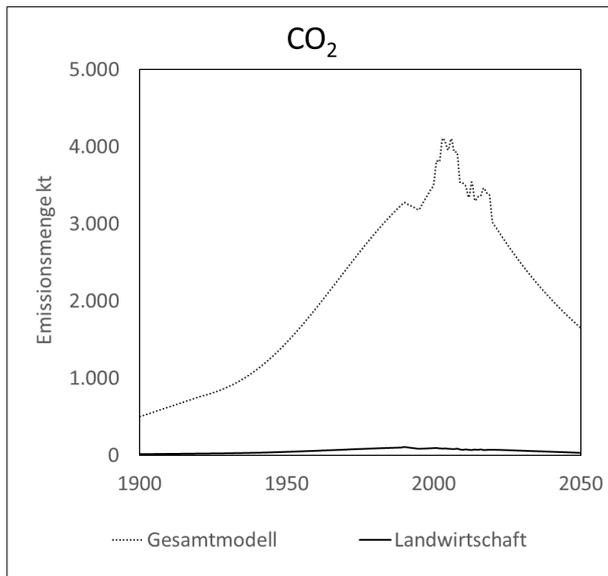


Abbildung 8: Zeitreihe [1900,2050] N<sub>2</sub>O

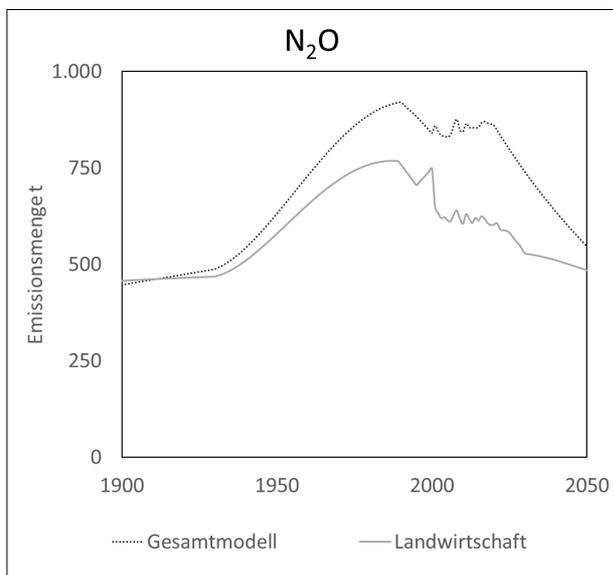


Abbildung 9: Zeitreihe [1900,2050] CH<sub>4</sub>

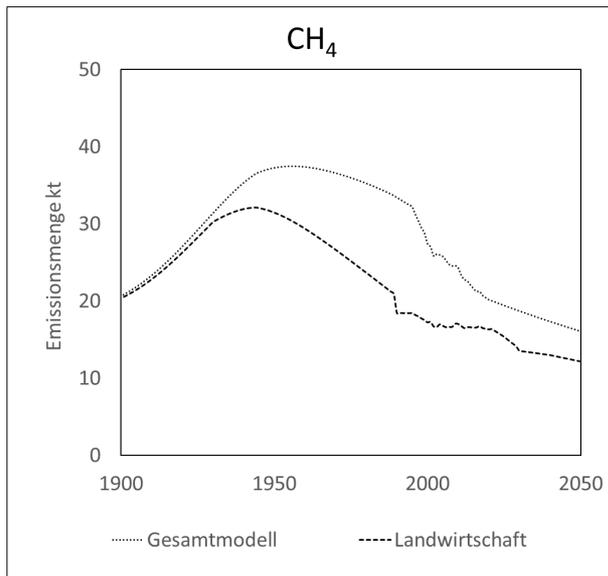


Abbildung 7 bis Abbildung 9 zeigen für das jeweilige Treibhausgas die Emissionsmenge für das Bundesland Kärnten. Die höher angesetzte Kurve zeigt die Gesamtemissionen aller Sektoren im Bundesland, die tiefere jene der Landwirtschaft. Die Daten bis 1990 wurden aus einem nationalen Modell dem Bundesland anteilig zugeordnet. Daten nach 2020 folgen in etwa dem Modell WAM (With Additional Measures) des Umweltbundesamtes. N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> folgen dabei weiterhin dynamisch der Reduktionsentwicklung der vergangenen Jahrzehnte. CO<sub>2</sub> wird deutlicher reduziert.

## 2.4 Klimaschutzziel

Die Ergebnisse aus Kapitel 2.1 bzw. Kapitel 2.2 erzwingen ganz klar eine Reduktion von Treibhausgasen zum Schutz des Klimas. Idealerweise werden solche Ziele, genauer die Pfade bis zur Zielerreichung so definiert, dass die zu beeinflussenden Systeme mit der Entwicklung Schritt halten können. Natürlich überschreitet der Autor des Berichtes gerade die Grenzen seines wissenschaftlichen Auftrages, aber man stelle sich dazu folgendes vor:

Ein Trainer arbeitet mit einem Hobbyläufer an der Performance des Marathonlaufes. Wir wissen, dass die Unterschreitung der 3 Stundengrenze für viele dieser Läufer nicht möglich ist. Trotzdem lässt der Trainer den Läufer so trainieren, dass er die ersten 5 km mit der Zeit

der Spitzenläufer laufen kann. Jeder wird das Scheitern des Trainingsplanes intuitiv voraussehen: Das zu erwartende Ergebnis für dieses Szenario ist der Zusammenbruch des Läufers noch bevor er die ersten 10 km erreicht hat.

Prolongierte Klimaschutzziele der Gegenwart entsprechen leider dieser Darstellung. Angetrieben durch die aufgeheizte gesellschaftliche Debatte werden unrealistische Ziele ausgerufen, die bestenfalls dazu motivieren sie achselzuckend zu ignorieren oder sie führen zu Debatten in der Schuldfrage. Das geschieht in Österreich und den meisten OECD-Länder seit Jahrzehnten so.

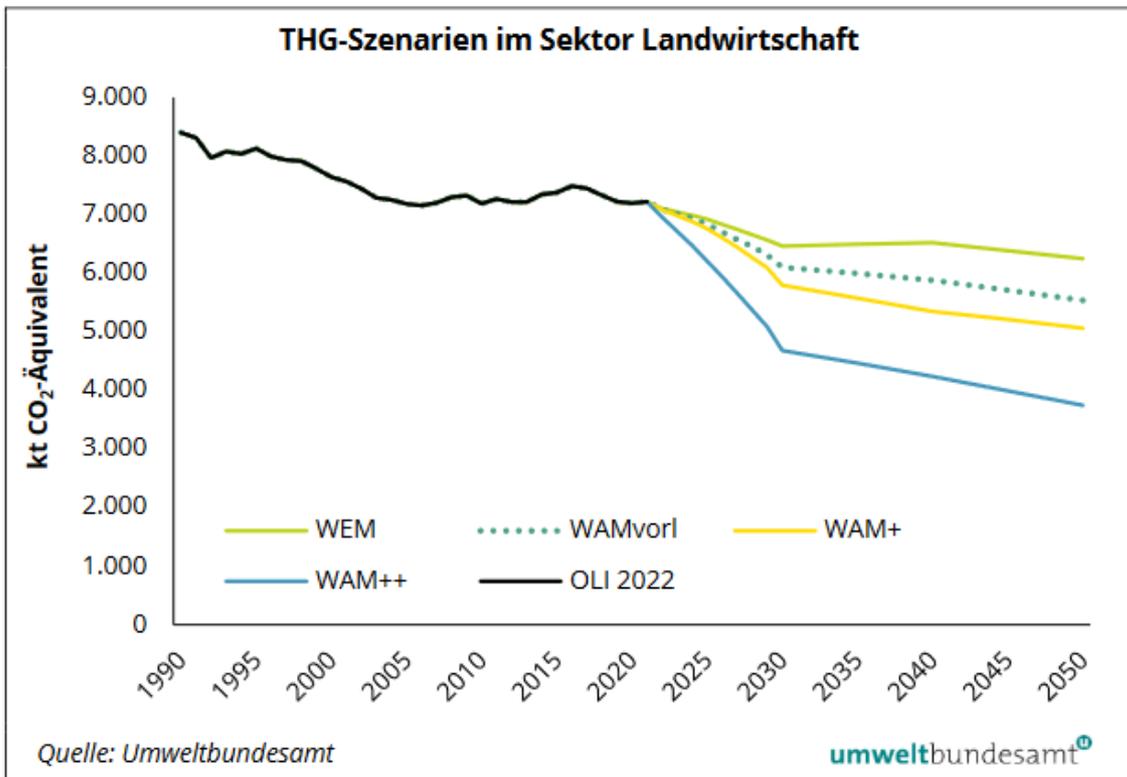
Realistische Trainingsziele sind Verbesserungen am bestehenden Prozess. Diese Verbesserungen orientieren sich am Erfolg des Vortages und nicht an der Vision der Zukunft. Der Weg auf den man läuft, muss ein Versprechen für den Erfolg und nicht ein Weg in die Wüste sein. Die Energiewende hat großes Potenzial ein solcher Weg zu sein. Für die Landwirtschaft gibt es noch weitere, kleine Pfade. Dazu später mehr.

#### **2.4.1 Studie Klimaziele der Landwirtschaft des Umweltbundesamtes**

Das Umweltbundesamt hat im Auftrag des BML für die Landwirtschaft vier verschiedene Reduktionspfade vorgeschlagen und mit Wirkungsgrößen auf der Basis GWP beschrieben. Die Studie trägt den Titel „Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion in der Landwirtschaft zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzgesetzes“ (Schwaiger et al., 2023). Die Nennung des Titels schlägt in die Kerbe des vorigen Kapitels. Im Extremfall der Szenarien gilt: „Nicht das Können, sondern das Müssen wird zum Maß.“

Die Studie ist in den fachlich möglichen Aspekten feingliedrig aufgeteilt, maßgebliche Wirkungen werden – wie nicht anders zu erwarten – durch einen starken Eingriff in die bestehende Produktivität erreicht. Als Beobachtungsperiode wurde der Zeitraum 2005-2050 festgelegt. Folgende Szenarien wurden formuliert: Das Akronym WEM steht für „mit bestehenden Maßnahmen“, WAM für „mit zusätzlichen Maßnahmen“. WEM erreicht im Modell einen Rückgang von -9,2 %, WAM von -18 %, WAM+ von -26 % und WAM++ von -41 %. Je weiter das Szenario voranschreitet, umso stärker muss auf der Basis GWP die Produktion und der Einsatz von Betriebsmitteln reduziert werden.

Abbildung 10: THG-Szenarien im Sektor Landwirtschaft, Abbildung 1 aus Schwaiger et al., 2023



## 2.4.2 Der nationale Energie- und Klimaschutzplan (NEKP)

NEKP ist ein Plan, den alle EU-Staaten in die gemeinsame Klimaschutzstrategie der EU melden müssen. Die Frist endet mit Juni 2024. Als Maß der Strategie gilt das Szenario WAM (with additional measures). Im aktuellen Entwurf für die Periode 2021-2023 sollen die Ziele der Landwirtschaft mit folgenden Strategien erreicht werden (BMK, 2023):

- Umsetzung des GAP-Strategieplans 2023-2027, insb. im Rahmen des Österr. Agrarumweltprogramms (ÖPUL)
- Landwirtschaftliche Investitionen mit emissionsmindernder Wirkung
- Nitrataktionsprogramm-Verordnung
- Ziel der Reduktion des Mineräldüngereinsatzes um 20 % (gegenüber WEM)
- Ammoniakreduktions-Verordnung
- Biomethanproduktion (Ziel: 30 % Anteil des Wirtschaftsdüngers)
- Förderungsangebote für Agri-PV-Anlagen aus dem Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG)
- Sonderinvestitionsprogramm „Energieautarke Bauernhöfe“ mit 100 Mio. Euro von 2022-2025

Das Bundesland Kärnten hat in die Gesamtstrategie einen Reduktionsanteil von etwa 20 % im Bereich der Energieeffizienz und von 36 % für die Reduktion von Non-ETS-Emissionen gemeldet. Die kurze Laufzeit der Zielerreichung bis 2030 hebt das hier als WAM genannte Szenario noch über das Szenario WAM++ aus der Studie des UBA (Zielerreichung 2050).

### **2.4.3 Landesrechnungshof Kärnten: Klimaschutz des Landes**

Der Landesrechnungshof Kärnten hat die Ziele der Vereinbarung von Paris für die Emissionsentwicklung in Kärnten geprüft und einen Vorschlag für zukünftige Emissionspfade veröffentlicht (Kärntner Landesrechnungshof, 2022). Der Bericht formuliert Maßnahmen für die Landwirtschaft, bleibt auf allgemeinem Niveau, und schließt sich inhaltlich den bestehenden nationalen Bemühungen an, ohne dass besondere zusätzliche Zahlen/Ziele genannt werden.

## **2.5 Methodik für die Bewertung funktionaler Ziele**

Für den vorliegenden Bericht wird im Titel ein funktionaler Klimaschutz ausgelobt. Der Aspekt des Klimaschutzes deutet notwendige Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen an. Diese Maßnahmen werden nach einem in diesem Kapitel definierten Entscheidungsbaum festgelegt. Jede Entscheidung ist für sich eine Funktion mit mehr oder weniger komplexem Hintergrund. Maßgebliche Funktionen sind dabei die Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Produkte und der Grad der Klimaneutralität den einzelne Treibhausgase bereits erreichen. Zusätzliche Aspekte sind die Versorgungssicherheit der Kärntner Bevölkerung und die Ökosystemleistungen der Landwirtschaft. Zusätzlich erlaubt der Ansatz einen „Blick über den Tellerrand“ um von einer rein regionalen Bilanzierung, wie im Nationalen Inventurbericht (Umweltbundesamt, 2022), zu einer internationalen auch konsumorientierten Bewertung zu kommen.

Abbildung 11: Konzept zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz der Landwirtschaft

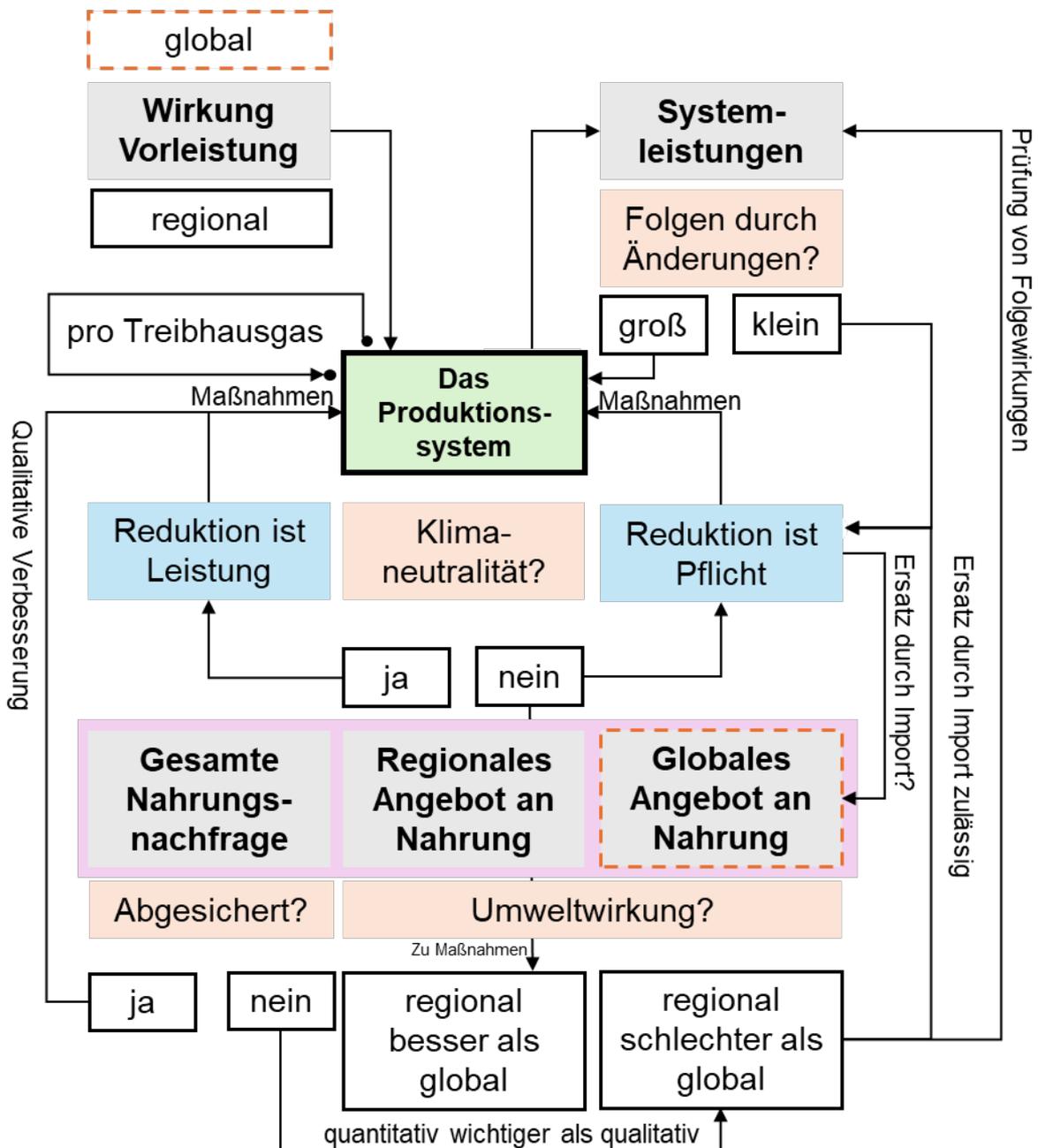


Abbildung 11 schlägt in Form eines zyklischen Flussdiagrammes ein Konzept zur Entwicklung funktionaler Klimaschutzmaßnahmen vor. Das Diagramm integriert dabei folgende Entitäten:

- In der grünen Box → Das Ausgangsobjekt: In der Landwirtschaft gehen wir bei der Suche nach funktionalen Klimaschutzmaßnahmen idealerweise von einem einzelnen

Produktionssystem aus und arbeiten für dieses die drei Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O ab. Produktionssysteme sind dabei eine Kombination von Betriebszweigen, die wir in der Landwirtschaft häufig finden. Als Beispiel können wir den Milchviehbetrieb, die extensive Rinderhaltung, die intensive Rinderhaltung, die Veredelungsbetriebe mit Schweinen/Geflügel und den reinen Ackerbau-, Obst- oder Gemüsebetrieb verwenden. Als Bilanzierungsgrenze gilt sowohl für die Bewertung der Klimawirkung, als auch für die Ökobilanzierung, die Hoforgrenze.

- In einer grauen Box → Produkte und Ergebnisse: Jedes Produktionssystem bringt eine oder mehrere Leistungen oder andere Ergebnisse hervor. Direkt ergeben sich aus der Sicht des einzelnen Betriebes das Angebot an regionaler Nahrung und Ökosystemleistungen im Gesamtkontext der Landbewirtschaftung. Zusätzliche Produktionsquellen sind das Angebot an Nahrung am internationalen Markt. Als gesellschaftliches Ereignis tritt die Nahrungsnachfrage auf. Es ist von hoher Bedeutung für funktionale Klimaschutzziele, dass Produkte und Ereignisse in ausgewogener Weise sanft verändert werden.
- In einer rosa Box mit nachgeordneten quantitativen Boxen → Ergebnisse einer methodischen Prüfung: Das Flussdiagramm verzweigt sich an vier Stellen binär. Der Entscheidung ist eine Analyse vorgeschaltet, die meistens nicht sehr einfach ist. Jede Analyse hat ihr eigenes Methodenkonzept. Wir verwenden:
  - Für die grundlegende Frage der landwirtschaftlicher Treibhausgase: Langzeitbewertung von Treibhausgasen in Österreich (Guggenberger et al., 2022) auf der Basis des physikalischen Strahlungsantriebs in der Atmosphäre. Wer diese Methode nicht verwenden kann: Option nein.
  - Für die einzelbetriebliche Ökobilanzierung zur Bestimmung von Umweltwirkungen: Eine Ökobilanz nach den gültigen ISO-Normen 14040 bis 14044 (ISO, 1996, 1998, 2000a, 2000b, 2006, ISO/TC 207/SC 7, 2018). Wir verwenden dafür FarmLife, ein Produkt der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Guggenberger et al., 2016a, Herndl et al., 2016). Die besondere Herausforderung ist hier der Umgang mit der Breite der Parametrisierung und dem Druck, verschiedene Ambiguitäten zu lösen.
  - Zur Klärung der Frage der Versorgungssicherheit: Die Versorgungsbilanz des Grünen Berichtes des Bundes und der Länder. Zusätzlich eine wissenschaftliche Untersuchung zur räumlichen Verteilung der Versorgungssicherheit (Guggenberger et al., 2016c).
  - Zur Frage der Ökosystemleistungen: Qualitative Beschreibung von Inventaren zur Ökosystemleistung der Landwirtschaft nach den Vorlagen des Umweltbundesamtes (Götzl et al., 2011).

- In einer blauen Box → Handlungsanweisung: Je nach Verantwortungsauftrag als Pflicht oder Leistung. Bringt jene Maßnahmen hervor, die später nach einer Prüfung im Gesamtkontext des Diagrammes für den funktionalen Klimaschutz ausgelobt werden können.
- Als lila Box → Gruppierung im Themenkomplex: Notwendig zur Bilanzierung von Angebot und Nachfrage bei der Bereitstellung von Nahrung.
- Als orange-strichlierter Rahmen → Wirkungen außerhalb der nationalen Grenze: Im Zusammenhang mit der Eingangsfrage zur Notwendigkeit von Maßnahmen rückt die Bilanzierungsgrenze weit in den Vordergrund. So gut wie alle derzeit vorgetragenen Argumente zum Klimaschutz haben ihren Ursprung in der produktionsorientierten (Product based balance) Treibhausgasbilanz innerhalb der festgelegten Regionsgrenzen. Staaten nutzen historisch diese Methode unbewusst, um schädliche oder wenig rentable Produktionsverfahren in wirtschaftlich schwächere Länder zu exportieren. Im Falle der Landwirtschaft betrifft dies den Import von Futtermitteln aus globalen Quellen und die gesamte Gesellschaft im Hinblick auf den Import von Nahrung. Im konsumorientierten Ansatz (Consumer based balance) müsste diese Wirkung dem importierenden Staat zugerechnet werden. Einen Export eines Produktionssystems mit anschließendem Import ist nach dieser Methode nur dann sinnvoll, wenn der Importstaat ökologischer produzieren kann als der eigene Staat. Ein Aspekt der für Österreich in der Nahrungsfrage so gut wie nicht vorkommen kann. Die Milchproduktion hat einen komparativen Vorteil und ist „Europameister der Umweltverträglichkeit“, alle anderen Produkte werden zumindest zu den Bedingungen der europäischen Union oder besser (nationale Gesetzgebung, hoher Bioanteil, ...) produziert. Der vorliegende Bericht lehnt Bilanzkosmetik ab.
- Als schwarze Pfeile mit Textelementen → Weiterleitung, wie von der Pfeilrichtung und der Fragestellung vorgegeben.

## 2.6 Zusammenfassung Kapitel 2

Eine sehr hohe Anzahl an Personen der Klimaforschung haben in ihren globalen und lokalen Analysen die Tatsache der Klimaerwärmung gemessen, berechnet, erklärt und in die Zukunft prognostiziert. Erwärmung, selbst bei gleichen Niederschlägen, führt zu höherer Verdunstung und zu geringerer Wasserverfügbarkeit. Diese Gefahr ist in Kärnten präsent und steigt zunehmend. Auch wenn Klimaschutz seine positiven Effekte nicht garantiert in lokale Wirkungen umwandeln kann, so verpflichtet die Entwicklung das Land Kärnten und ihre Bäuerinnen und Bauern zum Klimaschutz. Es gilt nun geeignete Maßnahmen zu finden, die

im funktionalen Klimaschutz praktikabel und wirksam umgesetzt werden können. Für die Auswahl solcher Maßnahmen sind Berechnungsmodelle und Wirkungsanalysen notwendig. Bestehende werden im Kapitel vorgestellt. Mit dem Konzept zur Entwicklung funktionaler Klimaschutzmaßnahmen wird ein neuer Ansatz hinzugefügt. Die nachfolgenden Kapitel werden einige wenige wirksame Maßnahmen hervorbringen.

# 3 Die Nahrungsproduktion in Kärnten

Die Suche nach funktionalen Maßnahmen zum Klimaschutz muss mit einer Analyse der lokalen Gegebenheiten beginnen. Dabei lohnt sich für die Interpretation von Ergebnissen nicht nur ein Blick in die Gegenwart, sondern auch in eine fernere Vergangenheit. Für die Klimaschutzziele hat sich mit dem Gipfel von Paris auch der Begriff Netto-Null-Ziel, auch Klimaneutralität genannt, eingeführt. Dieser Begriff bedeutet, dass ab der Zielerreichung durch Emissionsreduktion, keine zusätzliche Erwärmung entsteht, weil nur so viele Treibhausgase emittiert werden wie auch wieder abgebaut werden können. Die globale Temperatur bleibt dann zwar bei einem neuen Durchschnittswert, etwa  $+1,5^{\circ}\text{C}$ , aber es wird nicht weiter wärmer. Selbst das IPCC geht also z.B. bei der Verbrennung fossiler Energie nicht von einer vollständigen Eliminierung der Emissionen aus. Wie hoch dieser Wert in der physikalischen Einheit  $\text{mWm}^2$  ist, kann mit dem Netto-Strahlungsantrieb NRF ausgedrückt werden.

Beide Konzepte, die Klimaneutralität und NRF können auch auf kurzlebige Treibhausgase ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) übertragen werden. Die erste Art betrifft die Abbaudynamik entlang der Zeitachse die für diese Gase als vollständig angenommen wird und die zweite für die historische Entwicklung. Beide Gase wurden anthropogen entlang der frühen Entwicklungsgeschichte der Landwirtschaft in einem so verträglichen Maß emittiert, dass auch rückwirkend keine zusätzliche Erwärmung nachgewiesen werden kann. Dieses natürliche Niveau darf jedenfalls als verträgliches Zielniveau für die Zukunft angesehen werden. Der Auftrag lautet: Vorwärts in die Vergangenheit!

## 3.1 Historische Daten zur Bestimmung der Netto-Ausgangsposition

Landnutzung und Tierhaltung sind unmittelbar mit N- und C-Kreisläufen verbunden. Beide Aspekte haben Einfluss auf die Emissionen der Treibhausgase ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) und den Effekt des Land-Use-Change. Selbst bei sehr extensiven Verfahren fallen Emissionen an, die als Basis für die Berechnung des Netto-Strahlungsantriebs verwendet werden dürfen.

### 3.1.1 Die Landnutzung

Für eine numerische Analyse historischer Landnutzungen in Kärnten liegen keine Daten vor. Erste theoretisch verwertbare Informationen in Datenform wurden im späten 19. Jahrhundert mit dem Franziszeischen Kataster aufgenommen (Franz I, 1869). Aktuelle Landwirtschaftliche Nutzungsdaten werden jährlich im Mehrfachantrag erhoben (INVEKOS, 2021). Die historischen Daten können einfach unter [www.arcanum.com](http://www.arcanum.com) beobachtet werden. Nachfolgende Analyse beruht auf dem subjektiven Sichtvergleich der historischen und gegenwärtigen Daten:

- An den Talflanken aller Täler, ungeachtet der Exposition, gibt es die heute bestehenden Feldstücke schon im historischen Datensatz. Ursprünglich waren diese viel feiner parzelliert und tragen in der Nähe der Höfe eine Signatur als Acker- oder Gartenfläche. Abgelegene Feldstücke (Huben, Keuschen) werden heute oft von Wald bedeckt. Die Almflächen wurden im Franziszeischen Kataster nicht vermessen. Die Landaufnahme aus der Zeit zeigt aber die typische Schraffur für Almwiesen in viel größerem Ausmaß als heute.
- In den, wenn in den Tälern vorhanden, Talsohlen hat sich die Landschaft im Umfeld der Flüsse und Seen stark verändert. Die Regulierung der Flüsse hat viel zusätzliche landwirtschaftliche Fläche gebracht. Die Veränderung der Feuchtigkeitsverhältnisse dieser Flächen hat nicht quantifizierbare, gegenläufige Entwicklungen hervorgebracht. Natürliche, anaerobe Freisetzungen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden wohl gesunken sein, zugleich hat der Humusabbau, vor allem auf moorigen Flächen, wohl Kohlenstoff freigesetzt.
- Im Umland aller Siedlungen wurden große landwirtschaftliche Flächen in Bauland umgewandelt. Am Beispiel von Klagenfurt zeigt sich z.B., dass die historische Siedlungsgrenze, im Jahr 1829 in der frühen Zeit der Aufnahme, durch den „Ring“ scharf begrenzt war und mit den Siedlungen an der Stadtmauer etwa 1 km<sup>2</sup> betragen hat. Heute hat die Stadt bereits alle umliegenden Kleinsiedlungen aufgenommen und hat eine Gesamtgröße von über 30 km<sup>2</sup>.

Aus der Sicht der Landnahme durch Rodungen kann aus den historischen Daten abgeleitet werden, dass am Beginn oder in einer frühen Phase der Industrialisierung in Kärnten die Landnahme mit Ausnahme der Regulierung von Feuchtgebieten und Flüssen weitgehend abgeschlossen war. Das nächste Kapitel wird einen bedeutenden, schriftlich nachgewiesenen Tierbestand ausweisen, was auch auf die produktive Nutzung der Flächen hinweist. Die Bilanz aus dem Flächengewinn durch Gewässerregulierung (Humusabbau) und die spätere Umwandlung vieler Ackerflächen in Grünlandflächen oder Wald (Humusaufbau) wird als

neutral eingestuft. Freigewordener Kohlenstoff durch Siedlungsbau kann nicht der Landwirtschaft angerechnet werden. Die Bewertung von N<sub>2</sub>O kann nur über aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse, auf lange im natürlichen Kreislauf geführte Flächen, geführt werden. Möglich, dass heute trocken gelegte Flächen vor 130 Jahren im überschwemmten Zeitraum mehr anaerobe N<sub>2</sub>O-Bildung hatten, insgesamt wird der Wert wegen der geringeren N-Konzentration im Boden aber deutlich niedriger gewesen sein.

Abbildung 12: Vergleich der Landnutzung westlich von Spital an der Drau



Beschriftung zu Abbildung 12: Im linken Bild, gezeichnet am Ende des 19. Jahrhunderts, fließt die Drau noch im ursprünglichen Flussbett. Die heute vorhandenen Siedlungen existieren bereits mit nur wenigen Gebäuden. Die große landwirtschaftliche Fläche in der zentralen Tallage wird schon lange geordnet bewirtschaftet. Darauf weisen die geraden Flurgrenzen hin, die Bahn ist bereits vorhanden.

### 3.1.2 Die Tierbestände

Für alle Regionen der Habsburger Monarchie liegen mit dem Band 34, Heft 1, K.K. Statistik (1890) ein fein in Tierarten aufgelöster Datensatz in den historischen Berichtsbezirken vor (Österreichische Statistik, 1890). Die heutige Bezirksdefinition in Kärnten weicht im Detail in der Form ab, dass es heute mehr Bezirke gibt. Klagenfurt Stadt und Villach Stadt sowie Feldkirchen sind jüngeren Ursprungs. Klagenfurt Stadt und Feldkirchen wurden mit dem heutigen Klagenfurt Land im Bezirk Klagenfurt Umgebung vereint. Villach Stadt und Villach Land waren nicht getrennt. Die Auflösung der Daten, aus der Sicht der Bewertung des Bundeslandes, ist nicht von großer Bedeutung. Interessant sind die Bezirke, weil sie den regionalen Wandel der Landwirtschaft in Kärnten in den letzten 130 Jahren dokumentieren.

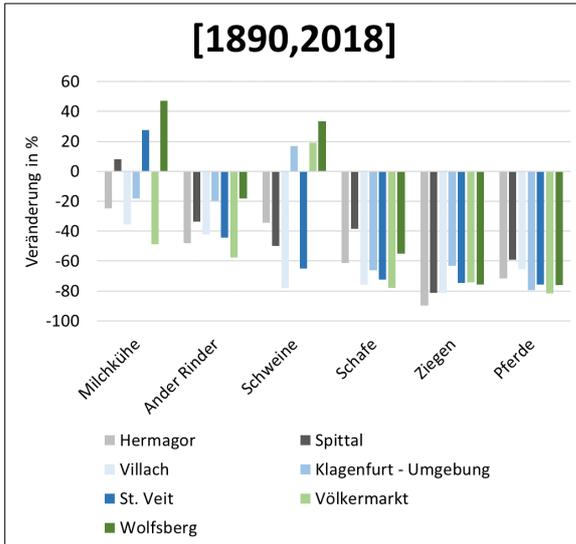
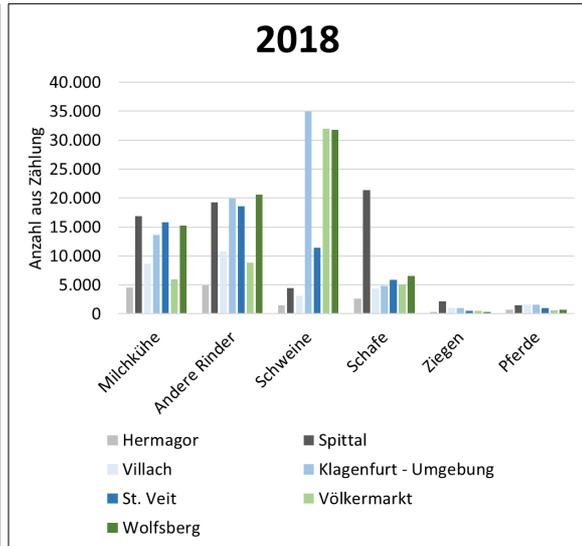
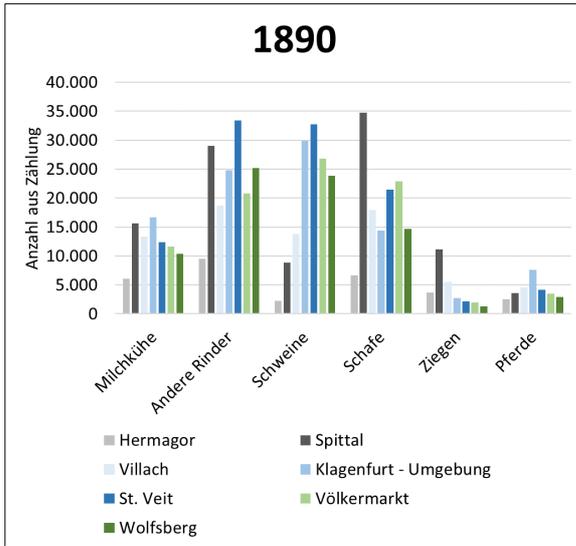
In einer noch in Veröffentlichung befindenden Arbeit wurde das Zählergebnis aus Heft 34 mit Leistungs- und Gewichtsdaten aus der Erfassungszeit in Verbindung gebracht und nach den gültigen Methoden des IPCC bewertet. Vergleichbares wurde mit den Tierzählungsdaten des Mehrfachantrages umgesetzt. Als Basisjahr diente 2018. In *Tabelle 2* werden einige

Eckdaten zur Bewertung dargestellt, die im Anschluss daran noch feiner auf Bezirke aufgelöst werden.

Tabelle 2: Eckdaten der historischen Bewertung der Nutztiere in Kärnten

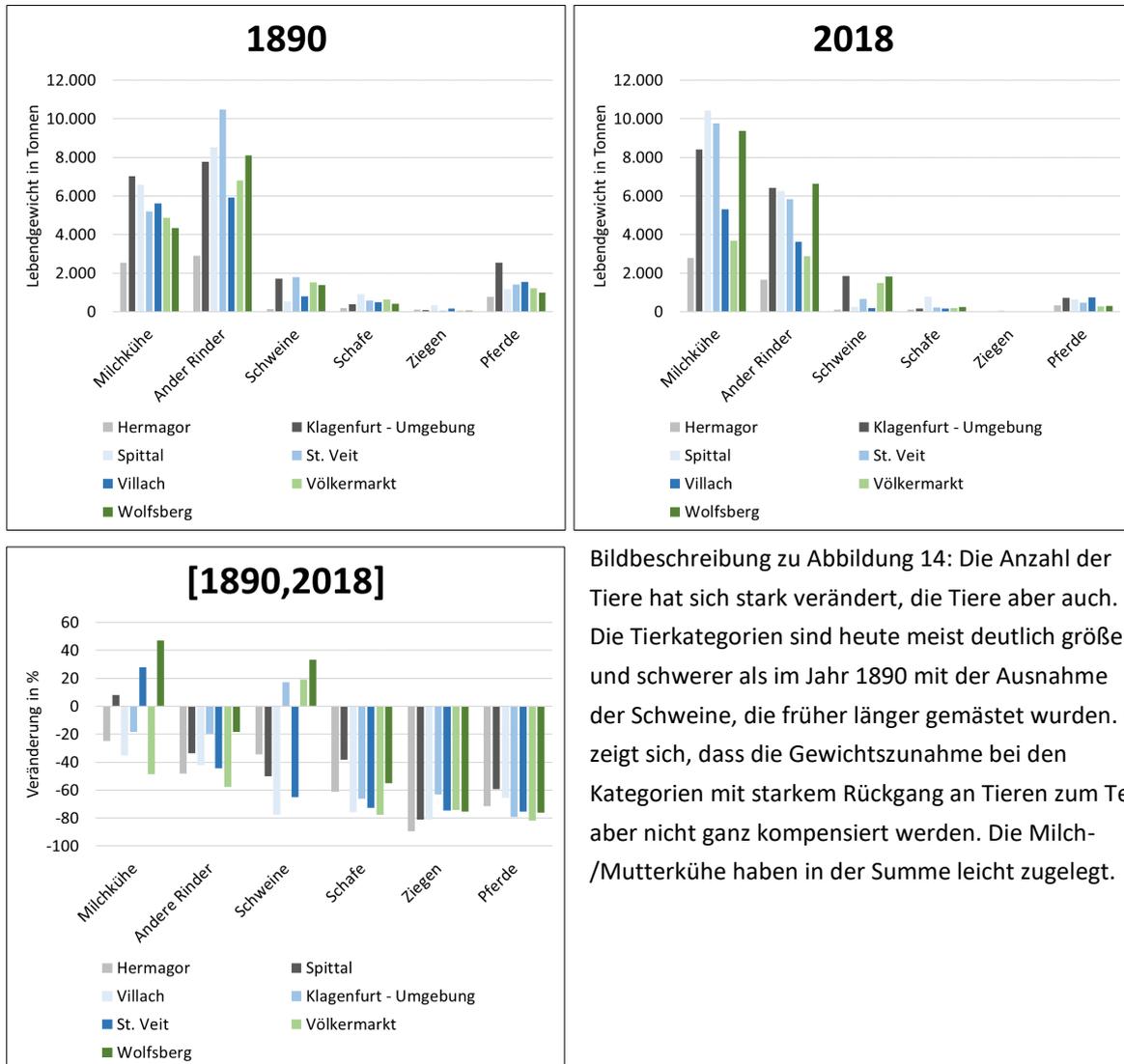
Hauptkategorien*	Anzahl		Lebendgewicht		Futteraufnahme		CH <sub>4</sub> Gesamt	
	1890	2018	1890	2018	1890	2018	1890	2018
	Stück		Tonnen					
Rinder	247.557	183.679	86.624	83.063	759.082	698.117	16.699	16.543
Schafe und Ziegen	161.138	56.651	4.425	2.062	66.267	27.239	1.325	562
Pferde	28.704	7.666	9.662	3.493	78.641	25.355	712	231
Schweine	138.115	119.098	7.850	6.336	98.905	81.942	329	305
<b>Summe</b>	<b>575.514</b>	<b>367.093</b>	<b>108.560</b>	<b>94.954</b>	<b>1.002.894</b>	<b>832.653</b>	<b>19.065</b>	<b>17.641</b>
<p>* Die hier dargestellten Hauptkategorien bestehen 1890 aus 23 und 2018 aus 54 Einzelkategorien. Alle Parameter wurden an die Einzelkategorie angepasst, die hier dargestellten Wert entsprechen somit dem gewichteten Schnitt jeder Hauptkategorie.</p>								

Abbildung 13: Veränderung des Tierbestandes zwischen 1890 und 2018



Bildbeschreibung zu Abbildung 13: Die Abbildung zeigt die Tierbestände in den Bezirken im Jahr 1890 und 2018, sowie die relative Differenz in %. Im Vergleich der Abbildungen zeigt sich der allgemeine, absolute Rückgang der Tierzahlen, die in den Kategorien Anderer Rinder, Schafe, Ziegen und Pferde besonders stark ausgeprägt sind. Bei den Milch-/Mutterkühen und den Schweinen ist die historische Positionierung oft noch sichtbar, was für die besonders gute Eignung des Produktionssystems im Bezirk spricht.

Abbildung 14: Veränderung des gesamten Lebendgewichtes der Tiere zwischen 1890 und 2018

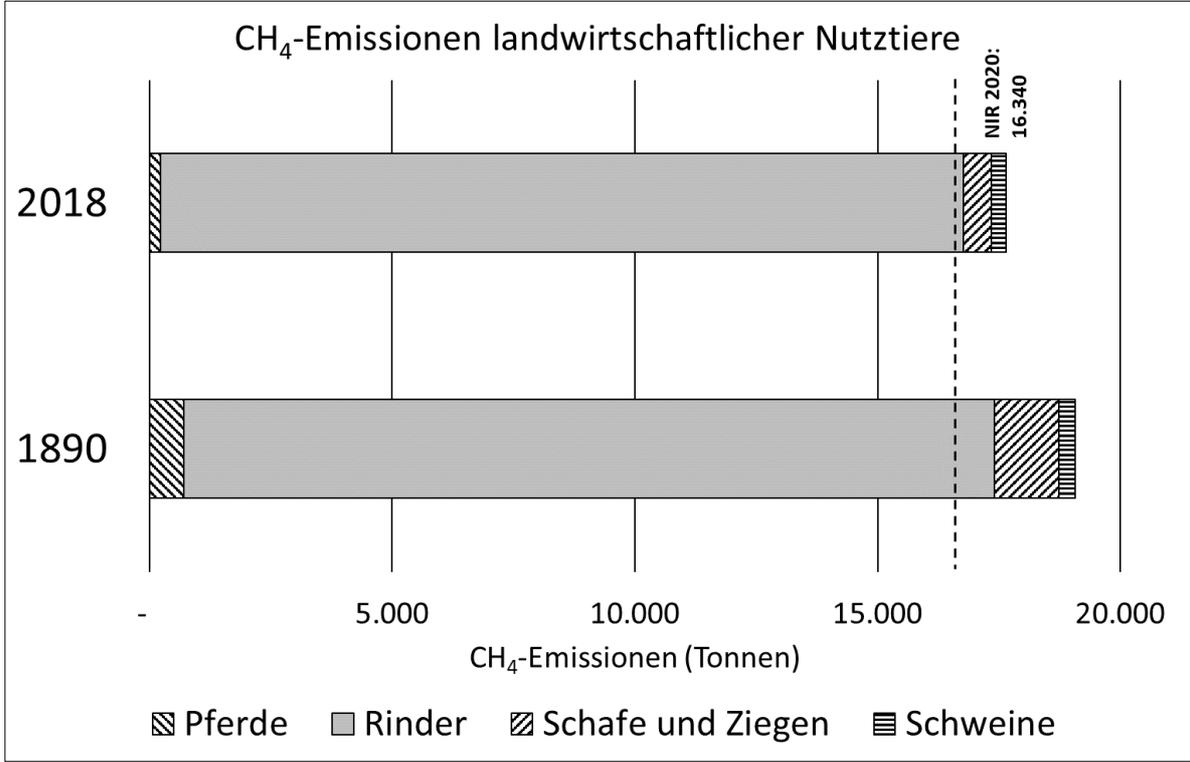


Bildbeschreibung zu Abbildung 14: Die Anzahl der Tiere hat sich stark verändert, die Tiere aber auch. Die Tierkategorien sind heute meist deutlich größer und schwerer als im Jahr 1890 mit der Ausnahme der Schweine, die früher länger gemästet wurden. Es zeigt sich, dass die Gewichtszunahme bei den Kategorien mit starkem Rückgang an Tieren zum Teil aber nicht ganz kompensiert werden. Die Milch-/Mutterkühe haben in der Summe leicht zugelegt.

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen die Ergebnisse der Analyse zu den Daten der Nutztiere. Deren Anzahl hat in vielen Kategorien stark abgenommen. Bei der Kuhherde hat es gerade in Kärnten eine starke Verschiebung von der Milch- zur Mutterkuh gegeben. Dieser Aspekt kann in den erfassten Daten nicht sehr genau berücksichtigt werden, weshalb das Modell, abgestimmt auf ganz Österreich, die Kategorie Milchkühe etwas überschätzt. Dies zeigt sich auch in der finalen Abbildung 15. Diese zeigt uns die CH<sub>4</sub>-Emissionen, die sich über die Zähl- und Leistungsdaten (mehrere Tabellen dazu noch im Anhang) nach den Berechnungsmethoden des IPCC ergeben. Für das Jahr 2018 wurde eine Gesamtmenge von 17.641 Tonnen ermittelt. Die Kalkulation der Bundeslanddaten im UBA-Bericht der Bundesländer

stammen aus dem gleichen Jahr und ergeben dort eine Emissionsmenge von 16.340 Tonnen. Der Überschuss in der Höhe von 8 % erklärt sich leicht durch die Überschätzung der Mutterkühe. Jedenfalls erreicht das Modell aber die Werte des UBA in einem akzeptablen Ausmaß, weshalb auch nicht an den Ergebnissen für das Jahr 1890 gezweifelt werden muss. Dort beträgt die Emissionsmenge an CH<sub>4</sub> mit 19.065 Tonnen jedenfalls um wieder 8 % mehr als im Jahr 2018. Die historische Summe der CH<sub>4</sub>-Emissionen der Nutztiere liegt damit etwas höher als jene der Gegenwart. Bei CH<sub>4</sub> in Kärnten wird ungeachtet der Klimawirkung auf der Emissionsebene bereits ein historisch geringer Wert erreicht. Maßgeblichen Einfluss haben die Tierkategorien Pferde, Schafe und Ziegen, die deutlich zurückgegangen sind.

Abbildung 15: CH<sub>4</sub>-Emissionen der Nutztiere in Kärnten zwischen 1890 und 2018



## 3.2 Die aktuelle Produktion und ihre Umweltwirkungen

### 3.2.1 Übersicht aus den INVEKOS-Daten

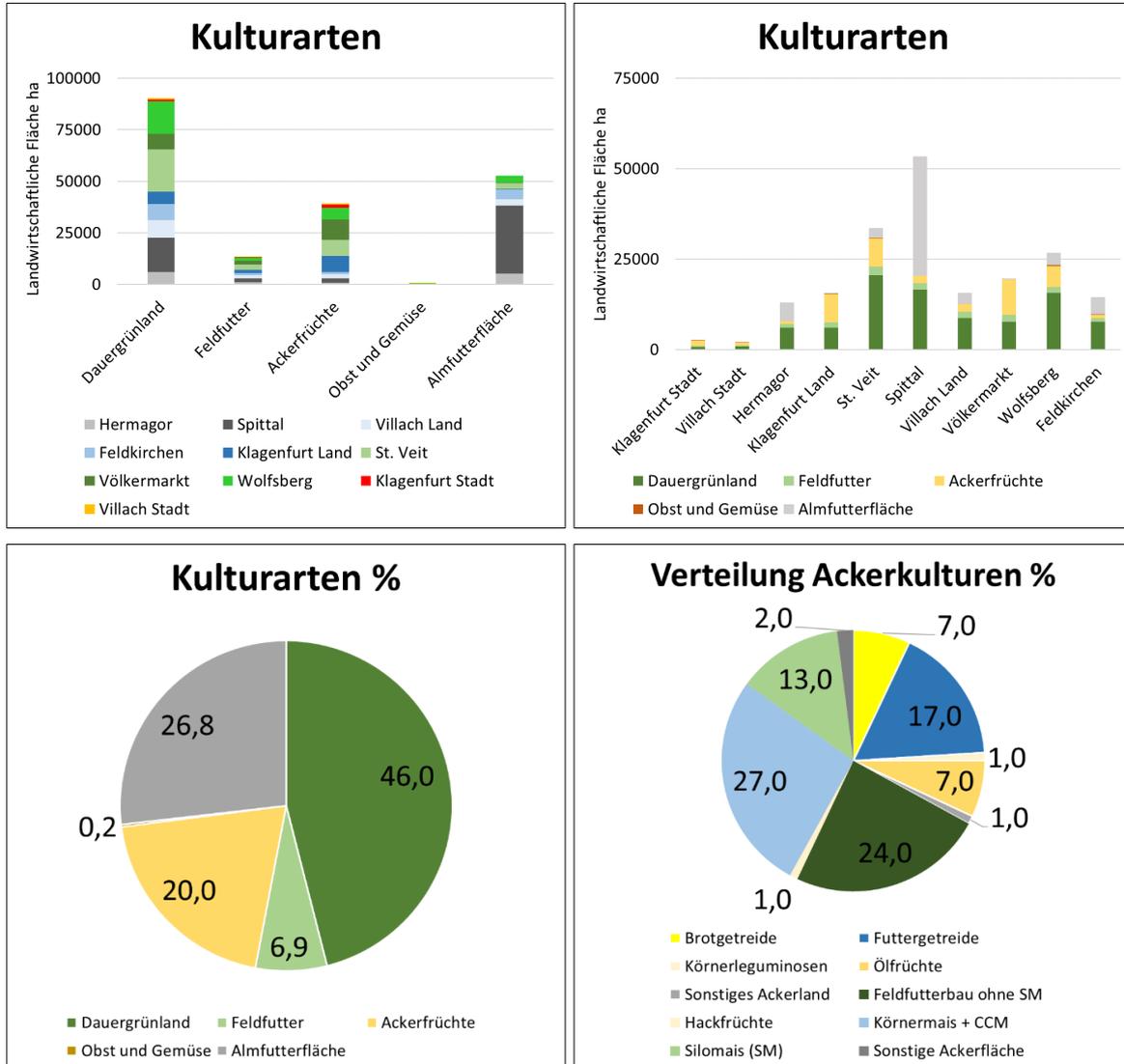
Für die Analyse der bestehenden Produktion in Kärnten werden die Flächendaten des Mehrfachantrags aus dem Frühjahr 2023 verwendet. Die Daten der Haltung von Nutztieren wurden in Kapitel 3.1.2 schon vorgestellt. Diese werden hier noch etwas vertieft.

*Abbildung 16* zeigt die Verteilung der landwirtschaftlichen Flächen in stark gruppierter Form. Die Kärntner Landwirtschaft bewirtschaftet rund 197.000 ha an Kulturfläche. Rund 90.000 ha bestehen aus reinem Grünland in stark variierenden Intensitäten. Dazu kommen noch besonders extensive Kulturflächen wie die Almfutterflächen mit rund 53.000 ha. Die Summe der ackerfähigen Fläche beträgt etwa 53.000 ha, rund  $\frac{1}{4}$  dieser Fläche wird im Rahmen der Fruchtfolge mit Feldfutter bewirtschaftet. Es bleibt eine jährlich nutzbare Ackerfläche von etwa 39.000 ha.

Der Tierbestand, ausgedrückt in Großvieheinheiten (GVE), beträgt über alle Kategorien etwa 186.000 GVE. Rund 86.000 GVE fallen auf die Kategorie Kühe. In Kärnten, das ist eine nationale Besonderheit, besteht die Kuhherde zu mehr als der Hälfte aus Mutterkühen. Der Großteil der über 8.700 nutztierhaltenden Betriebe sind Rinderhalter. Im Antragsjahr 2023 haben in Kärnten 9.887 unterschiedliche Betriebe Flächen im Mehrfachantrag angemeldet. Rund 89 % der Kärntner Betriebe sind Tierhaltungsbetriebe.

### 3.2.1.1 Flächennutzung

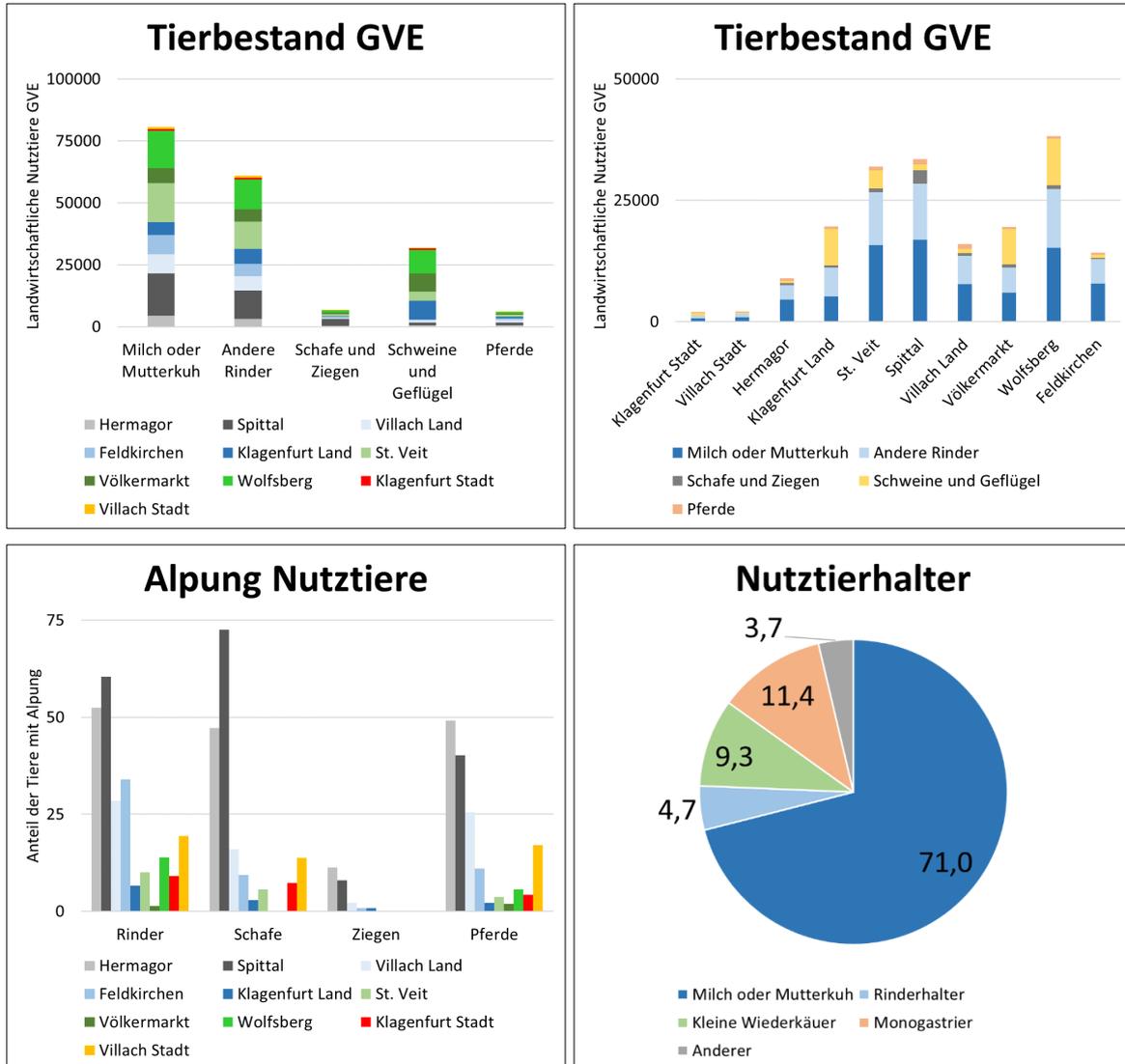
Abbildung 16: Kulturartenverteilung in Kärnten



Bildbeschreibung zu Abbildung 16: Kärnten ist ein Land der Berge. 79,7 % der landwirtschaftlichen Kulturfläche liefert Strukturkohlenhydrate für die Fütterung von Wiederkäuern. 20,3 % der Fläche besteht aus Acker- oder Obstbaufläche. Deren Verteilung ist ungleich zugunsten von Unterkärnten. Oberkärnten ist die Heimat ausgedehnter Almflächen. Die Bezirke St. Veit und Wolfsberg sind besonders produktiv. Im Ackerbau werden zu etwa 16 % Produkte für den direkten menschlichen Verzehr angebaut, 44 % der Fläche wird mit Getreide für die Fütterung von Tieren genutzt. 37 % der Fläche werden entweder aus pflanzenbaulichen Gründen oder wegen der Grenzlage mit Silomais oder Feldfutter genutzt. Die direkte Ausweitung der pflanzlichen Ernährung der Kärntner Bevölkerung ist im Land leicht möglich und eher eine marktwirtschaftliche als eine produktionstechnische Frage. Die Flächen liefern heute vor allem Stärke. Das Potenzial zur Ausweitung der Proteinproduktion als Konkurrenz zur Wiederkäuerhaltung im Berggebiet stößt

im „Konzept zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz der Landwirtschaft“ (Abbildung 11) im Bereich der Ökosystemleistungen rasch an seine Grenzen.

Abbildung 17: Verteilung der Nutztierarten in Kärnten



Bildbeschreibung zu Abbildung 17: Den Kulturflächen folgend ist Kärnten ein Land der Wiederkäuer. 83 % des GVE-Bestandes aller Nutztiere stehen in Verbindung mit dem natürlichen Grünlandbestand in Kärnten. Rund ¼ des GVE-Bestandes wird gealpt. Die großen regionalen Unterschiede in den Bezirken sind Ausdruck der Landschaftsform. Auch wenn kleine Wiederkäuer nach ihrer Kopfzahl bedeutend sind, in ihrer Produktionsdichte haben sie heute nur eine geringe Bedeutung. Der Anteil der Schweinehaltung korreliert mit dem Körnermais und Futtergetreidegebieten.

### **3.2.2 Die Umweltverträglichkeit der gegenwärtigen Produktion**

Neben der grundsätzlichen Struktur der Landbewirtschaftung zählt im funktionalen Klimaschutz auch die Umweltverträglichkeit der Produktionsprozesse. Aufbauend auf die natürlichen Möglichkeiten der Standorte, steht es den Betriebsleitungen der Landwirtschaft grundsätzlich frei ein Produktionssystem zu wählen und es nach eigenen Vorstellungen, innerhalb der Grenzen der nationalen Gesetze, in der Intensität auszubauen.

Für eine umfassende Beschreibung der Umweltverträglichkeit der Produktion hat sich das Werkzeug der Ökobilanzierung etabliert. Der englische Originalbegriff Life Cycle Assessment beschreibt die Methode eigentlich noch besser als der deutsche Begriff. Der Lebenszyklus von Produkten wird dabei nach einer vorherigen Grundsatzdefinition über die Grenzen der Bewertung (Was gehört dazu, was nicht.) umfassend dargestellt. Wir verwenden für die Landwirtschaft in Österreich die „Cradle to Farmgate“ Grenze und meinen damit, dass alles, was die Produktion benötigt und/oder hervorbringt, an der Hoforgrenze bilanziert wird. In die Bewertung fließen alle direkten Ereignisse am Bauernhof, aber auch alle Prozesse bei der Beschaffung von Betriebsmitteln mit ein. Es ist ein Grundsatz, dass dabei sehr feinteilig und vollständig gearbeitet werden muss. Direkte Ereignisse am Bauernhof sind oft Kreisläufe zwischen Boden, Pflanzen und Nutztiere. Diese Kreisläufe haben eine natürliche Dynamik, die durch den Einsatz von Betriebsmitteln noch verstärkt werden kann. Ein Beispiel dafür ist die Verwendung von mineralischen N-Dünger, die sich in den natürlichen N-Kreislauf des Bodens (Mobilisation, gasförmige Emissionen, gasförmige oder staubige Deposition, symbiotische N-Fixierung durch die Pflanzen, Düngung, Entzug, Auswaschung) einordnen, um dort ihre Wirkung, gewünscht ist eine Ertragssteigerung, erbringen. Verluste die unvermeidbar nach den grundlegendsten Gesetzen der Landwirtschaft (z.B. Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses) entstehen, führen tendenziell zu einer Nährstoffanreicherung von N im Grund- oder Oberflächenwasser (Eutrophierung) oder zu gasförmigen Verlusten (z.B.  $N_2O$ ). Für die einzelbetriebliche Ökobilanzierung verwendet die HBLFA Raumberg-Gumpenstein das Betriebsmanagement-Tool FarmLife (Herndl et al., 2016). Wie alle Ökobilanzierungsansätze ordnet sich das Werkzeug international gültigen Normen unter und bringt so auch vergleichbare Ergebnisse hervor. Im Verlauf der letzten 10 Jahre wurden von der Forschungsgruppe Ökoeffizienz der HBLFA Raumberg-Gumpenstein verschiedene Produktionssysteme umfassend oder exemplarisch untersucht. Diese sind:

### **3.2.3 Die Milchproduktion**

Für die Milchproduktion in Österreich wurde im Projekt FarmMilk (Dafne 101316) ein Prognosemodell entwickelt (Guggenberger et al., 2023). Dieses beruht auf einer systematischen

Analyse von 344 Milchviehbetrieben in Österreich, darunter auch eine bedeutende Anzahl aus Kärnten. Das Prognosemodell, bestehend aus dynamischen Gleichungen für 14 Umweltwirkungen, wurde auf alle Milchlieferbetriebe in Kärnten angewandt und hat als Ergebnis *Tabelle 3* hervorgebracht. Viele Ergebnisse der Medianwirkung pro kg FPCM oder pro ha liegen nahe oder sehr nahe an den Ergebnissen, die für Österreich ermittelt wurden. Das bedeutet, dass auch die Interpretation der maßgeblichen Einflussgrößen aus dem Forschungsbericht FarmMilk auf das Bundesland Kärnten übertragen werden können. Im Untertitel heißt es dort: „Milch aus Österreich. Europameister der Umweltverträglichkeit!“

Tabelle 3: Ökobilanzierungsergebnis für die Milchproduktion in Kärnten

<b>Milchsorte: Gesamte Milch</b>								
<b>Lieferbetriebe: Kärnten</b>								
<b>Umweltwirkungen</b>	<b>Wirkungen pro kg FPCM</b>			<b>Wirkungen pro ha</b>				
		1.Quartil	Median	3.Quartil		1.Quartil	Median	3.Quartil
<b>Ressourcenbezogene</b>								
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	MJ	2,0	<b>2,2</b>	2,3	GJ	13,4	<b>16,5</b>	19,5
Phosphorverbrauch	g P	0,04	<b>0,30</b>	0,48	kg P	0,0	<b>2,2</b>	4,4
Flächenbedarf der Produktion	m <sup>2</sup>	1,1	<b>1,4</b>	1,9	ha	1,02	<b>1,11</b>	1,19
Verbrauch blaues Wasser	l	2,0	<b>2,5</b>	3,1	m <sup>3</sup>	13,0	<b>20,3</b>	27,1
Abholzung für die Produktion	cm <sup>2</sup>	1,2	<b>1,6</b>	2,2	m <sup>2</sup>	0,7	<b>1,4</b>	2,1
Exergie	MJ	28	<b>34</b>	43	GJ	258	<b>269</b>	271
<b>Nährstoffbezogene</b>								
Stickstoffeintrag in Wasser	g N <sub>e</sub>	4,5	<b>4,9</b>	5,5	kg N <sub>e</sub>	34,1	<b>38,0</b>	42,4
Phosphoreintrag in Wasser	mg P <sub>e</sub>	68	<b>68</b>	80	kg P <sub>e</sub>	0,51	<b>0,57</b>	0,61
<b>Klimawirkungsbezogene</b>								
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	kg CO <sub>2</sub> 100 <sub>e</sub>	0,85	<b>0,99</b>	1,13	t CO <sub>2</sub> 100 <sub>e</sub>	6,9	<b>7,3</b>	7,9
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	kg CO <sub>2</sub> 100 <sub>e</sub>	0,33	<b>0,36</b>	0,38	t CO <sub>2</sub> 100 <sub>e</sub>	2,4	<b>2,7</b>	3,1
<b>Schadstoffbezogene</b>								
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	g 1,4-DB <sub>e</sub>	2,3	<b>2,6</b>	2,9	kg 1,4-DB <sub>e</sub>	14,1	<b>20,5</b>	26,9
Terrestrische Ökotox., Schwermetall	g 1,4-DB <sub>e</sub>	0,19	<b>0,22</b>	0,25	kg 1,4-DB <sub>e</sub>	1,4	<b>1,7</b>	2,1
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB <sub>e</sub>	0,58	<b>9,28</b>	15,09	kg 1,4-DB <sub>e</sub>	0,6	<b>66,6</b>	135,8
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	g 1,4-DB <sub>e</sub>	0,01	<b>0,24</b>	0,24	kg 1,4-DB <sub>e</sub>	0,00	<b>1,85</b>	4,39

Beschreibung zu Tabelle 3: Die Ökobilanzierung im Projekt FarmMilk erfasst 14 Umweltwirkungen in vier Kategorien. Ressourcenbezogene Wirkungen sind eng mit der Knappheit von Betriebsmitteln verbunden. Nährstoff- und klimawirkungsbezogene Umweltwirkungen stehen eng in Verbindung mit der Dynamik der organischen Prozesse der Natur. Schadstoffbezogene Wirkungen stehen im Zusammenhang mit der Wirkung der Pestizide oder Schwermetalle. Für alle Parameter werden die Ergebnisse auf zwei funktionale Einheiten bezogen. Aus der Produktionslehre der Landwirtschaft stehen sich in den Ergebnissen die Wachstumsgesetze der Landwirtschaft (Economy of Scale) und die Verlustgesetze (Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses) gegenüber. Ihre Wirkung ist pro Produkteinheit (kg FPCM) und in der Landbewirtschaftung (pro ha) oft unterschiedlich. Dargestellt wird auch für jede funktionale Einheit auch das 1. und 3. Quartil. Das hilft, um eine Breite der Streuung zu erfassen. Bei den Umweltwirkungen mit

Klimabezug zeigt sich der große Unterschied zwischen dem Treibhauspotenzial (GWP in kg CO<sub>2e100</sub>) und dem tatsächlichen Erwärmungspotenzial (GTP in kg CO<sub>2e100</sub>). Beide werden später weiter dargestellt. Im Bereich der Milchviehhaltung wird seit mehreren Jahren von der Forschungsgruppe intensiv gearbeitet (Fritz et al., 2020, Grassauer et al., 2021, Guggenberger und Herndl, 2017a, 2017b, Guggenberger et al., 2019, Guggenberger et al., 2016b, Guggenberger et al., 2020a, Herndl, 2012, 2019, Herndl et al., 2016).

Die Erklärung für das günstige Abschneiden der Milchproduktion in der Ökobilanzierung sind die ertragreichen Grünlandstandorte, die in Kärnten noch durch die Ertragslagen des Silomaisanbaus begünstigt werden. Die noch nicht allzu hohen Leistungsziele der von Zweinutzungsrasen dominierten Viehzucht benötigen nicht zu viel Getreide und die Milchbauern liefern adäquate Milchmengen ab. Viele Milchviehbetriebe gewinnen durch die Alping von Jungvieh oder trockenen Kühen etwas an Spielraum für die Produktion und können eine zwar geringfügig, aber doch höhere, Produktionsdichte erzeugen. Zusätzlich wirkt sich der Verzicht auf Importfutter mit hohem Fußabdruck im Landnutzungswandel günstig aus.

Die Analyse der Milchviehbetriebe hat allerdings auch zwei Tendenzen gezeigt: Die starke Mitte wächst auseinander, ein Teil der Betriebe fällt in der Lieferleistung ab, ein anderer Teil intensiviert über die Möglichkeiten der Standorte hinaus. Es wird die Aufgabe des funktionalen Klimaschutzes sein, diese Tendenzen in beide Richtungen einzudämmen.

### **3.2.4 Die Mutterkuhhaltung**

Die Mutterkuhhaltung, besonders in Kärnten sehr bedeutend, wurde mit FarmLife noch nicht umfassend beschrieben. Exemplarisch, wahrscheinlich innerhalb der besseren Hälfte eines in fernerer Zukunft verdichteten Betriebsnetzes für Mutterkühe, zeigt sich das Ergebnis der Ökobilanzierung für die große Mutterkuhherde am Gut Ossiacher Tauern. Die Mutterkuhherde bestehend aus 63 Muttertieren bildet gemeinsam mit den Jungtieren einen Tierbestand von 97,2 GVE. Als Fläche werden rund 50 ha einer Dauerweide bzw. einer zweimähdigen Wiese, sowie ein Almgebiet in den Nockbergen mit einer virtuellen Nutzfläche von 20 ha verwendet. Der Tierbesatz beträgt rund 1,4 GVE/ha. Pro Jahr werden rund 20,5 Tonnen an lebenden Tieren, das sind rund 300 kg Lebendgewicht oder 165 kg Schlachtkörpergewicht pro ha, verkauft.

Für die Bewertung der Mutterkuhhaltung stellt sich in der Ökobilanzierung im Bereich „Goal & Scope“ sehr zentral die Frage nach der Zielfunktion. Dient die Mutterkuhhaltung dem im Landwirtschaftsgesetz definierten Nutzen der Nahrungsproduktion oder definiert sie sich im Auftrag der Landbewirtschaftung (Kulturlandschaftserhaltung)? Wir nehmen das Zweite

an, weshalb sich der Referenzvergleich, für den Betrieb Ossiacher Tauern, der Milchproduktion in Kärnten auch auf die Bezugsgröße pro ha bezieht. *Tabelle 4* zeigt die Ergebnisse also pro ha und vergleicht diese mit dem Median der Milchproduktion in Kärnten. Die Anpassung der Produktionsform an die Flächennutzung wird sichtbar. Eine Untersuchung für die Schaf- und Ziegenhaltung liegt nicht vor, thematisch können diese Produktionsverfahren aber hier eingeordnet werden.

Tabelle 4: Vergleich der Ökobilanzierung der Milchproduktion und Mutterkuhhaltung pro ha

<b>Vergleich Umweltwirkungen pro ha</b>				
<b>Umweltwirkungen</b>		Milchviehbetriebe Median	Ossiacher Tauern Median	Relativ %
<b>Ressourcenbezogene</b>				
Bedarf nicht erneuerbarer Energie	GJ	16,5	8,3	50,5
Phosphorverbrauch	kg P	2,24	0,3	11,6
Flächenbedarf der Produktion	ha	1,1	1,23	111,1
Verbrauch blaues Wasser	m <sup>3</sup>	20,3	5,7	28,0
Abholzung für die Produktion	m <sup>2</sup>	1,4	0,1	9,4
Exergie	GJ	269	254	94,4
<b>Nährstoffbezogene</b>				
Stickstoffeintrag in Wasser	kg Ne	38,0	20,8	54,9
Phosphoreintrag in Wasser	kg Pe	1	0,51	90,4
<b>Klimawirkungsbezogene</b>				
Treibhauspotenzial (GWP 100 Jahre)	t CO2100e	7,34	4,6	62,8
Erwärmungspotenzial (GTP 100 Jahre)	t CO2100e	2,71	1,3	47,8
<b>Schadstoffbezogene</b>				
Aquatische Ökotox., Schwermetalle	kg 1,4-DBe	20,5	5,4	26,2
Terrestrische Ökotox., Schwermetalle	kg 1,4-DBe	1,71	0,5	29,5
Aquatische Ökotoxizität, Pestizide	kg 1,4-DBe	66,64	-	-
Terrestrische Ökotoxizität, Pestizide	kg 1,4-DBe	1,85	-	-

Beschreibung zu Tabelle 4: Die Mutterkuhhaltung am Ossiacher Tauern steht trotz extensiver Wirtschaftsform mit fast allen ausgewählten Umweltwirkungen in Beziehung. Sie setzt sich von der Milcherzeugung pro ha dort sehr stark ab, wo es um den Einsatz von Betriebsmitteln geht. Das betrifft den Treibstoff- und Düngerbedarf ebenso, wie alle mit dem Futterzukauf assoziierten Umweltwirkungen. In den Umweltwirkungen der Nährstoffdynamik und des Flächenbedarfes kommt die Mutterkuhhaltung der Milchproduktion nahe. Höher ist wegen der extensiven Produktionsform nur der Flächenbedarf. Das ist gut so.

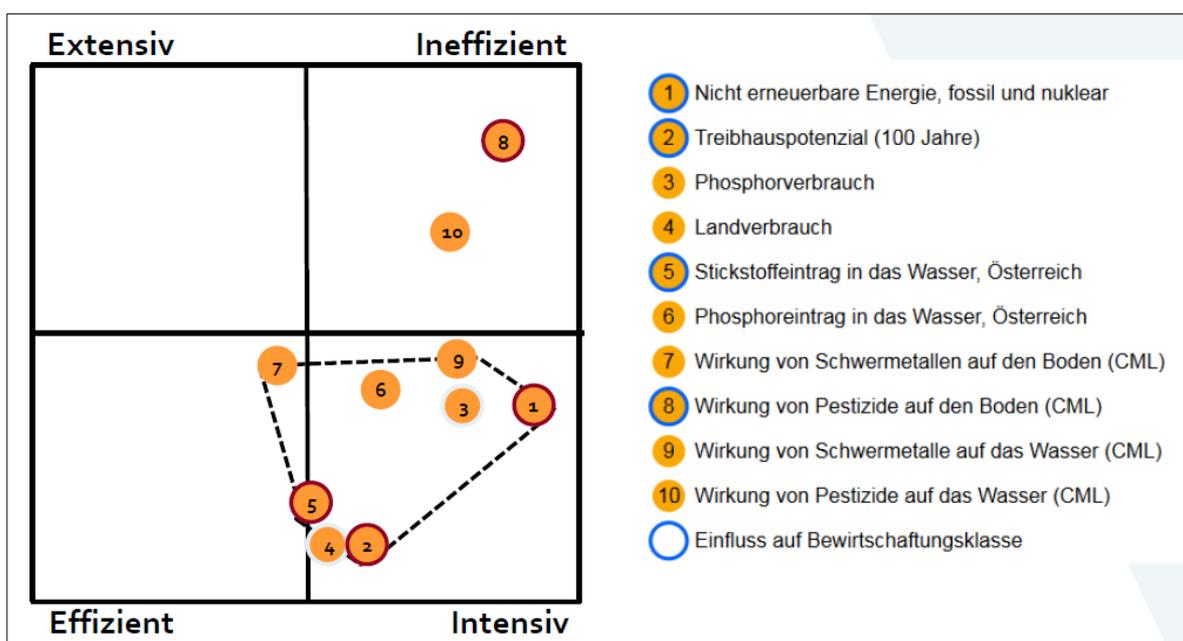
### 3.2.5 Die Schweinehaltung

Ebenso wie für die Mutterkuhhaltung liegt auch für die intensive Schweinemast ein Testdatensatz der Ökobilanzierung vor. Im Jahr 2020/2021 wurde auf 10 Mitgliedsbetrieben des Schweinevermarktungsringes-Süd in Kärnten ein Betriebsnetz errichtet. Die Variation der

Bewirtschaftungsmöglichkeiten ist auf diesen Betrieben groß. Betriebe können sich als spezialisierte Mäster im Rein-Raus-Verfahren etablieren und die notwendigen Ferkel vom Nutztiermarkt beziehen (offenes Verfahren). Ebenso möglich ist eine eigene Ferkelproduktion in die betriebliche Mast zu integrieren (geschlossenes Verfahren). Bedeutend ist dieser Aspekt vor allem deshalb, weil nach dem Cradle to farm-gate-Ansatz in den offenen Verfahren sehr hohe Vorleistungen zugekauft werden. Dies führt, soweit es auf der kleinen Stichprobe zu sehen war, immer zu einer Produktionsverdichtung auf der Fläche.

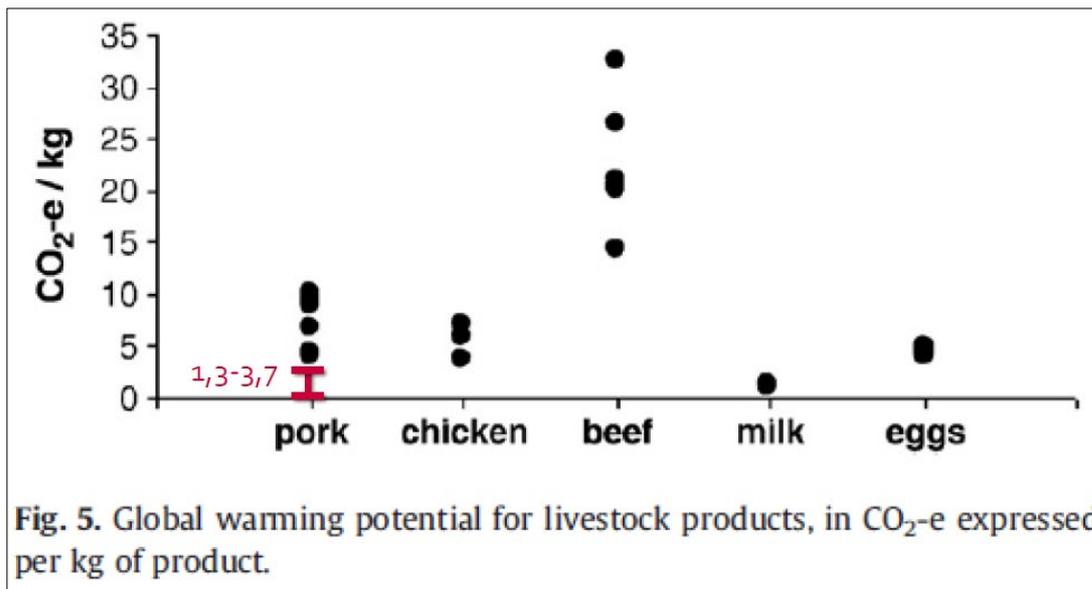
Wie bei der Mutterkuhhaltung stellt sich in der Goal & Scope Definition die Frage nach der Zielfunktion des Produktionssystems. Alle intensiven Mastverfahren können eindeutig der Nahrungsproduktion zugeordnet werden. Besonders bei den Monogastriern, die als Basis ihrer Produktion Marktfrüchte benötigen, erzwingt der Aspekt der Lebensmittelkonversionseffizienz eine Fokussierung auf das Endprodukt Nahrung. Für alle Verfahren ist dabei die stoffliche Transformation von Stärke und Zucker aus dem Ackerbau in human nutzbares Nahrungsprotein mit einer hohen Wertigkeit der Aminosäuren von wesentlicher Bedeutung. Dieser Umbau ist „teuer“, weshalb die stoffliche Wirkungseffizienz bei der Fleischproduktion immer höher ist. Insgesamt, wie in *Abbildung 18* dargestellt, ist die Schweinemast eine über viele Umweltwirkungen hinweg intensive Produktionsverfahren. Das bedeutet, dass Wirkungen pro Nahrungseinheit tendenziell eher klein bleiben, während der Druck der Produktionsverluste auf der Fläche ansteigt.

Abbildung 18: Einordnung der Schweinemast in die Bewirtschaftungsklassen von FarmLife



Im internationalen Vergleich liegen für die Schweinmast nur wenige wissenschaftliche Publikationen als Referenz zur Einstufung der lokalen Produktion vor. Eine Metastudie aus dem Jahr 2010 fasst immerhin einige Arbeiten zusammen und ermöglicht eine grobe Einordnung des FarmLife-Netzes von 10 Kärntner Schweinemästern. M. de Vries und I.J.M. de Boer, 2010 zeigen in ihrer eigenen *Abbildung 5*, hier in dieser Arbeit *Abbildung 19*, die Breite der Ergebnisse des Treibhauspotenzials (GWP in kg CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub>) für verschiedene, tierische Produktionsverfahren. Zusätzlich in roter Farbe eingezeichnet liegt die Bandbreite der Ergebnisse der 10 Betriebe am unteren Ende des Beobachtungsbereiches mit einem Wertebereich zwischen 1,3 und 3,7 kg CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> pro kg Lebendgewicht. Die untersuchten Betriebe performen in ihrer Klimaverträglichkeit sehr gut!

Abbildung 19: Positionierung des Untersuchungsnetzes in der internationalen Literatur (M. De Vries und I.J.M. de Boer, 2010)



Bildbeschreibung zu Abbildung 19: Die Autoren der Abbildung zeigen in ihrer Metastudie die Ergebnisse verschiedener Arbeiten und beziehen sich hier immer auf einen kg des gesamten Produktes (Lebendgewicht, Milch, Ei). Rasch zeigt sich die deutlich differenzierbare Effizienz der Produktion, die sich ja nicht nur in der Umweltwirkung, sondern auch im stofflichen Aufwand zeigt. Die Milch bzw. Eiproduktion ist besonders effizient, weil das erzeugte Produkt nach seiner Bildung direkt abgegeben, und nicht weiter stofflich versorgt werden muss. Jeder Ansatz an lebenden Geweben am Nutztier hingegen, benötigt bis zur Schlachtung eine permanente Grundversorgung. Die Dynamik in der Ansatzkompetenz unterscheidet sich zwischen Schwein und Geflügel nicht sehr stark. Das Rind fällt ab, was vor allem an der mehrstufigen Verdauung liegt. Dass der Unterschied in der Abbildung so stark ausfällt, liegt aber vor allem an der Überbewertung von CH<sub>4</sub> in der Methodik des GWP. Auf der Basis GTP rücken die Verfahren deutlich zusammen.

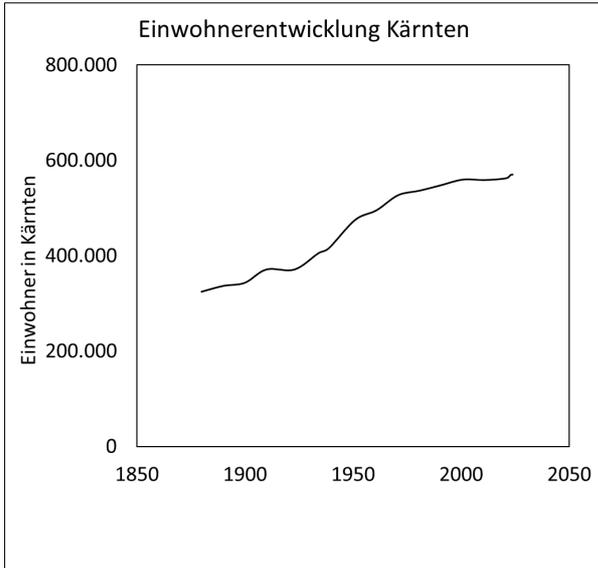
### 3.2.6 Der spezialisierte Ackerbau

Für den spezialisierten Ackerbau in Kärnten liegen keine vertiefenden Untersuchungen vor. Eine maßgebliche Abweichung der Produktion von anderen Ackerbaugebieten in Europa ist nicht zu erwarten.

## 3.3 Regionale Versorgungssicherheit

In Kärnten leben derzeit etwa 570.000 Personen. Das Land, auch wenn in den internationalen Handel eingebunden, hat die Verantwortung, diese Menschen mit Nahrung zu versorgen. Wie gut dies in der näheren Gegenwart gelingt, zeigen die Regionalanalysen im Projekt Dafne 100310 „SUPGIS: GIS als Steuerungs- und Optimierungssystem für die nachhaltige Nahrungs- und Energieversorgung sozialer Gesellschaften“ (Guggenberger et al., 2016c). *Abbildung 21* zeigt Versorgungsregionen in Österreich, die ihren Ursprung in lokal dominierenden Städten haben. In einem geordneten Verfahren versuchen sich diese Städte lokal erzeugte, verdauliche Nahrungsenergie (MJ VE) von den lokalen Bauernhöfen zu sichern. Wenn das Land verbraucht ist, endet die Bilanzierung. Für Kärnten relevant sind dabei die Ausgangspunkte Lienz in Osttirol, Spittal an der Drau und Villach für Oberkärnten, sowie Klagenfurt und Wolfsberg für Unterkärnten. Das Bilanzergebnis in den sich bildenden Zentren sind in *Abbildung 22* dargestellt. Nur die Mikro-Region Wolfsberg erreicht in der Modellierung einen für die Bevölkerung ausreichenden Versorgungsgrad mit Nahrungsenergie. Alle anderen Regionen in Kärnten liegen im Bereich zwischen 56 und 64 %. Das bedeutet, dass in der aktuellen Produktionsstruktur die Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsenergie nur zu 2/3 sichergestellt ist. Da die angebotene Nahrung im hohen Grad aus Milch und Fleisch, besteht ist die Versorgung mit Nahrungsprotein mehr als sichergestellt.

Abbildung 20: Bevölkerungsentwicklung in Kärnten



Bildbeschriftung zu Abbildung 20: Die Bevölkerung von Kärnten ist ab dem Jahr 1880 von rund 325.000 auf rund 570.000 im Jahr 2024 angewachsen. Die Entwicklung ist kontinuierlich mit verschiedenen Gradienten im Zuwachs. Langfristig beträgt die Wachstumsrate etwa ½ %. In den letzten Jahrzehnten flacht die Entwicklung etwas ab. Eine starke Bevölkerungsabnahme, selbst bei sich ändernden demographischen Entwicklungen, ist unwahrscheinlich.

Abbildung 21: Versorgungsregionen

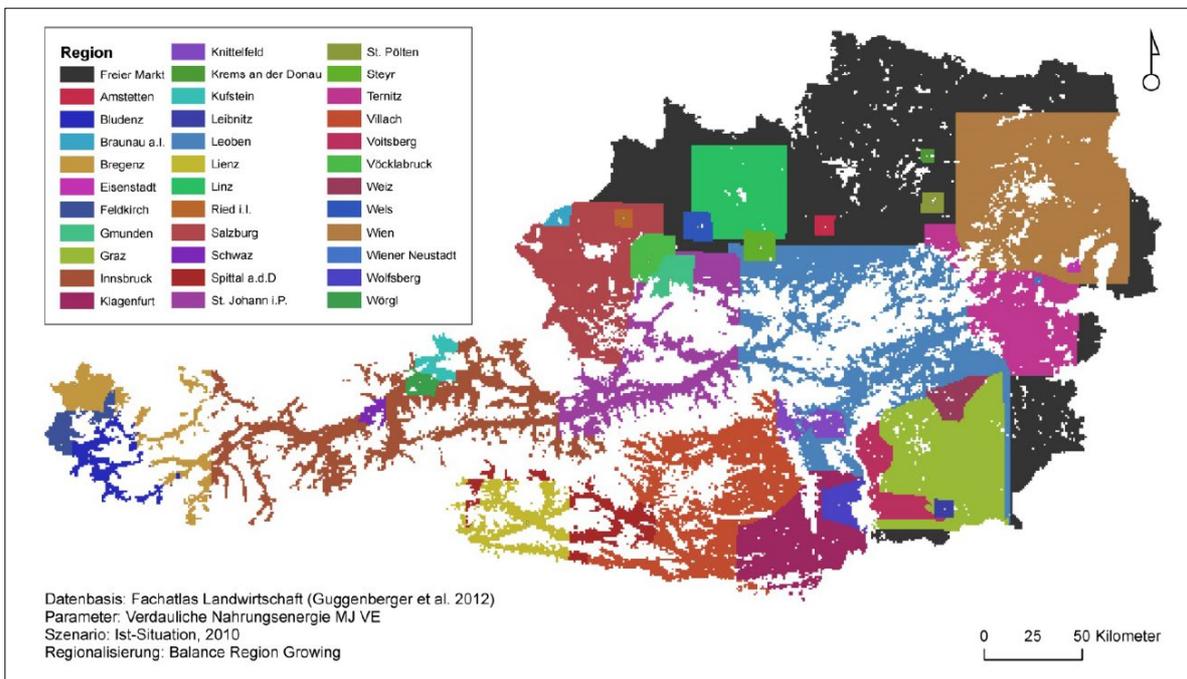
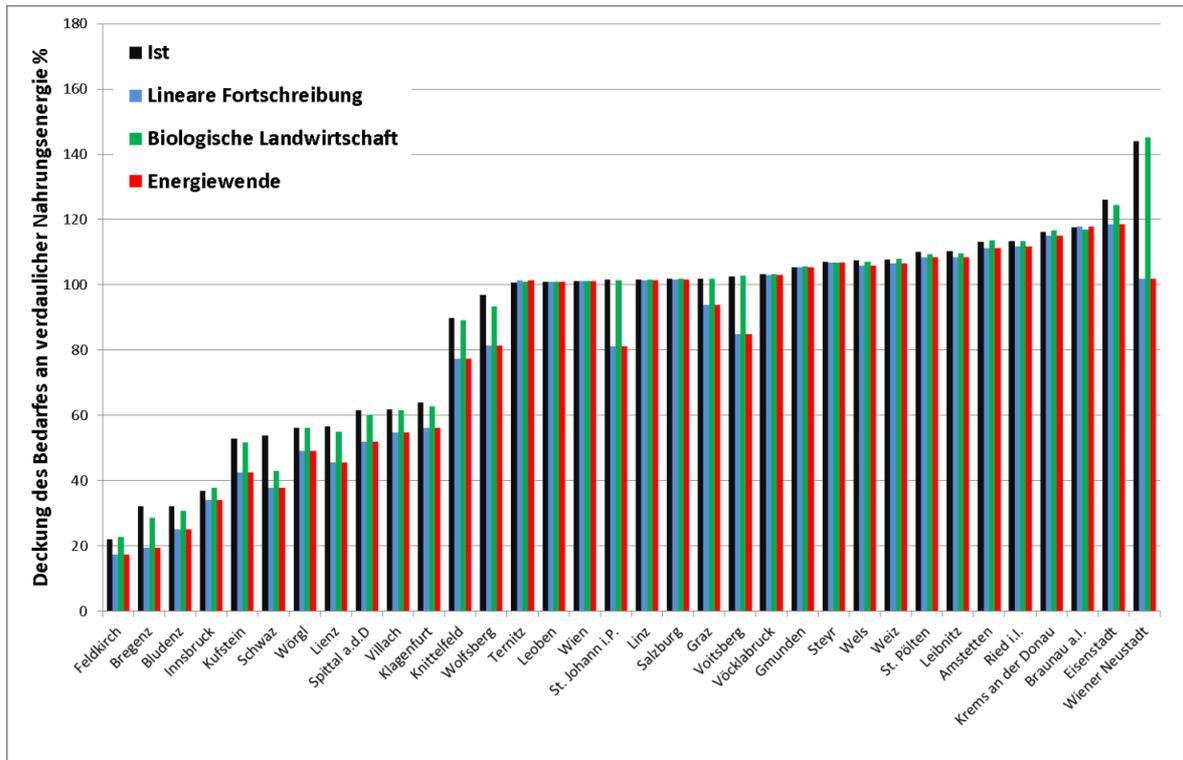


Abbildung 22: Versorgungschancen von Stadtregionen in verschiedenen Szenarien



Bildbeschreibung zu Abbildung 21 und Abbildung 22: Ausgehend von größeren Städten versucht ein GIS-Modell für die lokal lebende Bevölkerung Nahrung sicherzustellen. Das gelingt nur dort gut, wo im weiten Umfeld der Städte fruchtbare Ackerbaulagen vorhanden sind. Im gesamten Berggebiet ist die Fläche schnell verbraucht und die regionale Autarkie ist nur partiell möglich. Im Säulendiagramm wird dabei die Ist-Situation in blau und drei weitere Szenarien in hellblau, grün, rot dargestellt.

### 3.4 Zusammenfassung Kapitel 3

Die Landwirtschaft in Kärnten bewirtschaftet eine historisch gewachsene Kulturlandschaft, die eingebettet in mehr oder weniger breite/tiefe/steile Täler im Wesentlichen vor mehreren Jahrhunderten, entstanden ist. Das jüngste Element der Landgewinnung war die Veränderung der Flusslandschaft im späteren 19. Jahrhundert. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts werden landwirtschaftliche Flächen auf extensiven Lagen manchmal in Wald oder in Gunstlagen in Bauland umgewandelt. Den Flächen folgen die Tierbestände, die im Jahr 1890 genau erfasst und mit den Daten aus 2018 verglichen wurden. Angepasst an die jeweilige Produktionsform und ausgedrückt in kg Lebendgewicht halten wir heute um 13 % an Tieren weniger als im Jahr 1890. Dies führt auch dazu, dass die Tierhaltung in Kärnten aus der Sicht des Treibhausgases CH<sub>4</sub> die historischen Emissionen aus dem Jahr 1890 bereits um 8 % unterschritten hat. Die Tierhaltung in Kärnten findet vor allem Futter für Wiederkäuer vor.

79,7 % der Fläche liefern Weidegras, Heu, Grassilage oder Silomais für die Fütterung der Wiederkäuer.  $\frac{3}{4}$  aller Tiere (GVE) in Kärnten sind Rinder, 3,5 % Schafe oder Ziegen und 3,4 % Pferde. Schweine und Geflügel bilden den Rest des Tierbestandes und haben einen hohen Anteil in der Verwertung der Ackerfrüchte, die von Körnermais und Futtergetreide dominiert werden. Die durch die Topografie erzwungenen Konstellationen aus Tieren und Feldern erzeugt einen dominanten Produktionsanteil an Milch und Fleisch. Die Ökobilanzierung zeigt, dass alle Produkte die direkt dem Nahrungszweck zugeordnet werden, mit hohen Standards sehr umweltverträglich erzeugt werden. Extensive Verfahren, die der Landwirtschaft dienen, werden ihrem Auftrag der Flächennutzung ebenso verträglich gerecht. Der hohe Grünlandanteil führt in der Produktion zu einem hohen Grad in der Versorgungssicherheit der Bevölkerung mit Protein bei einem bedeutenden Mangel an Nahrungsenergie. Topografisch bedingt, lässt sich ein Ausgleich nur partiell über die Gunstlagen herstellen.

Kärnten hat eine historisch entstandene Landwirtschaft mit effizient ineinandergreifenden Wirkungsmechanismen. Die im internationalen Spitzenfeld liegende Umweltverträglichkeit der Produktion bietet der Bevölkerung qualitativ hochwertige Nahrung. Die ausgeglichene Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsenergie bzw. Nahrungsprotein ist möglich, benötigt aber noch Anpassungen in der Verwertung der Erträge aus den Ackerbaugebieten.

## 4 Treibhausgase: Bewertung, Grenzen

Die bisherigen Kapitel signalisieren einen gesamtgesellschaftlichen Handlungsbedarf zum Klimaschutz (Kapitel 2) der in Kärnten auf eine stabile, umweltgerechte Landwirtschaft trifft (Kapitel 3). Diese Landwirtschaft wird, wie alle Sektoren, derzeit aufgefordert ihren Anteil am Klimaschutz zu leisten. Als zentrales Signal positioniert die Gesetzgebung der EU einen verpflichtenden Pfad für die zukünftige Emissionsentwicklung. Die Mitgliedsstaaten haben vereinbart, diesem zu folgen. Die Umsetzungskraft entsteht aus der Lenkungs kraft von Zahlungen, die bei einer Überschreitung von Maximalmengen fällig werden. Ihre über die Jahre zunehmende Zahlungslast soll klimaschädigende Produktionsverfahren vom Markt verdrängen. Schonendere Technologien, auch wenn sie mehr kosten, können sich durchsetzen. Gleichzeitig füllen die Zahlungen ein Konto, sodass gezielte Maßnahmen auch ohne marktwirtschaftliche Verhandlungen gesetzt werden können. Die gewählte Strategie war bisher vielfach erfolgreich, sie wird es auch in Zukunft (in einer Wohlstandsgesellschaft) sein. Die hohe Kunst der Umsetzung hängt an der Definition der Pfade. Deren Bemessung – man erinnere sich an die Erwähnung des Trainingsplanes für Marathonläufer in Kapitel 2 – muss sich an den tatsächlichen Möglichkeiten orientieren oder sie wird so oder so in einer Demokratie scheitern. Intuitiv ist das Jedermannswissen.

Der Grad der Bemessung ist jene Herausforderung, vor der die Landwirtschaft in Kärnten heute steht. Mit -32,7 % für den Sektor Landwirtschaft steht ein, im Vergleich zur zukünftigen Energienutzung, noch moderater Pfad in Aussicht. Trotzdem ist man zu Recht ratlos: 66 % des derzeitigen in Kärnten nach der Methode des Treibhauspotenzial (GWP in CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub>) anfallenden Lasten betreffen das Treibhausgas CH<sub>4</sub> und damit direkt die Wiederkäuer bzw. das Grünland. Für N<sub>2</sub>O, ebenfalls grundsätzlich auf immer messbar, fallen 24 % an. Der Rest von 10 % betrifft die Nutzung fossiler Energie, also jenen Bereich, in dem sich in anderen Sektoren 100 % der Überlegungen abspielt. Partizipiert die Landwirtschaft von diesen Sektoren und spart die Hälfte des Diesels ein, dann bringt das nur 5 % der notwendigen 32,7 %. Im bestehenden System der Metriken ist die Zielerreichung der derzeitigen Pfade nicht ohne schmerzhaften Eingriff in die Welt der Wiederkäuer möglich. Das fällt in Kärnten nach dem Studium von Kapitel 3 schwer und fühlt sich intuitiv auch falsch an. Vielleicht ist es aber auch falsch! Darf man das fragen? Man muss, wie *Tabelle 5* demonstriert.

Emissionsmengen pro Sektor und Jahr können als Sachbilanz recht verlässlich ermittelt werden. Die Herausforderung besteht darin, der Sachbilanz eine Wirkung in der Umwelt zuzuordnen. Diese Wirkung besteht bei den Treibhausgasen darin, dass sich durch die chemische Veränderung der Atmosphäre mehr Energie aus verschiedenen Quellen (Sonneneinstrahlung und Rückstrahlung) hält und so die Energiebilanz der Erde ansteigt (Treibhauseffekt). Die Einheit für diese Bilanz ist die Einheit Watt als Ausdruck der Leistung. Der gesamte Berechnungspfad für die Wirkung einzelner Treibhausgase wurde in der Publikation „Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich“ abgebildet. Um die Berechnung zu verstehen, benötigt man grundlegendes physikalisches und mathematisches Wissen. In der Alltagsanwendung der 1990iger Jahre erschien dies den Wissenschaftlern wohl zu komplex, weshalb sie als Vereinfachung verschiedene Metriken definierten. Mit dem Treibhauspotenzial (GWP) und dem Erwärmungspotenzial (GTP) standen von Beginn an zwei verschiedene Kandidaten zur Verfügung. Durchgesetzt hat sich International das GWP. Eine Methode, die im gewissen Ausmaß beide Aspekte berücksichtigt, ist die Methode GWP\*.

Wie unterschiedlich das Endergebnis einer Bewertung mit den zwei verschiedenen Metriken ist, zeigt *Tabelle 5*. Diese bewertet die Emissionsmengen der Kärntner Landwirtschaft aus dem Jahr 2020 mit beiden Metriken und stellt die Ergebnisse in den letzten beiden Spalten gegenüber. Das Bild verändert sich dramatisch. Aus der Sicht der Robustheit von Modellen ist das ein vollständiges Versagen. Üblicherweise kämpfen Wissenschaftler in ihren Modellen um Unterschiede in kleinen Prozentbereichen, hier widersprechen sich die beiden Methoden in den Ergebnissen fast vollständig. Um eine Präferenz für die tatsächlich richtigen, wirksamen Maßnahmen zu bekommen, muss eine komplexere Berechnung auf der Basis längerer Zeitreihen angestellt werden. Das wurde für Kärnten im Kapitel 4.1.3 auch durchgeführt. Am Ende geht es nicht darum mögliche Methoden zu prüfen, sondern die richtigen Entscheidungen für eine längere Zukunft zu treffen!

Tabelle 5: Emissionen der Treibhausgase in Kärnten im Jahr 2020 und zwei mögliche Bewertungen

Treibhausgas	Emissionen <sup>1</sup> Tonnen	Wirkung 100 Jahre <sup>2</sup>		CO <sub>2</sub> e <sub>100</sub>		CO <sub>2</sub> e <sub>100</sub>	
		GWP	GTP	GWP	GTP	GWP	GTP
				1.000 Tonnen		%	
CO <sub>2</sub>	72000	1	1	72	72	10,4	23,9
N <sub>2</sub> O	604	273	233	165	141	23,8	46,8
CH <sub>4</sub>	16348	27,9	5,38	456	88	65,8	29,3
				693	301	100,0	100,0

<sup>1</sup> Anderl, M.; Gangl, M.; Lambert, S.; Mayer, S.; Pazdernik, K.; Poupa, S.; Schieder, W.; Stranner, G.; Wieser, M.; und Zechmeister, A. (2022): Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2020, Umweltbundesamt, Wien, 349 S.

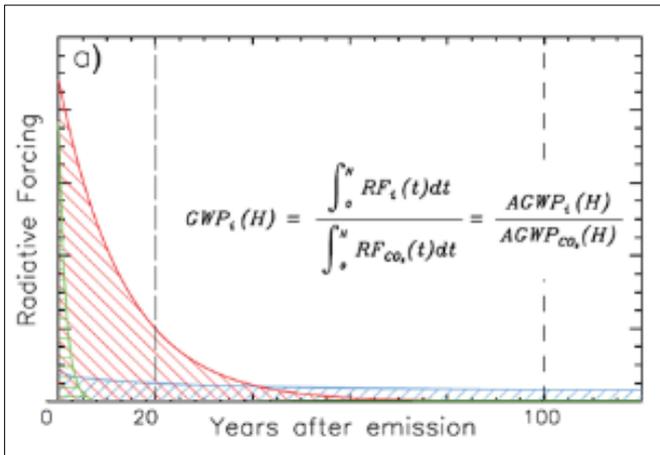
<sup>2</sup> AR6 WGI Report, Supplementary Material

## 4.1 Metriken

### 4.1.1 Global Warming Potential (GWP)

Der Standard beschreibt für jedes Treibhausgas die relative Beziehung der Wirkung auf den Strahlungsantrieb zur Wirkung von CO<sub>2</sub> (Myhre et al., 2013). Als Standardbeobachtungszeitraum dienen 100 Jahre. Unterschiede in der Abbaudynamik von Treibhausgasen führen dazu, dass hohe Restwirkungen des Referenzgases bei zu kurzen Beobachtungszeiträumen unberücksichtigt bleiben. Um den Restanteil der mittleren Lebensdauer von N<sub>2</sub>O oder CH<sub>4</sub> zu erreichen, müsste hier der Beobachtungszeitraum auf 860 Jahre ausgedehnt werden.

Abbildung 23: Grundkonzept der Berechnung von GWP. Abbildung 8.28 aus Myhre und Shine, 2016



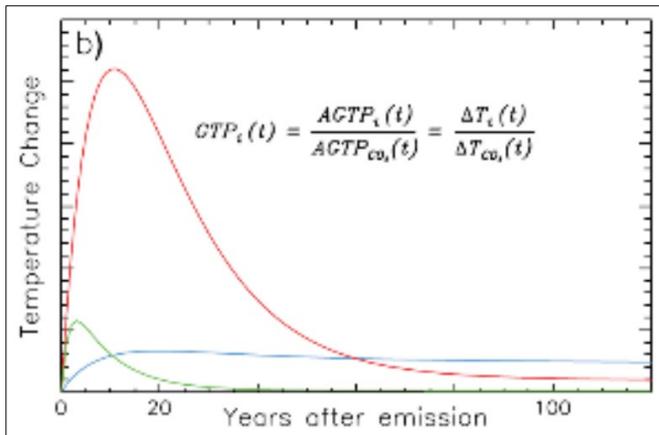
Bildbeschreibung zu Abbildung 23: Die Methode GWP beobachtet den Abbau einer Einheit (z.B. eine Tonne) eines Treibhausgases in der Atmosphäre. Um die Methode zu verstehen, ist es günstig in einem ersten Schritt den grundsätzlichen Verlauf der Kurven in der Abbildung zu analysieren. CH<sub>4</sub> (grün) wird sehr rasch vollständig oxidiert, N<sub>2</sub>O (rot) wird langsamer, aber ebenso vollständig abgebaut. CO<sub>2</sub> (blau) wird nicht vollständig abgebaut, die Restmenge nach 100 Jahren

beträgt immer noch mindestens 55 % der Emissionsmenge. Im zweiten Schritt wird nun die Wirkung eines Gases in der Atmosphäre analysiert. CO<sub>2</sub> hat eine schwache Wirkung, weshalb die blaue Fläche nicht hoch aufragt. CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O sind viel stärker, weshalb die Flächen sehr hoch beginnen, wobei N<sub>2</sub>O in der Originalabbildung um den Faktor 5 reduziert wurde, um in die Abbildung zu passen. Im dritten Schritt wird nun für jedes Treibhausgas die Fläche unter der Kurve vom Zeitpunkt 0 bis zum Zieljahr (20 Jahre oder 100 Jahre) errechnet. Im vierten Schritt wird das Verhältnis der Fläche zwischen CH<sub>4</sub> bzw. N<sub>2</sub>O zur Fläche von CO<sub>2</sub> bestimmt. Derzeit beträgt dieses Verhältnis für CH<sub>4</sub> in 100 Jahren 27,9 und für N<sub>2</sub>O in 100 Jahren 273. Die zentrale Kritik an dieser Methode lautet: Die Methode achtet nicht auf die Chance des vollständigen Abbaus eines Treibhausgases, sondern nur auf die Wirkungsstärke in kurzer Zeit. Der Effekt der Aggregation, eigentlich das Kernproblem der Klimaerwärmung, wird vollständig vernachlässigt, weil es dieser Methode nur um den relativen Wirkungsvergleich der Treibhausgase geht.

#### 4.1.2 Global Temperature Potential (GTP)

Tatsächlich viel wichtiger als eine relative Bewertung ist die Wirkung einer Emission in der Atmosphäre zu beliebigen Zeitpunkten in der Zukunft. GTP liefert zwar wieder eine Verhältniszahl etwa zum Zeitpunkt 100 Jahre nach der Emission, orientiert sich dabei aber am Anstieg der Temperatur.

Abbildung 24: Grundkonzept der Berechnung von GTP. Abbildung 8.28 aus Myhre & Shine, 2016



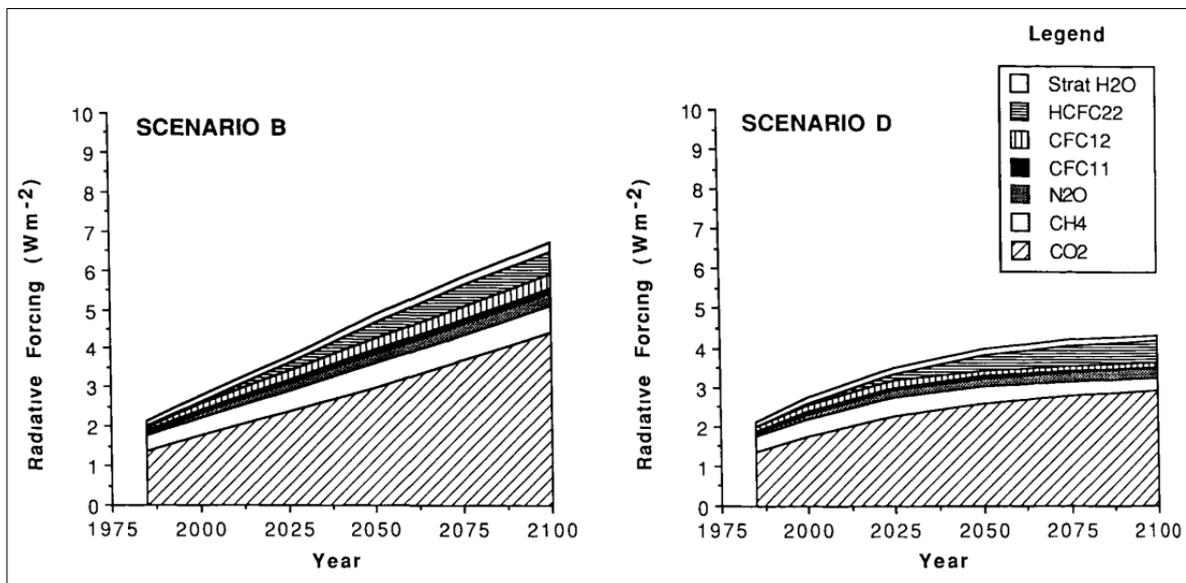
Bildbeschreibung zu Abbildung 24: Wieder wird eine Emissionsmenge (Puls) in seinem Abbau und in seiner physikalischen Wirkung gezeigt. Diesmal folgt die Beobachtung aber nicht der Fläche unter der Linie, sondern der Linie selbst. Der Wert der als Temperaturanstieg ausgedrückt wird, ist am Anfang sehr hoch, nimmt dann aber kontinuierlich ab und kann zum gewünschten Zeitpunkt abgelesen werden. Gase die gut abgebaut werden (vor alle CH<sub>4</sub>)

können diesen Vorteil nun auch zum Ausdruck bringen. Aggregierende Treibhausgase wie CO<sub>2</sub> bleiben auf ihrer kontinuierlichen Wirkung sitzen und werden so viel wirkungsnäher dargestellt. Wieder in ein Verhältnis gesetzt betragen die Faktoren für N<sub>2</sub>O nach der Methode GTP nach 100 Jahren 233 und für CH<sub>4</sub> nur mehr 5,38.

#### 4.1.3 Zeitreihen des Strahlungsantriebs

Um die Verzerrungen aus den bisher dargestellten Metriken vollständig zu vermeiden und Entscheidungsfreiheit zu gewinnen, empfiehlt sich eine Rückbesinnung auf die Urmethode der Klimamodellierung: Das ist der Strahlungsantrieb (Radiative Forcing in Wm<sup>2</sup>) wie er im ersten Klimabericht des IPCC im Jahr 1990 verwendet wurde (siehe *Abbildung 25*) (Houghton et al., 1990). Diese Methode verwendet dieselben grundlegenden Rechenmodelle wie GWP und GTP, benötigt aber zur Bestimmung der gegenwärtigen Wirkungen eine lange, historische Emissionsreihe. In *Abbildung 7* bis *Abbildung 9* wurden solche Emissionsreihen bereits vorgestellt, nun soll damit auch noch der Strahlungsantrieb in vollständiger, dynamischer Form berechnet werden (*Abbildung 26*).

Abbildung 25: Ursprüngliche Form der Präsentation von Szenarien im 1. Bericht des IPCC (Houghton et al., 1990)

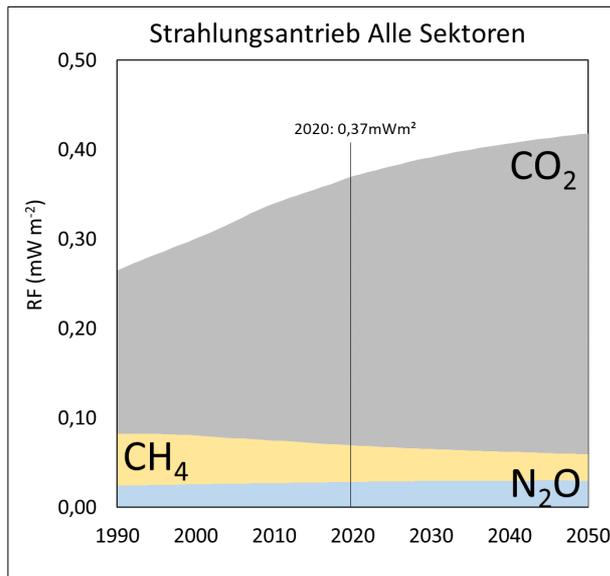


Bildbeschreibung zu Abbildung 25: Darstellung von zwei verschiedenen Szenarien, die sowohl vergangene als auch zukünftige Emissionen in eine Zeitreihe stellen. Es wird erkennbar, wohin Szenario B (weitere Wirtschaftswachstum) und Szenario D (Klimaschutz) führen. Ohne große Kenntnis lässt sich sowohl der absolute Anteil als auch die relative Entwicklung einzelner Treibhausgase ablesen. Wie in Abbildung 2 in dieser Arbeit dargestellt beträgt der tatsächliche Wert im Jahr 2019 nahe dem zuletzt veröffentlichten Wert von +2,72 Wm<sup>2</sup>. Eine Größe die sich in beiden Szenarien aus dem Jahr 1990 schon abgezeichnet hat.

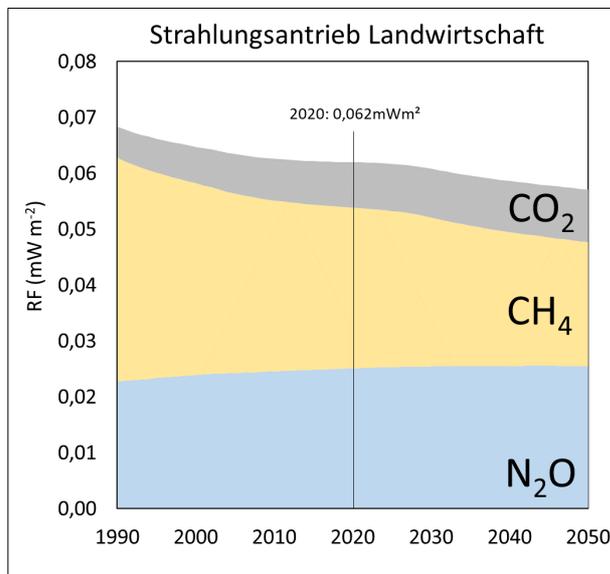
Angelehnt an die Methode aus *Abbildung 25* wird früh in der Geschichte von Kärnten mit der Modellierung begonnen. CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O beginnt mit Werten ab 1770, CO<sub>2</sub> startet mit spürbaren Wirkungen der Industrialisierung im Jahr 1850. Ein Indikator für diesen Zeitpunkt ist die Errichtung des Hauptbahnhofes in der wichtigsten Stadt eines Landes. Jener von Klagenfurt wurde im Jahr 1863 eingeweiht. Ab dem Jahr 1990 wird das Modell mit veröffentlichten Daten des Umweltbundesamtes versorgt (Umweltbundesamt, 2022), für die nähere Zukunft wurde das Modell WAM (Pfade siehe *Tabelle 12*) verwendet. Die Ergebnisse der gesamten Wirkungsanalysen für Kärnten in *Abbildung 26*, links, kommt strukturell nahe an das Ergebnis in *Abbildung 25*, Szenario D des IPCC aus dem Jahr 1990 heran. Zwar unterscheidet sich die Skala der Y-Achse, aber alle Entwicklungen sind vollständig, nachvollziehbar und vor allem auch erklärbar. Die Brutto-Gesamtwirkung im Intervall [1890,2020] beträgt für ganz Kärnten 0,37 mWm<sup>2</sup>. Die historischen Grundemissionen lagen am Beginn der Industrialisierung bei 0,053 mWm<sup>2</sup>. Der Nettozuwachs im Emissionszeitraum beträgt somit 0,317 mWm<sup>2</sup>. Die Zahl ist klein, bei der Größe des Bundeslandes ergibt das aber eine Dauerheizleistung von 3 Megawatt. Der Sektor Landwirtschaft hat in Kärnten im gesamten Zeitraum absolut mit 0,062 mWm<sup>2</sup> zur Erwärmung beigetragen. Absolut ist das etwa 1/6 aller

Wirkungen. Das nächste Kapitel, der Netto-Strahlungsantrieb NRF, wird zeigen, dass der bei weitem größte Teil davon das grundlegende, untrennbare und natürliche Erbe der Landwirtschaft in Kärnten ist. Biologische Prozesse kommen nicht aus dem Nichts!

Abbildung 26: Entwicklung des Strahlungsantriebs aller Sektoren und der Landwirtschaft in Kärnten als Flächensumme von 1990 bis 2050



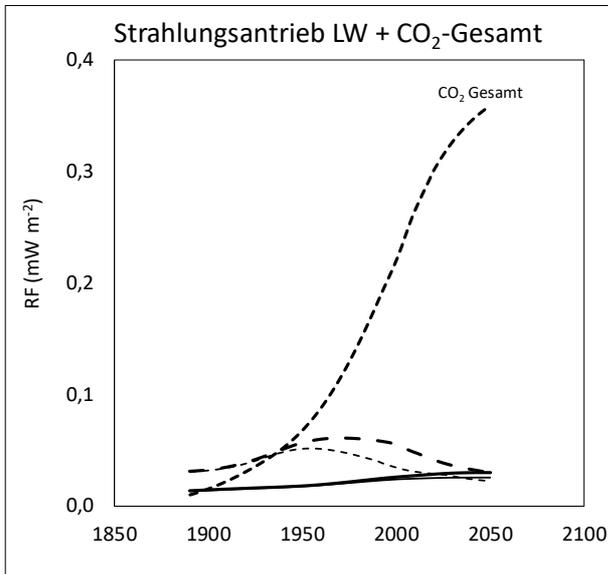
Bildbeschreibung zu Abbildung 26a: Die Abbildung beginnt im Jahr 1990. Seit 150 Jahren wird fossile Energie in großen Mengen verbrannt, weshalb der Anteil an CO<sub>2</sub> schon lange die Entwicklung dominiert. CH<sub>4</sub> kommt aus der Land- und Abfallwirtschaft. Weil die Emissionsmenge laufend abnimmt und die Wirkung schnell nachlässt sinkt der Gesamtanteil permanent. N<sub>2</sub>O nimmt auf niedrigem Niveau immer noch leicht zu.



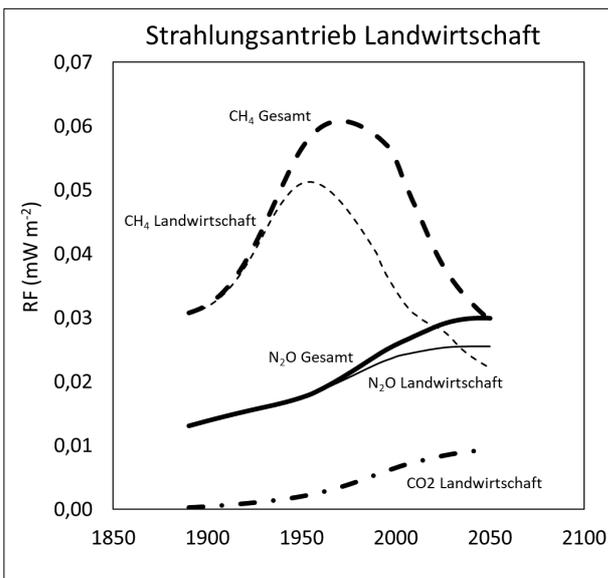
Bildbeschreibung zu Abbildung 26b: In der Landwirtschaft wird ab 1990 eine Entwicklung fortgeschrieben, die zu diesem Zeitpunkt bereits mindestens 40 Jahre andauert. Zugtiere werden durch Maschinen ersetzt, kleine Betriebe, vor allem im Grünland hören mit der Wiederkäuerhaltung auf. Die Wirkungsmenge von CH<sub>4</sub> sinkt in Folge der Entwicklung stark ab. N<sub>2</sub>O stagniert anteilig auf hohem Niveau und liefert schon 2020 anteilig den höchsten Wirkungsbeitrag. CO<sub>2</sub> aus der Mechanisierung holt laufend auf.

Neben der Gesamtwirkung, die in Abbildung 26 durch Flächen dargestellt wird, spielt für das nächste Kapitel vor allem die Entwicklung eine bedeutende Rolle.

Abbildung 27: Entwicklung des Strahlungsantriebs aller Sektoren (a) und der Landwirtschaft (b) in Kärnten zwischen 1890 und 2050



Bildbeschreibung zu Abbildung 27a: Die Verbrennung fossiler Energie aller Sektoren ist die bestimmende Einzelgröße für den bisherigen und zukünftigen Anteil Kärntens an der Klimaerwärmung. Schreiben wir den derzeitigen Grad der Einsparung bei der Verbrennung fossiler Energie bis 2050 fort, so reicht es trotzdem nicht aus, um die Kurve abzuflachen (Netto-Null oder relative Klimaneutralität). Alle anderen Treibhausgase sind in ihrer vergangenen Dynamik oder in ihrer Zukunftsplanung stabil. Sie liegen im unteren Abbildungsbereich übereinander. Ihre Beschriftung und der tatsächliche Verlauf sind in der unteren Abbildung zu erkennen.



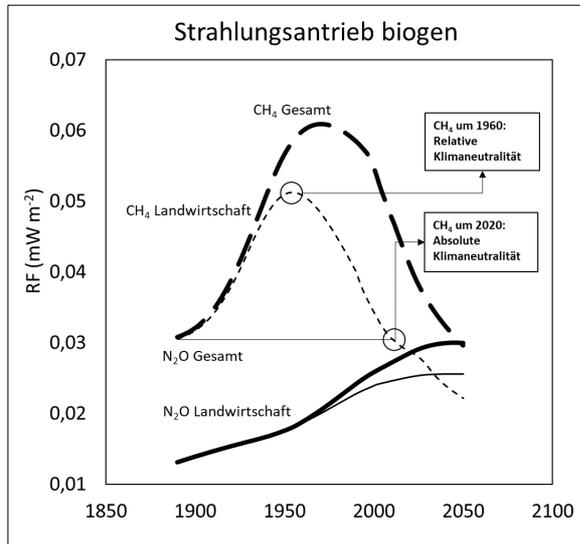
Bildbeschreibung zu Abbildung 27b: Die Abbildung, sie fokussiert sich auf die Treibhausgase  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ , trägt für die Landwirtschaft in Kärnten viel Hoffnung in sich. Die Wirkung von  $\text{CH}_4$  hat sich im historischen Überblick stark verändert. Ab 1890 hat die Wiederkäuerhaltung stark zugenommen, ist aber ab den 1960iger Jahren wieder ebenso stark geschrumpft.  $\text{N}_2\text{O}$  stiege zwar kontinuierlich an, flacht aber nun langsam ab und wird in seiner Wirkung zum Stillstand kommen.  $\text{CO}_2$ , dass in der Landwirtschaft verwendet wird, folgt in der Interpretation, auf niedrigem Niveau, dem Trend aller Sektoren.

## 4.2 Klimaneutralität der Kärntner Landwirtschaft

Ohne Steuerung wird es in wirtschaftsliberalen Ländern Klimaschutz erst dann geben, wenn sich die Behebung der Schäden zu einem neuen Markt entwickelt hat. Das wird vermutlich so spät in der Entwicklung der Klimaerwärmung sein, dass dann mit überproportionalen Kosten zu rechnen ist. Viele Staaten bekennen sich derzeit dazu, das Problem zeitnah zu lösen. Dafür sind das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Veränderung festzulegen. Bei

der Bemessung des Ausmaßes ergeben sich, wie im Eingangskapitel der Definition (*Abbildung 1*) ausgeführt, zwei Möglichkeiten: Entweder man legt eine absolute Höhe der Verträglichkeit (z.B. absolute Klimaneutralität) fest oder man belässt es, wie derzeit von allen europäischen und nationalen Zielen gefordert, bei der Festlegung von Änderungsrate (z.B. relative Klimaneutralität). *Abbildung 28* gibt als zentrale Abbildung in dieser Arbeit Auskunft über das dynamische Wirkungsgefüge biogener Treibhausgase und ermöglicht damit eine tragfähige Argumentation zu den Zielen im Bereich der Klimaneutralität. Für CH<sub>4</sub> zeigt die Berechnung, dass der ursprüngliche Strahlungsantrieb im Jahr 1890, das sind 0,031 mWm<sup>2</sup> um das Jahr 2020 wieder erreicht wird. Der Wendepunkt der Entwicklung liegt um das Jahr 1960. CH<sub>4</sub> Emissionen der Kärntner Wiederkäuer sind damit sowohl absolut als auch relativ klimaneutral. Für N<sub>2</sub>O zeigt sich eine kontinuierlich wachsende nach oben abflachende Entwicklungskurve. Um 2050 kann hier mit entsprechenden Maßnahmen zumindest die relative Klimaneutralität erreicht werden. Die absolute Klimaneutralität, also die Rückkehr zum Ausgangspunkt, wird bei entsprechend geschlossenen N-Kreisläufen, für N<sub>2</sub>O etwa weitere 650 Jahre dauern.

Abbildung 28: Klimaneutralität der Kärntner Landwirtschaft



Bildbeschriftung zu *Abbildung 28*: In der *Abbildung* sehen wir in unterbrochener Linie CH<sub>4</sub> und in durchgezogener Linie N<sub>2</sub>O. Fette Linien zeigen die Gesamtemissionen in Kärnten, dünne jene der Landwirtschaft. Bei CH<sub>4</sub> wurde die relative Klimaneutralität (Netto-Null-Ziele) bereits im Jahr 1960, die absolute Klimaneutralität wurde um das Jahr 2020 erreicht. Es gibt also absolut keine zusätzlichen Wirkungen von CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Landwirtschaft in Kärnten auf die Energiebilanz der Atmosphäre. Bei N<sub>2</sub>O kann absehbar bis 2050 mit den richtigen Maßnahmen die relative Klimaneutralität erreicht werden.

*Tabelle 6* und *Tabelle 7* unterstützen die Argumentation mit Zahlen und Relationen an einigen bedeutenden Punkten der Zeitachse und stellen auch noch den in *Abbildung 1* angeführten Netto-Strahlungsantrieb dar. Dieser dient sowohl zur näheren Erklärung der Klimaneutralität als auch zur Bewertung der wahren Wirkungsanteile der Kärntner Landwirtschaft an der Gesamtentwicklung. Dafür wird zu 5 verschiedenen Zeitpunkten (1890, 1990, 2005, 2020 und 2050) der jeweilige Strahlungsantrieb in *Tabelle 6* angeboten. In *Tabelle 6*

wird schließlich mit den *Formeln 1 bis 3* bewertet. Alle Ergebnisse werden in *Tabelle 7* dargestellt. Das erste Jahr im Zeitraum (1890) gilt dabei als Anfang (siehe *Abbildung 1*). Als Zukunft wird im linken Teil von *Tabelle 7* 2020 und im rechten Teil 2050 dargestellt. Als Differenz kann der Netto- Strahlungsantrieb NRF gerechnet und in absoluter und relativer Form dargestellt werden. Formal wird der Netto-Strahlungsantrieb NRF innerhalb eines Sektors wie in Formel 1 in absoluter und in Formel 2 als Abweichung zum Ausgangspunkt A in % berechnet.

Formel 1: Berechnung des absoluten Wertes des Netto-Strahlungsantriebs im Sektor im gewählten Zeitraum [A,Z] in mWm<sup>2</sup>

$$NRF_S[A, Z] = \sum_{TGH=1}^3 RF_S Z - RF_S A$$

**NRF<sub>S</sub>[A,Z]** = Netto-Strahlungsantrieb im Zeitraum zwischen Anfang (A) und Zukunft (Z) im Sektor S in mWm<sup>2</sup>

**TGH[1,2,3]** = 1 (RF-CO<sub>2</sub>), 2 (RF-N<sub>2</sub>O), 3 (RF-CH<sub>4</sub>)

**RF<sub>S</sub>A** = Strahlungsantrieb zum Zeitraum A im Sektor in mWm<sup>2</sup>

**RF<sub>S</sub>Z** = Strahlungsantrieb zum Zeitraum Z im Sektor in mWm<sup>2</sup>

Formel 2: Abweichung NRF von der Grundlast in %

$$\% \Delta NRF_S[A, Z] = \left( \frac{RF_S Z}{RF_S A} * 100 \right) - 100$$

Formel 3: Relativer Anteil des Netto-Strahlungsantriebs eines Sektors an der Summe aller Sektoren in %

$$\text{Sektoranteil (\%NRFs an NRF[A, Z])} = \frac{\sum_{TGH=1}^3 RF_S Z - RF_S A}{\sum_{S=1}^n \sum_{TGH=1}^3 RF_S Z - RF_S A}$$

**%RNF<sub>s</sub> an NRF [A,Z]** = Anteil eines Sektors an der Veränderung aller Sektoren  
**S** = 1 (Sektor 1), n (Sektor n)

Tabelle 6: Strahlungsantrieb in einigen Beobachtungsjahren

Strahlungsantrieb (Radiativ Forcing RF) mWm <sup>2</sup>							
Jahr	Total	CO <sub>2</sub>		N <sub>2</sub> O		CH <sub>4</sub>	
		Gesamt	LW	Gesamt	LW	Gesamt	LW
1890	0,053	0,010	0,000	0,013	0,013	0,031	0,031
1990	0,265	0,182	0,006	0,024	0,023	0,058	0,040
2005	0,320	0,243	0,007	0,027	0,024	0,051	0,032
2020	0,370	0,301	0,008	0,028	0,025	0,041	0,029
2050	0,418	0,359	0,009	0,030	0,026	0,030	0,022

Tabelle 7: Berechnung des Netto-Strahlungsantriebs als absoluter und relativer Wert für die Landwirtschaft in Kärnten

Zeitraum 1890 - 2020						Zeitraum 1890 - 2050					
Alle Sektoren						Alle Sektoren					
		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Gesamt			CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Gesamt
RF <sub>A</sub> = 1890	mWm <sup>2</sup>	0,010	0,013	0,031	0,053	RF <sub>A</sub> = 1890	mWm <sup>2</sup>	0,010	0,013	0,031	0,053
RF <sub>Z</sub> = 2020	mWm <sup>2</sup>	0,301	0,028	0,041	0,370	RF <sub>Z</sub> = 2050	mWm <sup>2</sup>	0,359	0,030	0,030	0,418
NRF	mWm <sup>2</sup>	0,291	0,016	0,010	0,317	NRF	mWm <sup>2</sup>	0,349	0,017	-0,001	0,365
ΔNRF	%	2.939	127	34	599	ΔNRF	%	3.523	139	-3	689
Landwirtschaft L						Landwirtschaft L					
		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Gesamt			CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Gesamt
RF <sub>AL</sub> = 1890	mWm <sup>2</sup>	0,000	0,013	0,031	0,044	RF <sub>AL</sub> = 1890	mWm <sup>2</sup>	0,000	0,013	0,031	0,044
RF <sub>ZL</sub> = 2020	mWm <sup>2</sup>	0,008	0,025	0,029	0,062	RF <sub>ZL</sub> = 2050	mWm <sup>2</sup>	0,009	0,026	0,022	0,057
NRF	mWm <sup>2</sup>	0,008	0,012	-0,002	0,018	NRF	mWm <sup>2</sup>	0,009	0,012	-0,008	0,013
ΔNRF	%	2.601	91	-6	41	ΔNRF	%	3.022	94	-27	30
Anteil NRF an der Gesamtveränderung						Anteil Landwirtschaft % an allen Sektoren					
		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Gesamt			CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Gesamt
Landwirt.	%	<b>2,5</b>	<b>3,8</b>	<b>-0,6</b>	<b>5,7</b>	Sektoranteil	%	<b>2,5</b>	<b>3,4</b>	<b>-2,3</b>	<b>3,6</b>

*Tabelle 7* ermöglicht folgende, für Entscheidungen zum Klimaschutz in Kärnten maßgebliche Aussagen:

- für CO<sub>2</sub>: Die Landwirtschaft verantwortet bis 2020 einen Anteil von 2,7 % am Netto-Strahlungsantrieb und wird bis 2050 – parallel zur Gesamtentwicklung aller Sektoren – nur mehr einen geringfügigen Anstieg zulassen. Innerhalb des Sektors, ebenso wie in alle Sektoren ist NRF dramatisch angestiegen und wird noch weiter ansteigen.
- für N<sub>2</sub>O: Lachgas ist ein sehr spezifisches landwirtschaftliches Treibhausgas mit langer Abbaupzeit. Bis 2020 hat sich der absolute Strahlungsantrieb von Lachgas etwa verdoppelt, der Anteil von NRF-N<sub>2</sub>O aus Landwirtschaft am Gesamteffekt beträgt 3,8 %. Bis 2050 erfolgt eine Stabilisierung (relative Klimaneutralität) auf diesem Niveau und der NRF-N<sub>2</sub>O sinkt sehr langsam ab.
- für CH<sub>4</sub>: Der Eingangswert von 1890 wird bereits 2020 unterschritten und erreicht deshalb einen negativen Sektoranteil. Damit ist eine absolute Klimaneutralität hergestellt. Die CH<sub>4</sub>-Emissionen der Kärntner Wiederkäuer leisten aus historischer Sicht keinen zusätzlichen Beitrag zur Klimaerwärmung! 2050 wird dieses Ergebnis für alle Sektoren erreicht.
- die Summe: Während es unvermeidlich ist, dass in der Summe aller Sektoren RF noch weiter ansteigt, sinkt der landwirtschaftliche Anteil durch wirksame Maßnahmen von 5,7 % im Jahr 2020, auf 3,7 % im Jahr 2050.

### 4.3 Bilanzierungsgrenzen

Aus der Sicht der Atmosphäre zählt die Summe der Emissionen, aus der Sicht der Verantwortlichen der zurechenbare Anteil. Zurechnung oder Allokation von Schad- und Nutzwirkungen sind ein komplexes Thema mit starkem Einfluss auf den Handlungsablauf. Starre Grenzen oder Grenzen mit wenig Wirkungskraft bremsen auf jeden Fall den Mut zu Entscheidungen und damit die mögliche Wirkung. Folgende Grenzen sind von Bedeutung, wobei ihre Wirkung hier aus der Sicht der Landwirtschaft besprochen wird.

#### 4.3.1 CRF-Sektoren

Im Grundlegendokument zur globalen Bewertung von Treibhausgasemissionen, das sind die „IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (IPCC, 2006, 2019), wurden 6 Emissionsbereiche geschaffen. Diese tragen den Namen CRF-Sektoren (Common Reporting Format), ihre Abgrenzung ist eine Notwendigkeit der Fachmodelle. In *Tabelle 8* werden die

Sektoren und ihre groben Inhalte aufgezählt. Die Namensgebung der Sektoren war nicht glücklich, weil die Begriffe oft sehr nahe an der Definition von Wirtschaftszweigen angelagert sind. Meistens wird das Ergebnis des Bewertungssektors mit dem zu erwartenden Ergebnis des Wirtschaftszweiges verwechselt. Die Landwirtschaft etwa besteht nicht nur aus den in der Tabelle aufgeführten Wirkungsbereichen, sondern hat einen direkten Anteil am Sektor 1, einen indirekten Anteil an Sektor 2 und einen maßgeblichen Anteil an Sektor 4. Die heute üblichen Unterlagen für nationale oder regionale Entscheidungsträger berücksichtigen diesen Aspekt teilweise, aber nicht immer vollständig. Für die Wirtschaftszweige, etwa die Landwirtschaft, ist die Zurechnung des Landnutzungswandels wesentlich. Kohlenstoffspeicherung wird in der Gegenwart oft diskutiert, muss dann aber auch dem Wirtschaftszweig zugerechnet werden.

Tabelle 8: IPCC CRF-Sektoren und Inhalte

Sektor	Name	Inhalte
1	Energy	Verbrennung fossiler Energie, fugitive Emissionen, CO <sub>2</sub> Transport und Speicherung
2	Industrie	Mineralische und chemische Industrie, Metallverarbeitung, Nicht Energieprodukte, Elektronik, Andere
3	Landwirtschaft	Enterische Fermentation, Wirtschaftsdünger, Böden, Kalken, Harnstoffdüngung, Andere Dünger
4	Landnutzungswandel	Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtflächen, Siedlungsbau, Andere Landnutzungen, Holzprodukte
5	Abfall	Feste Abfälle, Müllbehandlung, Verbrennung, Klärwasser
6	Andere	Indirekte Wirkungen

### 4.3.2 Adressaten der Bilanzierung

Obwohl die Aufgaben zum Klimaschutz klar formulierbar sind, könnte die mögliche Aufgabenverteilung in der Gesellschaft aus der Sicht einer in Österreich lebenden Person nicht weiter auseinanderliegen. Es gibt viele Menschen, die still oder aktiv an ihrem eigenen Lebensstil arbeiten um den Klimaschutz voranzubringen. Noch mehr arbeiten durch ihr Verhalten aber dagegen. Zugleich gibt es (noch) Unklarheiten in der Verantwortung. Die allgemeine Verantwortung wurde der Politik und Verwaltung übertragen, die subjektive Verantwortung, also der kategorische Imperativ, liegt still beim Konsumverhalten der Menschen.

Handlungen die von der Bevölkerung als Reaktion auf Veränderungen/Verknappungen ausgelöst werden sind ein großer Unsicherheitsfaktor. Das muss mit bedacht werden!

#### **4.3.2.1 Produzenten**

So gut wie alle Berechnungen und Argumentationslinien, die bisher besprochen wurden, orientieren sich auf die im Staat Österreich aktiven Unternehmen. Als Bilanzierungsgrenze gilt die Bundes- oder hier die Landesgrenze. Wirkungen wie sie in der Ökobilanzierung sehr wohl erfasst werden, können nicht berücksichtigt werden. Das betrifft in allen Sektoren vor allem die Wirkungen von Import und Export von Gütern und Wirkungen. Ein kleines Beispiel für die Landwirtschaft ist die volle Anrechnung der Milchproduktion in Österreich bei einer hohen Exportquote, zugleich aber auch eine nicht Anrechnung von Wirkungen, die mit dem Futterimport für Masttiere einhergehen.

#### **4.3.2.2 Konsumenten**

In der emotionalen, öffentlichen Besprechung von individuellen Zukunftsaufgaben vermischen sich die allgemeine Wirkung und der individuelle Wunsch von Menschen vollständig. Täglich zu beobachten war diese Spanne im Aufeinandertreffen der Klimakleber mit dem morgendlichen Berufsverkehr der Menschen. In einer maximalen Dimension trafen in einem Augenblick sowohl Menschen, die den vollen Vorteil einer reichen Volkswirtschaft ausnutzen und externe Güter aller Art in großen Mengen konsumieren und äußerst verantwortungswillige Personen, die sich so klein und unbequem als möglich gemacht haben. Das Pendel in der Gewichtung schlägt in Österreich leider zum Vorzug des internationalen Konsums aus. Steiniger et al. (2018) haben die nationale Klimabilanz auf der Basis des nationalen Konsumverhaltens bilanziert. Das Ergebnis lag um etwa 1/3 über jenem der produktionorientierten Bilanzierung (Steiniger et al., 2018).

Die Erkenntnis, dass wir auch wenn wir national Bilanzieren doch global Konsumieren, wurde in das Konzept zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz der Landwirtschaft (siehe *Abbildung 11*) über die Nutzung von Ergebnissen der Ökobilanzierung aufgenommen. Für Entscheidungen gilt folgende Regel: Externalisierung von Leistungen müssen zu einer Minimierung der Gesamtlast führen, oder sie soll nicht umgesetzt werden.

Formel 4: Mischrechnung für Umweltwirkungen aus regionalen und importierten Produkten

$$UW_K = \frac{(K_R * UW_R) + (K_I * UW_I)}{K_{Ges}}$$

**UW<sub>K</sub>** = Ausgewählte Umweltwirkung pro Konsumeinheit (z.B. Treibhausgase, Energieverbrauch, Landverbrauch, Wasserverbrauch, Nährstoffkreisläufe, Ökotoxizität, ...)

**K<sub>R</sub>** = Konsumierte Menge regionaler Produkte

**K<sub>I</sub>** = Konsumierte Menge importierter Produkte

**K<sub>Ges</sub>** = Konsumnachfrage im Land

**UW<sub>R</sub>** = Umweltwirkung der regionalen Produkte pro Einheit

**UW<sub>I</sub>** = Umweltwirkung der importierten Produkte pro Einheit

Dazu zwei Denksportaufgaben:

- Milch aus Kärnten kann mit einer durchschnittlichen Umweltwirkung von 0,99 kg CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> (GWP) hergestellt werden. Im EU-Raum liegt der Wert höher. Exemplarisch wird hier vom Wert 1,2 ausgegangen. Wenn die Importoption nur der EU-Markt ist, wird also am besten jedes Milchprodukt regional erzeugt. Ist das nicht möglich oder gewünscht, dann wird die globale Gesamtbilanz mit jedem Anstieg der Importquote von 1 % um durchschnittlich 0,2 % schlechter. Korrekterweise müsste diese Last von der regionalen Bilanzierung abgezogen werden. 10 % weniger Milchkühe in Kärnten hätten dann nur einen Nettoeffekt von 8 %.
- Rindfleisch aus der Mutterkuhhaltung vom Gut Ossiacher Tauern – einer sehr extensiven Produktionsform auf Weidebasis auf einem historischen Standort im Berggebiet – erzeugt ca. 27 kg CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> pro kg Jungrindfleisch. Eine ähnliche Produktionsform im globalen Weideland wird vorerst nicht weit von diesem Wert abweichen. Der Transport, vor allem die Einhaltung der Kühlkette, und die Anrechnung des stattfindenden Landnutzungswandels führen am Ende dazu, dass etwa für Importprodukte aus Brasilien der Wert überproportional auf das mindestens 3-fache ansteigt (Hörtenhuber und Zollitsch, 2020). Jeder kg an Rindfleisch aus brasilianischer Produktion der einen vergleichbaren kg aus Kärnten verdrängt, macht den regionalen Effekt vollständig zunichte und müsste bei weiteren Bilanzierungsgrenzen sogar durch zusätzliche etwa 20 % beaufschlagt werden.

## 4.4 Wechselwirkungen Treibhauswirkung

Es gilt: Maßnahmen, die getroffen werden, müssen alle Folgewirkungen aller Treibhausgase und aller Sektoren berücksichtigen. Gut möglich, dass außerhalb der Metrik GWP z.B. die Bilanz der Maßnahme „Biomethanproduktion“ nur einen hauchdünnen Vorteil bringt. Ebenso gut möglich, dass eine Transformation der gesellschaftlichen Ernährung auf eine stark pflanzliche Basis bei der Flächenkonfiguration in Kärnten zu einer Intensivierung der Ackerflächen führen muss und letztlich die dort anfallenden N<sub>2</sub>O-Wirkungen und der Abbau von Humus die Einsparungen bei CH<sub>4</sub> (zumindest in großen Teilen) auslöschen. Diese Wechselwirkungen können auch noch viel tiefer in bestehende Ökosysteme eingreifen und dort ergänzende Wirkungen auslösen.

## 4.5 Wechselwirkungen Ökosysteme

Um mögliche Wechselwirkungen zu prüfen, sollte für die Landwirtschaft zumindest der Report „Ökosystemleistungen und Landwirtschaft – Erstellung eines Inventars für Österreich“ (Götzl et al., 2011) berücksichtigt werden. Das Umweltbundesamt liefert für die Landwirtschaft folgende Indikatoren:

- Kulturlandschaft
- Biologische Vielfalt
- Wasserqualität und Wasserverfügbarkeit
- Bodenfunktionen
- Klimastabilität
- Reduktion der Hochwassergefahr
- Reduktion der Lawinengefahr
- Nahrungsmittelsicherheit
- Genetische Vielfalt

Für alle Inventare (und ihre Indikatoren) wurde festgestellt, dass die Landwirtschaft sowohl eine bedeutende Nutzerin, aber vor allem auch eine Bereitstellerin ist. In diesem Sinne gilt als Entwicklungsziel für alle Inventare das Prinzip „Mehr ist besser!“. Die gesamte nationale Verwaltung und die von ihr mit der Politik entwickelte Legislative in diesem Bereich (Forstgesetz, Wasserrechtsgesetz, Umweltgesetzgebung der Länder, Gesetze und Verordnungen im Bereich Wildbach und Lawinenverbauung, Landwirtschaftsgesetz, ...) unterstützt im

Grunde die Indikatoren und hat ein zwar langsames, aber fein abgestimmtes Instrumentarium entwickelt, um Gesamtziele zu unterstützen und um bestehende Konflikte zu lösen. Dieses Erfolgskonzept war auch Teil der Grundlage für die Ausrichtung der GAP in Österreich. Einschnitte, die sich über geforderte Maßnahmen im Klimaschutz ergeben, müssen fein mit den Indikatoren abgestimmt werden.

## 4.6 Zusammenfassung Kapitel 4

Kapitel 4 klärt eine Liste von Aspekten, die im Kernproblem des Klimaschutzes von Bedeutung sind. Es ist unbestritten, dazu gab schon Kapitel 1 Auskunft, dass Lenkungsmaßnahmen notwendig sind. Wichtig ist, dass die Klimaschutzmaßnahmen in das bestehende Produktionssystem integriert werden können, und dass sie am Ende ohne große Wechselwirkungen ihren Nutzen erbringen. Alle drei Aspekte sehen sich, unabhängig voneinander, vor individuellen Herausforderungen. Lokale Produktionssysteme werden fast immer durch natürliche Rahmenbedingungen festgelegt. Gras braucht Wiederkäuer, Wiederkäuer brauchen Gras. Das eine geht nicht ohne das andere. Eine Veränderung ist hier kein Gradient, sondern ein binärer Schalter. Das gilt auch für Wechselwirkungen, die sich aus den Veränderungen im Ökosystem in innerlandwirtschaftliche Beziehung oder am Markt ergeben. Schnell wird bei genauer Betrachtung die Wirkung einer Maßnahme durch negative Effekte in anderen Bereichen wieder eliminiert. Das gilt sowohl für die Beziehungen der Landwirtschaft zur Natur als auch zur Treibhausgasbilanzierung. Zunehmend mühsam fühlt sich der gesamte Komplex der derzeit gesetzlich verankerten Bewertungsmethoden an. Die sektorale Trennung der Wirtschaftsbereiche bei den Zu-/Abrechnungen und die Wahl der falschen Metrik – GWP kann ihre Aussagen nicht in der atmosphärischen Wirkung bestätigen – zeigen, dass derzeit zwei Aufgaben zu erfüllen sind: Die erste ist die Modernisierung des Bewertungssystems und die zweite eine starke und verständliche Kommunikation durch die Landwirtschaft.

Im guten Glauben, dass Gesetze und Verordnungen nicht nur nach ihrer rechnerischen Bemessung, sondern auch nach ihrem Sinne eingehalten werden, darf folgendes ausgesprochen werden:

1. Als zentralen Grundsatz zum Klimaschutz verfolgt das Völkerrecht, die Verordnungen der Europäischen Union und die nationale Gesetzgebung die Erreichung der Klimaneutralität. Die Definition eines Netto-Null-Zieles bedeutet, dass die zusätzliche Erwärmung der Atmosphäre gestoppt wird. Dies trifft für

- die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kärntner Landwirtschaft nicht zu, weshalb hier wirksame Maßnahmen gesetzt werden müssen.
  - die CH<sub>4</sub>-Emissionen seit langem vollständig zu. Die Wiederkäuerhaltung in Kärnten ist als klimaneutral zu bezeichnen. Sie erreicht seit langem jedes Netto-Null-Ziel. Sogar jenes aus dem Jahr 1890. Im Grunde ist sie damit auch schon vor der Zuteilung von Reduktionsverpflichtungen aus der Berechnung zu nehmen.
  - die N<sub>2</sub>O-Emissionen noch nicht ganz zu. Mit verständlichen und verträglichen Maßnahmen kann das Ziel in absehbarer Zeit erreicht werden.
2. Die international für die Entwicklung von Bewertungsmethoden verantwortlichen Personen müssen begreifen, dass die derzeitigen Hauptmethoden weder richtig noch nützlich sind. Diese Methoden
- verzerren im Falle der vorgeschlagenen Metrik GWP die tatsächliche atmosphärische Wirkung der einzelnen Treibhausgase stark und ignorieren jene Teile einer Emission, die über das zeitliche Ziel der Bewertung hinausragen. CO<sub>2</sub> wird in seiner Natur dadurch vollständig falsch bewertet. Das zeigt der Vergleich mit anderen Metriken oder der Bewertung von Zeitreihen des Strahlungsantriebes.
  - reduzieren durch die starre Abgrenzung von Sektoren die Handlungskraft von sektorübergreifenden Aktivitäten.
  - differenzieren die absoluten Möglichkeiten einzelner Treibhausgase in ihren Zukunftszielen nicht weit genug aus. Neben dem Netto-Null-Ziel wäre für biogene Treibhausgase auch der Aspekt des Netto-Strahlungsantriebes von Bedeutung.
3. Bei der Verpflichtung einzelner Sektoren zu einer Reduktionsleistung, dies geschieht derzeit wohl ohne Prüfung von Teilwirkungen, muss geprüft werden, ob das zugeweilte Reduktionsziel überhaupt möglich ist und welche Konsequenzen damit verbunden sind. Aus derzeitiger Sicht:
- empfehle ich der Landwirtschaft in Kärnten, die vom Rechnungshof empfohlene Zielgröße in der Reduktion aus dem Fokus zu nehmen und im Sinne der Herausforderung lieber mit hoher Intensität an den Maßnahmen zum funktionalen Klimaschutz zu arbeiten.

# 5 Problemlösungskonzepte

Im abschließenden Kapitel 4 wird wie die im Kapitel 2.5 vorgestellte Methode für die Bewertung funktionaler Ziele zum Leben erweckt. Kapitel 3 und 4 haben dafür die notwendigen Informationen bereitgestellt. Hier noch in recht grober Form liefert das aktuelle Kapitel die an den jeweiligen Knoten notwendigen Entscheidungen, um für einzelne Treibhausgase und Produktionsbereiche zu wirksamen Funktionen für den Klimaschutz zu kommen.

## 5.1 Parametrisierung

Aufgeteilt in Produktionsgruppen mit einer gewissen Ähnlichkeit in der Prozessorientierung bzw. Intensität werden die Bereiche Milchproduktion mit der daran gekoppelten Altkuh, die extensiven Produktionsformen der Rinderhaltung (Mutterkuh, Ochsenmast, extensive Qualitätsprogramme Kalbinnen), die intensiven Produktionsformen der Rindermast (Maststier, Kalbin), die Haltung von Schafen und Ziegen ungeachtet der Produktionsrichtung, die Schweine- und Geflügelmast, der Ackerbau, der in spezialisierter oder integrierter Form vorkommt und der Obst und Gemüsebau. Folgende Aspekte und Überlegungen werden dargestellt:

- Bedeutung des THG: Vorkommen des Treibhausgases in der Produktion
- Netto-Null-Emissionen (RF): Allgemeines Ergebnis im Land/Bundesland
- Reduktionsart: Pflicht oder Leistung je nach RF
- Maßnahmen: Praktische Vorschläge zur Erfüllung von Pflicht und Leistung
- Umweltbewertung der regionalen Produktion: Nationale Bewertung der Produktion in der Ökobilanzierung
- Funktionale Einheit: Zielfunktion Nahrungsproduktion oder Landnutzung
- Volle Nutzung regionales Angebot: Entscheidung über die Umweltqualität regionaler oder globaler Produkte
- Selbstversorgung: Aspekte zur Nahrungsmittelsicherheit
- Ersatz durch Import notwendig: Konsequenz der Nahrungsmittelsicherheit
- Vorschlag zur qualitativen Verbesserung im Produktionsprozess:  
Produktionsvorschläge
- Systemleistungen: Leistungen außerhalb der Zielfunktionen
- Folgen der Systemleistungen: Wert der Systemleistungen

- Art globaler Vorleistung: Inputs, die die Produktion aus globalen Quellen antreiben
- Wirkung globaler Vorleistung: Effekte der globalen Vorleistung
- Art der regionalen Vorleistungen: Inputs, die die Produktion aus regionalen Quellen antreiben
- Wirkungen der regionalen Vorleistungen: Effekte der regionalen Vorleistungen

Einteilungen und Zuschreibungen sind nicht immer einfach, weil ergänzende Aspekte eigentlich eine Verfeinerung der Modelle benötigen. Darauf wurde hier bewusst verzichtet, weil teilweise die Evidenz fehlt und der Rahmen dieses Dokumentes überschritten wird.

Tabelle 9: Aspekte zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz für CO<sub>2</sub>

<b>Treibhausgas: Kohlendioxid CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung fossiler Energie</b>						
	Milch inklusive Altkuh	extensive Rindfleischproduktion	intensive Rindfleischproduktion	Schafe und Ziegen	Schwein und Geflügel	Ackerbau
Bedeutung des THG	mittel	gering	hoch	gering	hoch	mittel
Netto-Null-Emissionen (RF)				nein		
Reduktionsart				Pflicht		
Maßnahmen			Technologiewechsel der Antriebe Energieeffizienter Bauernhof Förderung natürlicher Prozesse			
Auswirkung der Maßnahmen auf die Ernährungssicherheit	Haltung	gering	Haltung	gering	Haltung	Konservierung
Umweltbewertung der regionalen Produktion	mittel	gering	hoch	gering	hoch	mittel
Funktionale Einheit	Nahrung	Landnutzung	Nahrung	Landnutzung	Nahrung	Nahrung
Volle Nutzung regionales Angebot	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Selbstversorgung	sicher	sicher	sicher	hoch	hoch	gering
Ersatz durch Import notwendig		nein			produktsspezifisch	
Vorschlag zur qualitativen Verbesserung im Produktionsprozess	Veränderung der Produktionsprozesse zur Reduktion der Importquote				reduziert den Energieaufwand im globalen Transport	
Systemleistungen						
Folgen der Systemleistungen						
Art globaler Vorleistung					Treibstoffe	
Wirkung globale Vorleistung					sehr hoch, im besonderen der Folgewirkung der Produktion (z.B. CH <sub>4</sub> aus Erdgas, Ökotoxizität)	
Art regionale Vorleistung					Erneuerbare Energie	
Wirkung globale Vorleistung					mäßig im Inventar und im Eingriff bei anderen Systemleistungen	
<b>Maßnahme funktionaler Klimaschutz</b>	<b>Energiewende, Optimierung der Produktionsprozesse</b>					



Tabelle 11: Aspekte zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz für CH<sub>4</sub>

<b>Treibhausgas: Methan CH<sub>4</sub> aus der enterischen Fermentation und aus Wirtschaftsdünger</b>				
	Milch inklusive Altkuh	extensive Rindfleischproduktion	intensive Rindfleischproduktion	Schafe und Ziegen
Bedeutung des THG		sehr hoch	ja	
Netto-Null-Emissionen (RF)		ja	Leistung	
Reduktionsart				
Maßnahmen		Natürliche Entwicklung der Tierbestände CH <sub>4</sub> -Reduktion durch Futterzusätze Effizienz der Produktion		
Auswirkung der Maßnahmen auf die Ernährungssicherheit	gering	gering	gering	gering
Umweltbewertung der regionalen Produktion	vergleichbar oder besser unter Berücksichtigung der geeigneten funktionalen Einheit der Ökobilanz			
Funktionale Einheit	Nahrung	Landnutzung	Nahrung	Landnutzung
Volle Nutzung regionales Angebot		ja		
Selbstversorgung	sicher	sicher	sicher	hoch
Ersatz durch Import notwendig		nein		produktspezifisch
Vorschlag zur qualitativen Verbesserung im Produktionsprozess			-	
Systemleistungen	Ökosystemleistungen Landwirtschaft			
Folgen der Systemleistungen	mittel	sehr hoch	klein	sehr hoch
Art globaler Vorleistung			Futtermittel	
Wirkung globale Vorleistung			LULUCF	
<b>Maßnahme funktionaler Klimaschutz</b>	<b>Standortgerechte Landwirtschaft, emissionsmindernde Futterzusätze, Umsetzung der österreichischen Eiweißstrategie (Mengenfrage)</b>			

## 5.2 Umsetzungsaufgaben und Intensität bis 2050

Für alle Pfade in der *Abbildung 11* (Methode für die Bewertung funktionaler Ziele) wurden die Eintragungen der Tabellen durchlaufen, um jene Aufgaben zu definieren, die im funktionalen Klimaschutz des Landes Kärnten umgesetzt werden sollen. Eine graphische Darstellung des Prozesses findet sich in der Zusammenfassung in *Abbildung 30*. Jedenfalls führen die, ob als Pflicht oder Leistung, durchgeführten Aspekte zu folgenden Handlungsaufträgen:

- Energiewende (CO<sub>2</sub>): Umstellung der notwendigen Antriebsleistung oder Prozesswärme auf erneuerbare Energieträger, Energieeinsparung durch Prozessoptimierung.
- Österreichische Eiweißstrategie als Vorleistung zur Beendigung des Futtermittelimportes an Eiweiß- und Ölsaaten (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O indirekt): Umbau der Fruchtfolgen im Ackerbau mit dem Ziel einer autarken Protein-Futtermittelversorgung der Schweine- und Geflügelbetriebe. Umlenkung der industriellen Nebenprodukte der Bioenergieerzeugung in die Wiederkäuerfütterung.
- Reduktion der N-Düngung mit gleichzeitiger Verbesserung der Fruchtfolgen und Bodengesundheit (N<sub>2</sub>O direkt): Reduktion der Düngemengen und Erhöhung der natürlichen und technischen Prozesseffizienz inklusive Bodenschutz.
- Futtermittelzusätze für intensiv genutzte Wiederkäuer (CH<sub>4</sub> direkt): Beimischung von organischen oder anorganischen Substanzen zur Reduktion von Emissionen.
- Standortgerechte Landwirtschaft zur Verbesserung der Produktionsprozesse als allgemeine flankierende Maßnahme: Wie in „Grundzüge der Standortgerechten Landwirtschaft“ vorgeschlagen.

Die genannten Aufträge sind vernetzt und sollen gemeinsam umgesetzt werden. Der Grad der Umsetzung bleibt vorläufig offen, ebenso die vollständige Bewertung der Wirkungsstärke der einzelnen Maßnahmen. Diese sind als Paket zu betrachten, das in der Lage ist, den vom Umweltbundesamt beschriebenen Reduktionspfad WAM (-23 % CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> GWP) bei mittlerer Umsetzungsstärke zu erreichen. Bei einer maximal intensiven Umsetzung kann auch der Pfad WAM+ (-30 % CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> GWP) theoretisch erreicht werden. Die Zeiträume weichen zwar etwas ab, zur Orientierung können die vorgelegten Szenarien aber dienen. Über alle 5 Maßnahmen hinweg wurden die in *Tabelle 12* dargestellten Reduktionspfade verwendet. Zur Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung: Grob abgeschätzt wird es mit den Maßnahmen möglich sein, WAM zu verwirklichen. WAM+ wird nicht vollständig erreicht. Unter Berücksichtigung der bisherigen Argumentation (Methode für die Bewertung funktionaler Ziele, Aspekte der Metrik bzw. der Netto-Null-Bilanzierung) wird dies aber so auch nicht mit Druck angestrebt.

Tabelle 12: Intensität der Reduktionspfade bis 2050

	Reduktion pro Jahr %	
	WAM	WAM+
CO <sub>2</sub>	1,7	2,3
N <sub>2</sub> O	0,4	0,7
CH <sub>4</sub>	0,7	1,0

### 5.3 Wirkungsanalyse

Aufbauend auf der Darstellung von Emissionen im Jahr 1890 bzw. 2020, diese wurden im Kapitel 2.3 als Graphik gezeigt, zeigt *Tabelle 13* zukünftige Emissionen im Jahr 2050 und bewertet diese mit den beiden in Kapitel 4.1 besprochenen allgemeinen Metrik. Zukünftige Emissionen werden dabei sowohl in absoluter Form, als auch als Netto-Form (abzüglich des Basisjahres) dargestellt.

Die Netto-Werte sind bewusst kursiv und klein geschrieben, weil sie hier vor allem zur Kritik an den bestehenden Metriken verwendet werden. GWP überzieht mit seinen hohen Emissionsfaktoren dabei so stark, dass sogar ein stark negatives Ergebnis erzielt wird. Alle zusätzlichen Klimawirkungen der Kärntner Landwirtschaft wären damit aufgelöst, was, wie in *Tabelle 7* zu lesen, nicht stimmt (NRF=0,013 mWm<sup>2</sup> → 30 % über 1890 → 3,6 % aller Wirkungen). GTP kommt der Bewertung von NRF deutlich näher! Deshalb bevorzugen wir diese Metrik auch für die Ökobilanzierung.

Bedeutend für Entscheidungen ist die am Ende jeder Metrik dargestellte Emissionsreduktion in % zum gegenwärtigen Wert. In der Beschreibung zu *Tabelle 13* (unter der Tabelle) wird dies erläutert.

Tabelle 13: Absolute und Netto-Wirkungen

**Wirkungsanalyse Metrik GWP**

Treibhausgas	Emissionen Tonnen				Treibhauspotenzial GWP Tonnen CO <sub>2</sub> e <sub>100</sub>					
	1890	2020	2050		Basis	Gegenwart	Zukunft			
			WAM	WAM+	1890	2020	Absolut		Netto	
			WAM	WAM+	1890	2020	WAM	WAM+	WAM	WAM+
CO <sub>2</sub>	0	72.000	36.000	21.600	0	72.000	36.000	21.600	36.000	21.600
N <sub>2</sub> O	453	604	538	471	123.669	164.892	146.754	128.616	23.085	4.947
CH <sub>4</sub>	19.065	16.348	12.751	11.607	531.914	456.109	355.765	323.838	-176.148	-222.992
Summe					655.583	693.001	538.519	474.053	-117.063	-196.445
Reduktion zur Gegenwart in %							22,3	31,6	116,9	128,3

**Wirkungsanalyse Metrik GTP**

Treibhausgas	Emissionen Tonnen				Erwärmungspotenzial GWP Tonnen CO <sub>2</sub> e <sub>100</sub>					
	1890	2020	2050		Basis	Gegenwart	Zukunft			
			WAM	WAM+	1890	2020	Absolut		Netto	
			WAM	WAM+	1890	2020	WAM	WAM+	WAM	WAM+
CO <sub>2</sub>	0	72.000	36.000	21.600	0	72.000	36.000	21.600	36.000	21.600
N <sub>2</sub> O	453	604	538	471	105.549	140.732	125.251	109.771	19.702	4.222
CH <sub>4</sub>	19.065	16.348	12.751	11.607	102.570	87.952	68.603	62.446	-33.967	-40.124
Summe					208.119	300.684	229.854	193.817	21.736	-14.302
Reduktion zur Gegenwart in %							23,6	35,5	92,8	104,8

Beschreibung von Tabelle 13: Im linken Bereich werden für jedes Treibhausgas die Emissionsmengen in Tonnen, also als Reingas, zum Zeitpunkt 1890, 2020 und 2050 dargestellt. Die Varianten der Spalten im Jahr 2050 beruhen auf einer aktuellen Modellierung des Umweltbundesamtes (Schwaiger et al., 2023). Im rechten Teil erfolgt die Bewertung der jeweiligen Metrik zum jeweiligen Zeitpunkt, wobei die Zukunftsszenarien einmal in absoluter Form und einmal auf der Netto-Basis dargestellt werden. Jede Tabelle besitzt eine Abschlusszeile, in der die Zukunftsszenarien auf der Basis der Ergebnisse aus 2020 normiert und in % angegeben werden. Die Ergebnisse im Bereich „Absolut“ bestätigen den Modellbau. Im Szenario WAM wird eine Reduktion von 23,6 % erreicht, mit WAM+ jene von 35,5 %.

Die Netto-Wirkungen sind exemplarisch und sollen nicht für die Interpretation verwendet werden. Sie zeigen aber die Wirkung der Metriken, diesmal aber im umgekehrten Sinn.

## 5.4 Kommunikation zur Wirkungsanalyse

Wie viele gesellschaftliche Querschnittsthemen, wird auch der Auftrag zum Klimaschutz vollständig von Narrativen dominiert. Es gibt viele Erzählungen, die in Varianten immer wieder ähnliche Punkte aufgreifen. Die Liste ist lang, hier werden drei Punkte dargestellt, die in der Kommunikation mit der Landwirtschaft oft vorkommen.

### 5.4.1 Statement 1: Die gemeinsame Aufgabe

**„Wir haben alle gemeinsam den Treibhauseffekt erzeugt, also müssen die Maßnahmen die getroffen werden, auf alle gleichmäßig verteilt werden!“**

Antwort 1 des Autors: „Mit der Verbrennung jeder Einheit fossiler Energie wird die Atmosphäre für ewige Zeiten weiter erwärmt. Das macht auch uns Angst und wir stellen uns als Landwirtschaft voll hinter die Energiewende. Dabei sind wir Vorreiter, hoffen aber auch auf neue Technologien und in der Gesellschaft geschätzte Aufgaben. Wir reduzieren außerdem die biologischen Treibhausgase Methan und Lachgas. Dafür stehen geeignete Maßnahmen zur Verfügung.“

Sprachform OpenAI: Die Verbrennung fossiler Energien erwärmt die Atmosphäre dauerhaft. Dies besorgt auch die Landwirtschaft, die deshalb die Energiewende unterstützt und darin eine führende Rolle einnimmt. Sie arbeitet auch daran, die Emissionen von Methan und Lachgas zu senken, wofür es passende Maßnahmen gibt. Die Landwirtschaft hofft zudem auf neue Aufgaben, die gesellschaftlich wertgeschätzt werden.

#### **Fakten und Diskussion:**

Seit dem Übergang in das Industriezeitalter hat sich die Atmosphäre über Kärnten pro m<sup>2</sup> um 0,37 Milliwatt erwärmt. Das ist eine kleine Menge pro m<sup>2</sup>. Die Summe beträgt 3 Megawatt. Das erwärmt das Klima langsam, aber nachweislich. Die Studienlage dazu ist erdrückend, das Risikopotenzial vor allem für Dürren ist hoch. Der Anteil der Landwirtschaft an der Erwärmung beträgt über alle Treibhausgase hinweg 5,7 %. Dass dieser Wert niedrig ist, liegt unter anderem daran, dass das Treibhausgas Methan bereits einen geringfügig kühlenden Effekt hat: 1890 haben Rinder, Schafe, Ziegen und Pferde in Kärnten mehr Futter verdaut als im Jahr 2020. Die Kärntner Landschaft wird durch eine bäuerliche Kulturlandschaft geprägt, die schon vor Jahrhunderten entstanden ist. Ihre Wiesen und Weiden machen rund 4/5 aller Felder aus. Ein annähernd ebenso hoher Anteil an Tieren (GVE) nutzt diese natürliche und umweltgerechte zu bewirtschaftende Ressource. ¼ der Tiere verbringt den Sommer auf der Alm. Von den knapp 10.000 Bauern in Kärnten halten knapp 90 % Nutztiere. Etwa 11 % aller Tierhalter haben sich auf die Haltung von Schweinen und Geflügel spezialisiert. Diese Betriebe nutzen einen größeren Teil der Ernten im Ackerland des Kärntner Beckens. Der langjährig zu beobachtende, erhöhende Beitrag der Landwirtschaft zum Klimawandel beruht zu

40 % auf der Verbrennung fossiler Energie und zu 60 % auf der Wirkung von Lachgas. Dieses entstand als Antwort auf die Erhöhung der N-Kreisläufe durch die direkten oder indirekten Erfolge im Ackerbau. Direkte Wirkungen beruhen auf mineralischen N-Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen, indirekte auf der Nutzung der höheren Erträge in der Viehhaltung. Die Kärntner Landwirtschaft bekennt sich zu ihrem Beitrag am Klimaschutz. So wie die gesamte Gesellschaft maßgeblich an der Reduktion der Nutzung fossiler Energie arbeiten muss, wird auch die Landwirtschaft den Treibstoffverbrauch senken und die Möglichkeiten der erneuerbaren Energie ausbauen. Gesunde, gut durchlüftete Böden sind im ureigenen Interesse der Landwirtschaft. Schonende Bodenbewirtschaftung und eine deutliche Reduktion der mineralischen und organischen N-Dünger führen in diesen Böden zu geringeren Mengen an Lachgas. Ein spürbarer Einfluss auf diesen Plan hat die Umsetzung der österreichischen Eiweißstrategie. Mehr eigenes Eiweißfutter und geringere Importe haben einen insgesamt positiven Einfluss auf die Umwelt. Nicht nur in Österreich, sondern auf der ganzen Welt. Kärnten wird weiterhin fest an seinem aktuellen Bestand an Wiederkäuern festhalten. Dessen Emissionsmengen an Methan liegen im oder unter dem Bereich der frühindustriellen Zeit und hat keinen zusätzlichen Beitrag zur Klimaerwärmung geleistet. Eine bedeutende Reduktion scheint jedoch trotzdem durch den Einsatz von Futterzusätzen möglich.

#### 5.4.2 Statement 2: Problemfall Methan

**„Methan der Rinder ist ein starkes Treibhausgas. Unsere einzige Chance zur Klimarettung ist ihre Anzahl rasch zu reduzieren!“**

Antwort des Autors: Methan wird zwar sehr rasch abgebaut, der Effekt wird aber überschätzt. Mit unserem Verhalten bei der Verbrennung von fossiler Energie hätten wir den Vorsprung nach der Tötung aller Wiederkäuer nach 13 Jahren wieder verloren. Methan kann das Klima nicht retten. Viele glauben das, weil die Berechnungsfaktoren für die Bilanzierung mehr als fünfmal so hoch angesetzt sind, als die tatsächlich berechenbare Erwärmung. Um unsere Nahrung auf anderem Weg zu beschaffen, müssten wir außerdem viele Änderungen vornehmen. Das würde andere Schäden am Klima hervorrufen.

Sprachform OpenAI: Das Potential von Methan, das Klima zu retten, wird oft überschätzt, da die Berechnungsfaktoren für die Klimabilanz im Vergleich zur tatsächlichen Erwärmung

fünfmal höher angesetzt sind. Zudem würden alternative Methoden zur Nahrungsbeschaffung notwendig sein, die ihrerseits andere klimaschädliche Auswirkungen haben könnten. Hätte man kein Methan würde der Effekt zudem nur so klein, dass dieser schon nach 13 Jahren wieder durch die Wirkung fossiler Emissionen ausgelöscht wäre.

### **Fakten und Diskussion:**

Um nicht auf dem Pranger zu landen, müssen Widersprüche gegen Glaubensgrundsätze besonders gut begründet werden. Die Hoffnung auf schnelle Rettung, wie im Statement ausgedrückt, beruht auf zwei fehlerhafte Annahmen.

Der erste Irrtum liegt in der Darstellung der Wirkungsanalyse, dass Methan etwa 28-mal stärker wirkt als CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung fossiler Energie. Als Grundlage der Wirkungsabschätzung haben international anerkannte Wissenschaftler die Wirkung von Treibhausgasen auf die Veränderung der Energiebilanz der Atmosphäre (Strahlungsantrieb RF) berechnet. Diese Berechnung berücksichtigt neben den chemischen Eigenschaften der einzelnen Treibhausgase auch deren Dynamik in der Atmosphäre. Nach der Emission wird Methan in maximal 55 Jahren vollständig oxydiert, Lachgas wird von der Strahlungswirkung des Sonnenlichtes in maximal 550 Jahren vollständig aufgelöst. Kohlendioxid jedoch muss wieder in den Kohlenstoffkreislauf der Erde zurückkehren. Das gelingt nach derzeitigem Wissensstand nicht, sodass selbst nach mehreren 10.000 Jahren immer noch bedeutende Wirkungsreste in der Atmosphäre vorhanden sind. CO<sub>2</sub> aggregiert seine Treibhauswirkung, solange es emittiert wird, immer weiter. Die Wirkungsmethode des Treibhauspotenzials (GWP) die als Einheit kg CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> hervorbringt, berücksichtigt zwar die chemischen Eigenschaften der Treibhausgase, schneidet aber bei der Beobachtung der Wirkungsdynamik die Entwicklung nach 100 Jahren ab. Diese Maßnahme pardoniert die zentrale, aggregierende Schädwirkung überproportional. Die Methode des Erwärmungspotenzials (GTP) – dieses beobachtet die tatsächliche Erwärmungswirkung und ist ebenso wissenschaftlich anerkannt – berücksichtigt beide Aspekte und stellt fest, dass das Treibhauspotenzial in 100 Jahren um das 5,2-fache überschätzt wird. Unterscheiden sich zwei gleichwertige Methoden so stark, müssen Entscheidungsträger aufmerksam werden! Weil auch wir unsicher geworden sind, haben wir uns auf die Berechnung langer Zeitreihen des Strahlungsantriebs fokussiert. Diese Methode war die Ursprungsform der Bewertung im ersten Bericht des Weltklimarates im Jahr 1990.

Der zweite Irrtum ist viel einfacher aufzuklären. Die meisten Sprecher, die sich mit diesem Statement äußern, haben keine Beziehung zum Mengengerüst der Methanemissionen. Sie übernehmen in aller Regel Aussagen, die selbst im globalen Kontext fragwürdig sind, ohne Reflexion in ihre lokale Bewertung. Ja, die Methankonzentration in der Atmosphäre steigt laufend an und es gibt eine starke Bindung zum global ebenso ansteigenden Bestand der Wiederkäuer. Zugleich steigt überproportional der Verlust von fossilem Methan aus Bohrlöchern und der Infrastruktur der Energiewirtschaft. Ebenso steigt biogenes Methan aus nicht anthropogener Quelle. Um regionale Maßnahmen zu treffen, muss unbedingt die regionale Situation der Emittenten betrachtet werden.

Die lange Zeitreihe für Methanemissionen der Kärntner Landwirtschaft (Vorlaufzeit 1770 bis 1890, Bewertungszeit 1890 bis 2050) und ihr Strahlungsantrieb zeigt, dass wir selbst im historischen Kontext von einer dauerhaft stabilen Situation ausgehen können. Der Wert liegt 1890 bei 0,031  $\text{mWm}^2$  steigt in Zeiten der Hochblüte der Milchwirtschaft auf etwa 0,050  $\text{mWm}^2$  und sinkt schon lange wieder. Derzeit beträgt der Strahlungsantrieb durch Methan in Kärnten 0,029  $\text{mWm}^2$  und hat damit das historisch sichere Niveau von 1890 bereits unterschritten. Im gleichen Zeitraum [1890,2020] ist die Energiebilanz der Atmosphäre durch die Verbrennung von fossiler Energie von nahe 0 auf 0,3  $\text{mWm}^2$  angestiegen. Der jährliche Beitrag liegt bei 0,002  $\text{mW}^2$ . Würden wir heute alle Wiederkäuer in Kärnten töten, dann würde der absolute Effekt bereits in etwa 13 Jahren wieder durch fossile Emissionen neutralisiert. Ein unter den natürlichen Bedingungen des Bundeslandes viel zu hoher Preis.

Zusätzlich muss der Vorschlag noch aus der Sicht von Folgewirkungen betrachtet werden. Ohne Grünlandbewirtschaftung muss nach einem starken Eingriff in die Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung Ackerland intensiviert werden. Höhere Lachgasemissionen werden den Einsparungseffekt, vor allem aus der Summenwirkung, binnen weniger Jahre überschreiten. Entschließen wir uns die Nahrung zu importieren, müssen wir Produzenten finden, die vergleichbare Produkte zu gleichen oder besseren Standards herstellen können. Alle Untersuchungen von Ökobilanzen zeigen, dass dies nicht möglich sein wird. Das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept zur Problemanalyse hilft mit seiner numerischen Entscheidungsgröße, unter Einbindung weiterführender Aspekte, hier keine Fehler zu machen.

Weil Methan das Klima in Kärnten nachweislich nicht zusätzlich schädigt, kann es dieses auch nicht retten. Statt über die Aufgabe des komparativen Produktionsvorteils der Rinderhaltung in Kärnten zu sprechen, sollten wir lieber über eine sanfte Intensivierung auf Basis der Standortgerechten Landwirtschaft nachdenken. Vielleicht finden andere Regionen in Europa mit uns einen Partner zur Verbesserung der eigenen Situation.

### 5.4.3 Statement 3: Null Emissionen ist das Ziel

**„Wir müssen alle Treibhausgase vollständig verhindern!“**

Antwort des Autors: Die Entscheidungsträger der europäischen Politik vertreten derzeit vor allem die Ansicht, dass wir die Klimaneutralität erreichen müssen. Das bedeutet, dass wir ungeachtet der aktuellen Lage, schon bald keine zusätzlichen Wirkungen mehr freisetzen dürfen (Netto-Null-Emissionen). Alles, was emittiert wird, muss auch wieder abgebaut werden. Für Emissionen aus fossilen Quellen soll man sich diesen Zielen anschließen, für das Methan und Lachgas können ambitionierte Wege eingeschlagen werden. Idealerweise orientiert man sich an umweltverträglichen Grenzen der Vergangenheit. Absolut Null ist also nicht das Ziel!

Sprachform OpenAI: Die Entscheidungsträger in der europäischen Politik streben vorrangig Klimaneutralität an, was bedeutet, dass trotz der aktuellen Herausforderungen bald keine weiteren Netto-Emissionen mehr erzeugt werden dürfen. Emissionen, die entstehen, müssen vollständig ausgeglichen werden. Insbesondere bei fossilen Emissionen wird ein Anschluss an diese Ziele gefordert, während für Methan und Lachgas ambitionierte Maßnahmen verfolgt werden sollen. Ziel ist es, umweltverträgliche Emissionsgrenzen der Vergangenheit zu erreichen, wobei eine vollständige Emissionsfreiheit nicht angestrebt wird.

#### **Fakten und Diskussion:**

Was messtechnisch und rechnerisch seit Jahrzehnten bekannt ist, wird individuell deutlicher spürbar. Narrative erzählen permanent die Folgen und verbinden jede Krise direkt oder indirekt mit dem Klimawandel. Sie schüren Ängste und adressieren Schuldige. Intellektuelle spalten dabei die Gesellschaft in mehrere

Lager. Zwei sind besonders bemerkenswert: Die Fatalisten haben sich vom Problem abgewandt. Kreuzfahrten boomen wie noch nie, ebenso Flugreisen. Der Hunger der Covid-Jahre nach Freiheit wird jetzt gestillt. Koste es, was es wolle! Ihnen gegenüber zerbrechen viele, vor allem junge Menschen und Senioren, an Angst und Schuld. Sie ziehen sich zurück, weil keine gesellschaftliche Lösungskompetenz zu sehen ist und resignieren. Das gilt auch für Bauernhöfe. Dazwischen ist eine breitere Menge an Personen in passiver Stellung. Ihr Wunsch: Ein Bündel an klaren, schrittweise und nachvollziehbare Handlungsanleitungen für die Entwicklung einer gemeinsamen Zukunft. Die Forderung nach Null-Emission klingt wie eine Drohung.

Der Zusammenhang ist bekannt, weshalb die meisten politischen Institutionen (auch die EU) nicht eine Null-Emissions-Zukunft ausgerufen haben, sondern die Klimaneutralität. Das bedeutet, dass sehr wohl Emissionen akzeptiert werden. Diese müssen allerdings wieder in den natürlichen Kreislauf der Natur eintreten. Klimaneutralität stellt die Grundlast (Netto) nicht in Frage. Der Zuwachs von Wirkungen ist vollständig zu vermeiden. Das politische Ziel ist also Netto-Null! Viele, die dies begreifen, atmen erleichtert auf.

Das Bekenntnis zu Netto-Null, also zur Klimaneutralität hat bei den einzelnen Treibhausgasen, in Folge ihres Verhaltens, völlig unterschiedliche Konsequenzen. Kohlendioxid hat einen sehr schwachen Abbaumechanismus. Genau genommen wird hier eine Klimaneutralität erst erreicht, wenn bei konstantem CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre (ungeachtet der absoluten Höhe) alle neuen Emissionen verlässlich in der Biomasse oder in den Weltmeeren gespeichert wird. Der EU-Masterplan „Fit for 55“ hat für sich festgelegt, dass diese verträgliche Menge den Emissionen aus dem Jahr 1990 entspricht. Man will, so der Zeitplan, diesen historischen Wert bis 2030 erreichen. Ob das Ziel korrekt und ob der Zeitraum realistisch ist, das ist vorläufig unwichtig. Wichtig ist der Algorithmus, der sich aus der Konzeption und dem Wissen um das Entstehen der Klimawirkungen ableiten lässt: Das Netto-Null-Ziel oder die Klimaneutralität ist erreicht, wenn es zu keinem Zuwachs mehr in der Energiebilanz der Atmosphäre kommt. Das Lachgas der Kärntner Landwirtschaft wird diesen Zustand mit den vorgeschlagenen Maßnahmen im nächsten Jahrzehnt erreichen. Methan erreicht sein absolutes Netto-Null-Ziel, also die Klimaneutralität schon lange. Methan liegt mit seinen Emissionen sogar unter der Menge von 1890. Es gibt als gar keinen Beitrag zur Erwärmung. Eigentlich gibt es aus dieser Sicht nicht viel zu tun. Man könnte sich

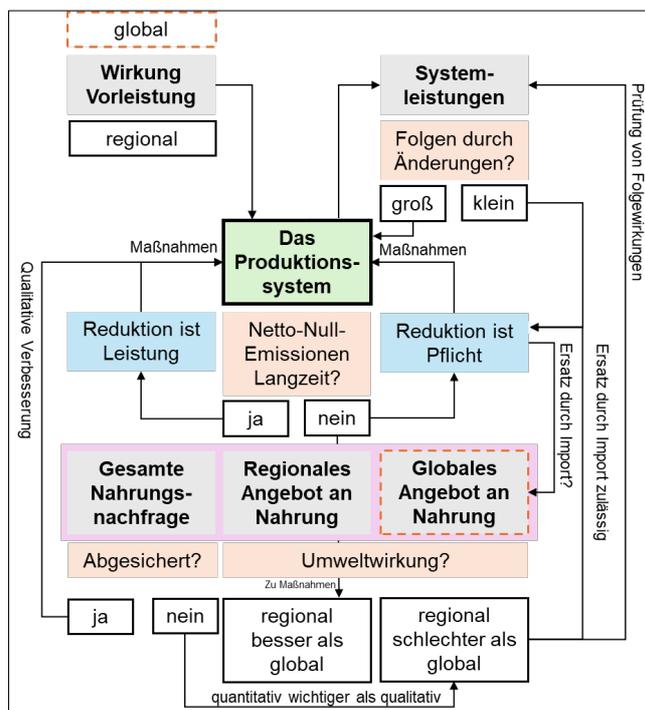
zurücklehnen, abwarten und in Zukunft die Zahlungsbescheide der CO<sub>2</sub>-Strafzahlungen per Gericht ob ihrer Wirkungslosigkeit (Berechnungsmethode GWP) bekämpfen. Kein guter Ansatz!

Aus der Sicht der Dringlichkeit des Problems und der aktuellen gesellschaftlichen Haltung empfiehlt sich ein ambitionierteres Programm, das über die Klimaneutralität hinausgeht. Die im Dokument genannten Maßnahmen der Energiewende, der Eiweißstrategie, der Reduktion der N-Düngung und der Futterzusätze für Wiederkäuer entsprechen dieser Haltung. Alle vier Punkte können in der Standortgerechten Landwirtschaft gut positioniert und weiterentwickelt werden. Bäuerinnen und Bauern verstehen den Nutzen und die Wirkung, sie werden diesem Leuchtturm ebenso folgen wie die Konsumierenden. Ich empfehle Ihnen dem Vorschlag zu folgen!

# 6 Aspekte für Entscheidungsträger

Entscheidungsträger werden durch regionales, nationales und internationales Recht zur Gestaltung der Zukunft verpflichtet. Eine der gegenwärtigen Verpflichtungen betrifft den Klimaschutz. Der Rechnungshof des Landes Kärnten hat in seinem Bericht „Klimaschutz des Landes“ vom 14. April 2023 zum Fortschritt dieser Aufgabe im Land Kärnten Stellung genommen. In *Tabelle 9* des Berichtes wurden für die Landwirtschaft ein Reduktionsziel von 32,7 % dargestellt. Kapitel „Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft“ listet bestehende und geplante, allgemeine Strategien auf, ohne Detailwirkungen oder Umsetzungsvorschläge zu nennen. Um die Generalisierung des Berichtes des Landesrechnungshofs in eine treffsichere Spezialisierung von Klimaschutzmaßnahmen zu überführen, schlägt die vorliegende Arbeit eine Entscheidungsstrategie vor. Kapitel 2.5 stellt am Ende der Problemanalyse dafür ein Flussdiagramm (siehe *Abbildung 29*) vor, das Entscheidungsträger bei ihrer Aufgabe unterstützt. Kapitel 3.2.2, Kapitel 4.1.3 sowie *Tabelle 9*, *Tabelle 10* und *Tabelle 11* liefern entscheidende Daten zur Verwendung des Diagrammes. Kapitel 5 empfiehlt Strategien für die Bewältigung der Zukunft.

Abbildung 29: Konzept der Problemanalyse



Entscheidungen zur Veränderung im landwirtschaftlichen Produktionssystem in Art und Intensität können nicht unabhängig von den Aspekten der Versorgungssicherheit und von der Wirkung auf Systemleistungen getroffen werden. Zusätzlich sind mögliche Wirkungsverschiebungen zwischen regionalen und globalen Märkten für Inputs und Outputs zu berücksichtigen. Als Kenngrößen für Entscheidungen gelten die Langzeitbewertung der Klimabilanzierung, Ökobilanzierungsergebnisse der Landwirtschaft und die Indikatoren der Ökosystemleistungen.

Kapitel 2, die Ausgangslage, lässt keinen Spielraum für Klimaleugner offen. Alle bestehenden – gegenwärtigen und historischen – Studien und ihre Regionalisierung werden laufend von Daten der Langzeitmessungsreihen bestätigt oder übertroffen. ÖKS15 prognostiziert für Kärnten in der Periode 2071-2100 je nach Szenario eine Temperaturerhöhung zwischen +1,3 und +4,2°C bei einer Niederschlagsveränderung von +1,9 bis +7,9 %. Als besonderer Aspekt wird die südalpine Lage mit einem hohen Potenzial für mediterrane Wettereinflüsse gewertet. Ergebnisse der HBLFA im Almbereich lassen vermuten, dass die Obergrenzen der Schätzung bis zum Ende des Jahrhunderts leicht erreicht werden. Extremereignisse wie Dürren werden häufiger, ihre Wirkung wurde ebenfalls an der HBLFA untersucht. Die Wahrscheinlichkeit für die Reduktion der Produktivität im Pflanzenbau ist hoch. Die Landwirtschaft muss aus eigenem Interesse handeln.

Zur Festlegung von Maßnahmen im Portfolio der Möglichkeiten können folgende Aspekte in die Gesamtstrategie eingebracht werden:

1. In welchem Ausmaß überschreiten die Klimawirkungen einzelner Treibhausgase zu gegenwärtigen und zukünftigen Zeitpunkten die rechtlichen Vereinbarungen oder das natürliche Niveau einer vor- oder frühindustriellen Gesellschaft (Kenngröße: Strahlungsantrieb, Netto-Emissionen/Wirkungen)?
  - Auf der Basis der Viehzählung von 1890 zeigt das eigene Bewertungsmodell für Methan (CH<sub>4</sub>) im Jahr 2018 eine um 8,25 % geringere Emissionsmenge. Für Lachgas (N<sub>2</sub>O) liegen keine elementaren Basiszahlen zu so früher Zeit vor, weshalb die Emissionsergebnisse des Umweltbundesamtes für Kärnten aliquot in ein nationales Modell eingesetzt wurden. Die N<sub>2</sub>O Emissionen liegen im Jahr 2018 um 91 % über der frühindustriellen Emissionsmenge. Für das wirksamste Treibhausgas Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>) steht fest, dass die ursprünglichen Emissionsmengen nahe 0 liegen und jede Emission eine zusätzliche Emissionsmenge darstellt.
  - Für die Wirkungsabschätzung der Zeitreihen ist die übliche Metrik (CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> GWP) nicht geeignet und wird durch die Basismetrik des Strahlungsantriebes (Radiative Forcing RF, Einheit Milliwatt pro m<sup>2</sup>) ersetzt. Mit dem Blick auf die Bewertung zusätzlicher Wirkung ab 1890 (Netto-Wirkung) trägt die Landwirtschaft mit +0,008 mWm<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>, +0,012 mWm<sup>2</sup> N<sub>2</sub>O und mit -0,002 CH<sub>4</sub> zum RF bei. Der Gesamtbeitrag des Bundeslandes Kärnten im Intervall zwischen 1890 und 2020 beträgt 0,317 mWm<sup>2</sup>. Auf Basis Netto-RF trägt die Landwirtschaft mit +2,5 % CO<sub>2</sub>, +3,7 % N<sub>2</sub>O und -4,1 % CH<sub>4</sub> zur Veränderung der Wirkung im Bundesland Kärnten bei.

- Für CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O lässt sich eine Verpflichtung zur Reduktion ableiten, für CH<sub>4</sub> soll trotz des schon bestehenden Kühleffektes (RF negativ) der Reduktionspfad weitergeführt werden. Die Verpflichtung wird zur Leistung.
  - Die Empfehlungen auf der Basis RF weichen nicht von den bestehenden Empfehlungen auf Basis CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> GWP ab. Die Dringlichkeit der Maßnahmen verschiebt sich aber vom kurzlebigen CH<sub>4</sub> zur aggregierenden Last des CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O.
2. Welche Umweltwirkungen entstehen bei der Produktion von Nahrungsmitteln in Kärnten und welche Wirkung hätte ein Ersatz der regionalen Produktion durch Importprodukte? (Kenngrößen: Produktions- bzw. konsumorientierte Bilanzierung, Ökobilanzen)
- Verpflichtende Maßnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen in der Kärntner Landwirtschaft müssen mit möglichen Wechselwirkungen gut abgestimmt werden. Aktuell wird die Berechnung auf der Basis der in Kärnten ansässigen Bauernhöfe (produktionsorientiert) unabhängig möglicher Import-Export-Bilanzen durchgeführt. Eine konsumorientierte Bilanzierung wird nicht durchgeführt. Schlecht positionierte Maßnahmen können konsumseitig zur Verdrängung von umweltverträglichen, regionalen Produkten durch schlechtere, globale Produkte führen. Der Wunsch nach Zielerreichung von politisch definierten Leistungszielen mit dem aktuellen Bilanzierungssystem relativiert sich durch diesen Aspekt.
  - Für die Milchproduktion wurde auf der Basis des Projektes FarmMilk (HBLFA Raumberg-Gumpenstein) eine Prognose für 14 verschiedene Umweltwirkungen durchgeführt. Im Parameter des Treibhauspotenziales (GWP) wird im Mittel ein Wert von 0,99 kg CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub> erreicht. Der Parameter des Erwärmungspotenzials (GTP) erreicht im Mittel einen Wert von 0,36 kg CO<sub>2</sub>e<sub>100</sub>. In der Einordnung zu internationaler Literatur liegen diese Werte im Spitzenfeld und Milch aus Österreich ist, wie Milch aus Kärnten, Europameister der Umweltverträglichkeit. Das bedeutet, dass bei konstantem Konsumverhalten ein steigender Import zu einer steigenden Umweltwirkung führen wird. Dieser Aspekt gilt unabhängig der verwendeten Metrik oder einer direkten Nutzung von RF. Wahrscheinlich gilt dies auch für die Koppelprodukte im Bereich der Verwertung von Altkühen. Die extensiven Produktionsformen zeigen sich sehr günstig in ihrer Zielerreichung: Der Erhaltung der Kulturlandschaft. Ein kleines Betriebsnetz im Bereich der Schweinemast brachte auch Ergebnisse die unter angegebenen

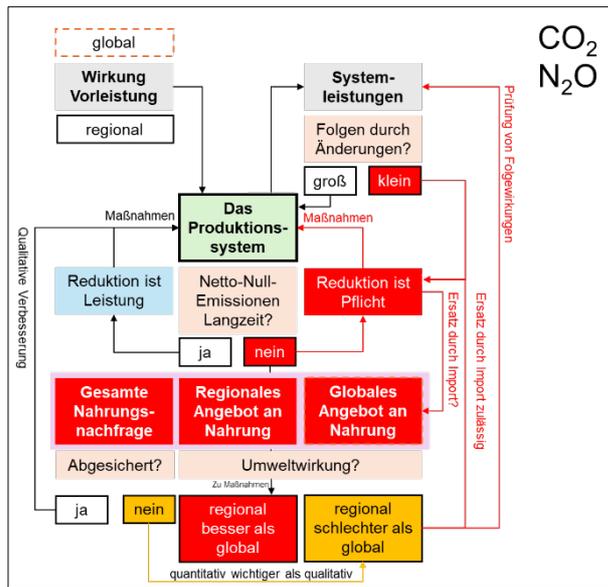
Literaturwerten liegen. Derzeit ist im BML ein Forschungsprojekt zur Ökobilanzierung von Fleisch in Vorbereitung.

3. Welche Wechselwirkungen werden durch Maßnahmen zum Klimaschutz ausgelöst? Gibt es Limits im Hinblick auf die Absicherung anderer Leistungen? (Kenngröße: Ökosystemleistungen, Versorgungssicherheit)
  - Die Lösung der Herausforderungen im Klimaschutz haben hohe Priorität. Umsetzungen bedürfen einer Prüfung der Rahmenbedingungen und Folgewirkungen. Besonders Überlegungen zur Haltung von Wiederkäuern rücken dabei wegen der alpinen Lage des Bundeslandes mit einem Anteil von 79,7 % in den Vordergrund. Als Kulturarten kommen extensives und intensives Dauergrünland im Tal, Feldfutterbau in der Begleitung des Ackerbereiches und Almfutterflächen im Gebirge vor. Letzter liegt dominant westlich der gedachten Linie Villach - St. Veit an der Glan - Friesach. In den Bezirken Hermagor und Spittal werden, das ist ein Spitzenwert, die Hälfte der geeigneten Tiere gealpt. Die Nutzung der Flächen mit Wiederkäuer ist in diesen Regionen ohne Option. Im Gegenteil, im Konzept der Ökosystemleistungen nennt das Umweltbundesamt 2011 folgende positive Indikatoren: Kulturlandschaft, Biologische Vielfalt, Wasserqualität und -verfügbarkeit, Bodenfunktion, Klimastabilität, Reduktion der Hochwassergefahr, Reduktion der Lawinengefahr, Reduktion der Erosionsgefahr, Nahrungsmittelsicherheit/Rohstoffe und Genetische Vielfalt. Mit dem Wissen, dass RF für CH<sub>4</sub> bereits negativ ist, kann aus wissenschaftlicher Sicht die Weiterführung der Wiederkäuerhaltung in Kärnten empfohlen werden. Anpassungen im Bereich der Leistungsziele bzw. der Produktionsqualität an die Möglichkeiten der Standorte werden aber dringend empfohlen.
  - Ähnliches gilt für grundsätzliche Überlegungen zur Sicherstellung der Versorgung der Wohnbevölkerung mit Nahrung. Schon derzeit erreicht mit Ausnahme des Bezirks Wolfsberg der Rest der Bezirke kaum einen energetischen Eigenversorgungsgrad mit Nahrung von 60 %. Die Variabilität des Angebotes ist gering, die Proteinversorgung kann aber sichergestellt werden. Geplante Maßnahmen zur Veränderung der Landwirtschaft sollten nach Möglichkeit eine höhere Variabilität der Grundproduktion enthalten.
4. Welche grundlegenden Veränderungen im Produktions- und Versorgungssystem der Landwirtschaft können vorgeschlagen werden?
  - Im Bundesland Kärnten sollte die Bindung zwischen Wiederkäuer und Grünlandflächen aufrechterhalten oder sogar noch sanft intensiviert werden.

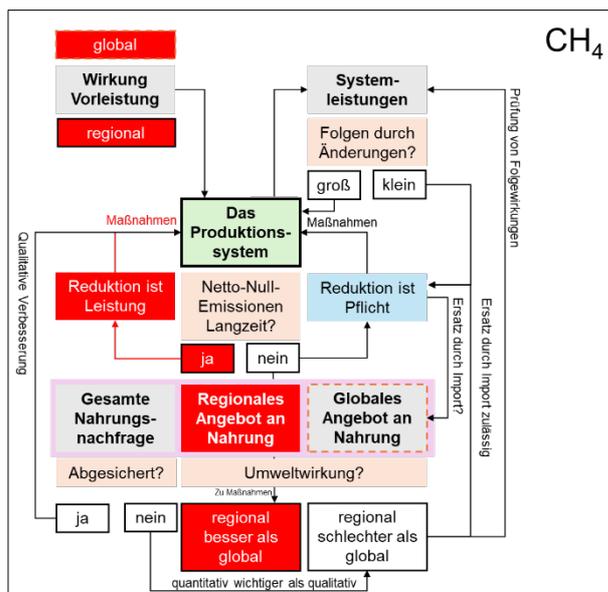
Der bereits negative Netto-Beitrag von CH<sub>4</sub> unterstützt diese Argumentation ebenso wie der Mangel an Alternativen in der Landnutzung. Zusätzliche Argumente ergeben sich bei der Bewertung von Indikatoren der Ökosystemleistungen und der Nahrungsmittelsicherheit. Möglich, dass bekannte Sprecher den auch im Netto-RF erkennbaren Anteil von CH<sub>4</sub> noch zusätzlich als Rettungsanker ausloben wollen. Folgeleisten sollte man nicht, weil sowohl eine künstliche Intensivierung von Ackerflächen, als auch der Import von Nahrung zu in Summe höheren Umweltwirkungen führen wird. In den Fokus der Entwicklungsziele der Wiederkäuerhaltung sind aber die Möglichkeiten der eigenen Flächen zu rücken. Das bedeutet z.B. für die Zucht von Milchkühen, dass höhere Leistungen nur auf Betrieben mit eigenem Getreide oder Silomais anzustreben sind. Wir sprechen dann von einer Standortgerechten Landwirtschaft.

- Für N<sub>2</sub>O besteht eine Reduktionsverpflichtung im Sinne der Klimaneutralität. Ein Gleichgewicht zwischen den Klima- und den Versorgungszielen des Landes sollte durch eine langsame, aber stetige Reduktion der N-Düngeziele im Ackerbau bei gleichzeitiger Anpassung der Ackerbaumethoden durchgeführt werden. Grünland benötigt keine mineralische N-Düngung. Die biologische Landwirtschaft beweist im Dauerversuch auf großen Flächen diese Strategie, die auf konventionellen Flächen anteilig umgesetzt werden kann.
- Die in der Landwirtschaft notwendigen Antriebe sind so rasch, als dies technologisch möglich ist, klimaneutral zu gestalten. In der Innenwirtschaft ist das schon möglich, die Technologien der Außenwirtschaft werden zu geeigneter Zeit aus der Logistik- bzw. Mobilitätssparte geliefert. Die Landwirtschaft wird diese Entwicklung bis zu ihrer Reife abwarten und dann umsteigen.

Abbildung 30: Pfade zur Problemanalyse einzelner Treibhausgase



Starke Reduktionen bei der Nutzung fossiler Energie und bei Mineraldünger reduzieren mit derzeit verfügbarer Technologie die Klimawirkung der Landwirtschaft, aber auch ihre Produktivität. Unter der Annahme, dass regionale Produkte umweltgerechter sind als globale, findet die Regulierung von Betriebsmitteln dort ihr Ende, wo die negativen Wirkungen der Importe höher sind als der regionale Nutzen.



Es zeichnet sich für CH<sub>4</sub>-Emissionen keine Reduktionsverpflichtung aus der Sicht von RF ab. Regionale Nahrung aus der hier betroffenen Wiederkäuerhaltung ist nicht knapp. Die nationale Produktion ist qualitativ besser als die Produkte des globalen Marktes. Werden hier – freiwillige oder verpflichtende – Maßnahmen umgesetzt, dann entsprechen diese einer zu honorierenden Leistung. Reduktionen sind dort zu beenden, wo Systemleistungen negativ beeinflusst werden.

Wir bezeichnen die Summe der erwähnten Maßnahmen als funktionalen Klimaschutz, weil dieser nicht einen Paradigmenwechsel der Landwirtschaft oder ein Bruch bewährter Konzepte, sondern die Anpassung bestehender (Produktions)funktionen empfiehlt. Ihre kontinuierliche Weiterentwicklung im intellektuellen und technologischen Bereich haben in Kärnten das Potenzial, die Landwirtschaft in ausreichender Geschwindigkeit an das praktisch mögliche Minimum der THG-Emissionen zu führen.

Die bestehende Klarheit der Darstellung von langen RF-Messreihen, wie in AR1 vorgestellt, sollte für grundsätzliche Entscheidungen bei kurzlebigen Treibhausgasen der Vorrang gege-

ben werden. Möglich, dass wir diese Empfehlung noch lange nicht in den gesetzlichen Bilanzierungsregeln finden werden, trotzdem führen sie zu besseren Erklärungen für oft vergleichbare Entscheidungen.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Regressionen zur Bewertung von Messwerten von Temperatur und Niederschlag in den Monaten April bis September .....	16
Tabelle 2: Eckdaten der historischen Bewertung der Nutztiere in Kärnten .....	30
Tabelle 3: Ökobilanzierungsergebnis für die Milchproduktion in Kärnten .....	38
Tabelle 4: Vergleich der Ökobilanzierung der Milchproduktion und Mutterkuhhaltung pro ha .....	40
Tabelle 5: Emissionen der Treibhausgase in Kärnten im Jahr 2020 und zwei mögliche Bewertungen .....	49
Tabelle 6: Strahlungsantrieb in einigen Beobachtungsjahren .....	57
Tabelle 7: Berechnung des Netto-Strahlungsantriebs als absoluter und relativer Wert für die Landwirtschaft in Kärnten .....	57
Tabelle 8: IPCC CRF-Sektoren und Inhalte.....	59
Tabelle 9: Aspekte zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz für CO <sub>2</sub>	67
Tabelle 10: Aspekte zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz für N <sub>2</sub> O .....	68
Tabelle 11: Aspekte zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz für CH <sub>4</sub> .....	69
Tabelle 12: Intensität der Reduktionspfade bis 2050 .....	71
Tabelle 13: Absolute und Netto-Wirkungen .....	72

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einordnung von Begriffen in die Bewertung.....	9
Abbildung 2: Veränderung im Strahlungsantrieb (Radiative Forcing) seit 1750 als zentraler Messwert für das Voranschreiten der anthropogenen Klimaerwärmung. (Abbildung 5 aus Forster et al., 2021) .....	11
Abbildung 3: ÖKS15 Factsheet Kärnten: Vergangene und simulierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur .....	13
Abbildung 4: ÖKS15 Factsheet Kärnten: Vergangene und simulierte Entwicklung des mittleren Niederschlages .....	13
Abbildung 5: Auswirkung der Dürre auf Grünlandertrag und Futterqualität .....	14
Abbildung 6: Akteure der Klimabewertung.....	17
Abbildung 7: Zeitreihe [1900,2050] CO <sub>2</sub> .....	18
Abbildung 8: Zeitreihe [1900,2050] N <sub>2</sub> O .....	18
Abbildung 9: Zeitreihe [1900,2050] CH <sub>4</sub> .....	19
Abbildung 10: THG-Szenarien im Sektor Landwirtschaft, Abbildung 1 aus Schwaiger et al., 2023.....	21
Abbildung 11: Konzept zur Bewertung von Maßnahmen im funktionalen Klimaschutz der Landwirtschaft.....	23
Abbildung 12: Vergleich der Landnutzung westlich von Spital an der Drau.....	29
Abbildung 13: Veränderung des Tierbestandes zwischen 1890 und 2018.....	31
Abbildung 14: Veränderung des gesamten Lebendgewichtes der Tiere zwischen 1890 und 2018.....	32
Abbildung 15: CH <sub>4</sub> -Emissionen der Nutztiere in Kärnten zwischen 1890 und 2018.....	33
Abbildung 16: Kulturartenverteilung in Kärnten.....	35
Abbildung 17: Verteilung der Nutztierarten in Kärnten.....	36
Abbildung 18: Einordnung der Schweinemast in die Bewirtschaftungsklassen von FarmLife.....	41
Abbildung 19: Positionierung des Untersuchungsnetzes in der internationalen Literatur (M. De Vries und I.J.M. de Boer, 2010) .....	42
Abbildung 20: Bevölkerungsentwicklung in Kärnten .....	44
Abbildung 21: Versorgungsregionen.....	44
Abbildung 22: Versorgungschancen von Stadtregionen in verschiedenen Szenarien.....	45
Abbildung 23: Grundkonzept der Berechnung von GWP. Abbildung 8.28 aus Myhre und Shine, 2016.....	50
Abbildung 24: Grundkonzept der Berechnung von GTP. Abbildung 8.28 aus Myhre & Shine, 2016.....	51

Abbildung 25: Ursprüngliche Form der Präsentation von Szenarien im 1. Bericht des IPPC (Houghton et al., 1990) .....	52
Abbildung 26: Entwicklung des Strahlungsantriebs aller Sektoren und der Landwirtschaft in Kärnten als Flächensumme von 1990 bis 2050.....	53
Abbildung 27: Entwicklung des Strahlungsantriebs aller Sektoren (a) und der Landwirtschaft (b) in Kärnten zwischen 1890 und 2050.....	54
Abbildung 28: Klimaneutralität der Kärntner Landwirtschaft.....	55
Abbildung 29: Konzept der Problemanalyse .....	80
Abbildung 30: Pfade zur Problemanalyse einzelner Treibhausgase .....	85

**Formelverzeichnis**

Formel 1: Berechnung des absoluten Wertes des Netto-Strahlungsantriebs im Sektor im  
gewählten Zeitraum [A,Z] in mWm<sup>2</sup>..... **Fehler! Textmarke nicht definiert.**8

Formel 2: Abweichung NRF von der Grundlast in % ..... 568

Formel 3: Relativer Anteil des Netto-Strahlungsantriebs eines Sektors an der Summe aller  
Sektoren in %..... 568

Formel 4: Mischrechnung für Umweltwirkungen aus regionalen und importierten  
Produkten ..... 613

## Literaturverzeichnis

Anderl, M.; Gangl, M.; Lambert, S.; Mayer, S.; Pazdernik, K.; Poupa, S.; Schieder, W.; Stranner, G.; Wieser, M. und Zechmeister, A. (2022): Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990-2020. Umweltbundesamt, Wien, 349 S.

BMK (2023): Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich Periode 2021-2023, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien, 254 S.

Chimani, B.; Heinrich, G.; Hofstätter, M.; Kerschbaumer, M.; Kienberger, S.; Leuprecht, A.; Lexer, A.; Peßensteiner, S.; Pötsch, M.; Salzmann, M.; Spiekermann, R.; Switanek, M. und Truhetz, H. (2015): Klimaszenarien für das Bundesland Kärnten bis 2100. CCCA, Wien, 9 S.

Ecoinvent (2011): Ecoinvent LCA-Database. Ecoinvent. Journal (Issue).

Forster, P.; Storelvmo, T.; Armour, K.; Collins, W.; Dufresne, J.L.; Frame, D.; Lunt, D.J.; Mauritsen, T.; Palmer, M.D.; Watanabe, M.; Wild, M. und Zhang, H. (2021): The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report. 923-1054.

Franz I, K. (1869): Franzisceische Landesaufnahme, Österreichisches Staatsarchiv. Abt. Kriegsarchiv, Wien, S.

Fritz, C.; Finotti, E.; Herndl, M. und Guggenberger, T. (2020): Methodik der Leistungs-Kosten-Rechnung im Zuge der Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 30 S.

Götzl, M.; Schwaiger, E.; Sonderegger, G. und Süßenbacher, E. (2011): Ökosystemleistungen und Landwirtschaft. Erstellung eines Inventars für Österreich. Umweltbundesamt, Wien, 48 S.

Grassauer, F.; Herndl, M.; Nemecek, T.; Guggenberger, T.; Fritz, C.; Steinwidder, A. und Zollitsch, W. (2021): Eco-efficiency of farms considering multiple functions of agriculture: Concept and results from Austrian farms. Journal of Cleaner Production 297(5).

Guggenberger, T. und Herndl, M. (2017a): Bedeutung der funktionellen Einheit für die Ökobilanzierung in der Landwirtschaft. 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising, 4 S.

Guggenberger, T. und Herndl, M. (2017b): Ökoeffiziente Milchviehhaltung. Abschlusstagung des Projektes "Praktische Anwendung des Betriebsmanagement-Werkzeuges FarmLife in der Modellregion Bezirk Liezen", 17. - 18. Oktober 2017, 22-54 S.

Guggenberger, T.; Baumgartner, D.U.; Herndl, M. und Bystricky, M. (2016a): Verwertung wissenschaftlicher Erkenntnisse aus der Ökobilanzierung durch die Bereitstellung von Informationssystemen. 71. ALVA-Tagung, Bildungshaus Schloss Krastowitz, 30.-31.05.2016, 164-166 S.

Guggenberger, T.; Blaschka, A.; Fritz, C.; Herndl, M. und Terler, G. (2019): Bedeutende Entscheidungen auf dem Weg zur Ökoeffizienz am Bio-Milchviehbetrieb. Fachtagung für Biologische Landwirtschaft 2019, Raumberg-Gumpenstein, 37 - 44 S.

Guggenberger, T.; Terler, G.; Herndl, M.; Fritz, C.; und Grassauer, F. (2022): Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 33 S.

Guggenberger, T.; Herndl, M.; Blaschka, A.; Terler, G.; Ofner-Schröck, E. und Finotti, E. (2016b): Ökoeffiziente Landwirtschaft im Konzept Landwirtschaft 4.0. Klubenuquete des ÖVP-Parlamentsklubs am 11. Oktober 2016, Wien, 6 S.

Guggenberger, T.; Blaschka, A.; Huber, R.; Schaumberger, A.; Klingler, A. und Unterweger, P. (2021): +2+ °C: Klimaveränderung im Almgebiet. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 105 S.

Guggenberger, T.; Herndl, M.; Terler, G.; Fritz, C.; Grassauer, F.; Zamberger, I. und Kandolf, M. (2020a): Gesamtheitliche Ökoeffizienz von Milchviehbetrieben. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 47. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2020, 63-79 S.

Guggenberger, T.; Herndl, M.; Fritz, C. und Terler, G. (2023): Ganzheitliche Ökoeffizienz als Methode zur Unterstützung der Milchwirtschaft. Institut für Nutztierforschung, Irdning-Donnersbachtal, In Ausarbeitung S.

Guggenberger, T.; Bartelme, N.; Steinwidder, A.; Finotti, E. und Zainer, I. (2016c): GIS als Steuerungs- und Optimierungssystem für die nachhaltige Nahrungs- und Energieversorgung sozialer Gesellschaften. HBLFA Raumberg-Gumpenstein und TU Graz, Irdning-Donnersbachtal, 277 S.

Guggenberger, T.; Terler, G.; Fritz, C.; Herndl, M. und Grassauer, F. (2020b): Fünf Fragen zur Bewertung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen in Österreich. Österreichische Fachtagung für Biologische Landwirtschaft 2020, Raumberg-Gumpenstein, 119-138 S.

Herndl, M. (2012): Dafne 100799: Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich. Journal 2022 (Issue).

Herndl, M. (2019): Vergleich und Analyse der Synergien von Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertungen auf Milchviehbetrieben in Österreich. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 33 S.

Herndl, M.; Baumgartner, D.U.; Guggenberger, T.; Bystricky, M.; Gaillard, G.; Lansche, J.; Fasching, C.; Steinwidder, A. und Nemecek, T. (2016): Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 93 S.

Hörtenhuber, S. und Zollitsch, W. (2020): Klimawirkungen unterschiedlicher österreichischer Rindfleischproduktionssysteme. Universität für Bodenkultur, Wien, 21 S.

Houghton, J.T.; Jenkins, G.J.; und Ephraums, J.J. (1990): Climate Change. The IPCC Scientific Assessment, Report Prepared for IPCC by Working Group 1, IPCC, Cambridge, 414 S.

INVEKOS (2021): Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem, L037, Mehrfachantrag Flächen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, S.

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R., Matthews, T.K. Maycock, T.

Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press, C., United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 S.

IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, S.

IPCC (2019): 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, S.

ISO (1996): ISO 14001 Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung Journal (Issue).

ISO (1998): ISO 14041 Environmental management — Life cycle assessment — Goal and scope definition and inventory analysis. Journal (Issue).

ISO (2000a): ISO 14043 Environmental management — Life cycle assessment — Life cycle interpretation. Journal (Issue).

ISO (2000b): ISO 14042 Environmental management — Life cycle assessment — Life cycle impact assessment. Journal (Issue).

ISO (2006): ISO 14044 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. Journal (Issue).

ISO/TC 207/SC 7 (2018): Carbon Footprint ISO 14067, Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. Journal (Issue).

Kärntner Landesrechnungshof (2022): Klimaschutz des Landes. Kärntner Landesrechnungshof, Klagenfurt, 257 S.

Klöpper, W. und Grahl, B. (2007): Ökobilanz (LCA), Wiley-VCH, Weinheim, 426 S.

M. De Vries und de Boer I.J.M. (2010): Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128, 1-11.

Myhre, G.; Shindell, D.; Bréon, F.M.; Collins, W.; Fuglestedt, J.S.; Huang, J.; Koch, D.; Lamarque, J.F.; Lee, D.; Mendoza, B.; Nakajima, T.; Robock, A.; Stephens, G.; Takemura, T. und Zhang, H. (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment*

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, C., United Kingdom and New York, NY, USA.

ÖKS15 (2015): Klimaszenarien für Österreich. Endbericht, Climate Change Center Austria, 353 S.

Österreichische Statistik (1890): Band 34, Heft 1: Die Ergebnisse der Viehzählung vom 31. December 1890. K. K. Statistische Central-Commission, Wien, 86 S.

Schaumberger, A.; Klingler, A.; und Herndl, M. (2022): Impact of drought stress and climate change on yield and forage quality of grassland. 29<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, Caen, France, European Grassland Federation, 27, 26-30 June 2022, 26-30 S.

Schwaiger, E.; Anderl, M.; Bürgler, M.; Mayer, S.; Moldaschl, E.; Schwarzl, B.; Weiss, P.; Sinabell, F.; Falkner, K.; Schönhart, M. und Dersch, G. (2023): Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion in der Landwirtschaft zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzgesetzes, Umweltbundesamt, Wien, 203 S.

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

Umweltbundesamt (2022): Austria's annual greenhouse gas inventory 1990-2020. Umweltbundesamt, Wien, 68 S.

**Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein**  
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal  
[www.raumberg-gumpenstein.at](http://www.raumberg-gumpenstein.at)