

Wirkung von geplanten Emissionspfaden zur Treibhausgasreduktion in der österreichischen Landwirtschaft auf den Strahlungsantrieb

Thomas Guggenberger¹, Christian Fritz², Markus Herndl³, Georg Terler⁴

Rahmen

(EU) 2016/1841 ratifiziert die völkerrechtliche Vereinbarung des Klimagipfels von Paris mit dem Ziel einer Umsetzung des europäischen Beitrages zur Begrenzung der Klimaerwärmung mit den Maßnahmen der Reduktion von Treibhausgasemissionen und Förderungen von C-Senken (EU 2016). (EU) 2018/842 verteilt das europäische Gesamtziel auf verbindliche nationale Ziele (EU 2018). (EU) 2020/2126 klärt in Anhang 1 mit der Angabe von Tonnen CO_{2e 100} die zu verwendende Einheit (EU 2020). Ganz allgemein sollen Reduktionsmaßnahmen zielgerichtet, gleichmäßig, fair, solidarisch unter Berücksichtigung der Kostenwirksamkeit und unter Einbeziehung von Wechselwirkungen festgelegt werden. (EU) 2016/1841 definiert eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um -40 % bis 2030. In der Verteilung dieses Zieles auf die Nationalstaaten wurde Österreich in (EU) 2018/842 bis zum Jahr 2030 eine Reduktionsverpflichtung von -36 % gegenüber 2005 zugeschrieben. Im aktuellen Kontext und in einer Zuordnung zum nicht vom Emissionshandel abgedeckten Bereich bedeutet dies derzeit eine Reduktionsverpflichtung von -48 % bis 2030.

Naturwissenschaftliche Prinzipien

Veränderungen biochemischer oder biophysikalischer Kreisläufe werden durch Bilanzänderungen der treibenden Kräfte ausgelöst. Im Equilibrium der Kräfte findet eine kontinuierliche Fortführung der Kreisläufe auf bestehendem Niveau statt. Im Kontext der Fragestellung verändern Überschüsse im Kreislauf der Treibhausgasemissionen die Zusammensetzung der Atmosphärenchemie. Dies löst in Folge einen Anstieg der Energiebilanz der Erde aus. Im Kreislauf der Treibhausgase (THG) treten biogene und chemische Prozesse als Auslöser für Emissionen auf. Der Abbau erfolgt ebenso in biogenen und chemischen, aber auch in physikalischen Prozessen.

Aus der großen Anzahl an THG wurden rechtlich Kohlendioxid (CO₂) aus fossilen Quellen und anthropogene Quellen von Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) sowie eine Liste von Spurengasen reguliert. CO₂ wird bei der Verbrennung fossiler Energie frei, die Bindung erfolgt im C-Kreislauf der belebten Biomasse durch die Photosynthese und durch Druckunterschiede in der Meeresoberfläche. Das Modell BernSCM zeigt, dass dieser Prozess nicht vollständig ist und nach 1.000 Jahren (Abbildung 4 der zitierten Quelle) immer noch rund ein Drittel der Emissionen in der Atmosphäre verbleiben (STRASSMANN und JOOS 2018). Somit hat CO₂ die Grundeigenschaft, dass selbst kleine Emissionsmengen zu einer kumulativen Anreicherung führen. CH₄ bzw. N₂O entsteht bei anaeroben bakteriellen Prozessen, in Begleitung der Erdölindustrie und bei anderen chemischen Prozessen. Der Abbau erfolgt durch Oxidation und durch Photolyse vollständig in der Atmosphäre. Die Abbaugeschwindigkeit ist unterschiedlich. CH₄ bzw. N₂O sind in ihrer Wirkung weitestgehend proportional zur Emissionsmenge.

¹ Dr. Thomas Guggenberger, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Nutztierforschung

² Mag. Christian Fritz, MA, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Tier, Technik und Umwelt

³ Dr. Markus Herndl, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Pflanzenbau und Kulturlandschaft

⁴ Dr. Georg Terler, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Nutztierforschung

Für jede THG-Emission lässt sich nach dem Emissionszeitpunkt der Abbau entlang einer spezifischen Funktion berechnen. Die Überlagerung aller Zeitreihen ab einem frühen Zeitpunkt zeigt uns für jedes THG die vergangene, gegenwärtige und zukünftig wirksame Emissionsmenge. Diese besteht jeweils aus den aktuellen Emissionen und den Restwirkungen aller vergangenen Emissionen. CO₂ aus fossiler Energie startet zeitlich mit seiner Wirkung mit der ersten nennenswerten Nutzung von Kohle, für CH₄ und N₂O (aus biogenen Quellen) besteht in frühen Beobachtungszeiten (z.B. 1890) ein Equilibrium. Das Mengengerüst der Berechnung muss mit der Wirkung einzelner THG (Strahlungseffizienz, *Radiative efficiency*, RE) zum Zeitpunkt t multipliziert werden um die Gesamtwirkung auf die Energiebilanz der Erde (Strahlungsantrieb, *Radiative Forcing*, RF) zu erhalten. Der an sich einfache Vorgang wird im Forschungsbericht [„Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich“](#) beschrieben und im Lehrfilm [„Klimakrise für immer?“](#) noch genauer erläutert (GUGGENBERGER et al. 2022).

Prinzipien der Verwaltung

Im Zuge der notwendigen Errichtung von Kontroll- und Steuerungsmechanismen zur Eindämmung der THG-Emissionen hat der Weltklimarat ein Rechenwerk zur jährlichen Berichterstattung von Treibhausgasemissionen verschiedener Sektoren erlassen (IPCC 2006, IPCC 2019). Um von den Mengen der einzelnen THG zu einer gemeinsamen Summe zu gelangen, wurde mit dem Global Warming Potential (GWP) ein Faktorsystem eingeführt. Dieses normiert RE der einzelnen THG auf die Basis von CO₂ und legt einen festen Beobachtungszeitraum (z.B. 100 Jahre) fest. GWP₁₀₀ wird auf der Basis der globalen Entwicklung mit jedem Sachbestandsbericht des IPCC neu veröffentlicht (IPCC 2021). GWP₁₀₀ ist weder in der Lage, die Dynamik über Zeiträumen zu bewerten, noch behandelt GWP₁₀₀ kurzlebige THG nach ihrer tatsächlichen Wirkung. Alternative Metriken wie GTP₁₀₀ oder GWP* (LYNCH et al. 2020) aus jüngerer Zeit bieten hier bessere Lösungen, haben sich aber in der globalen Verwaltung der Aufgabe des Klimaschutzes (noch) nicht durchgesetzt.

Ziel dieses Beitrages

Der Einfluss der Normierung von GWP₁₀₀ spielen für CO₂-dominierte Sektoren keine Rolle. Die Landwirtschaft allerdings, die einen hohen Anteil an N₂O und CH₄ bilanziert, ist so stark davon betroffen, dass vor der Umsetzung tiefgreifender Veränderungen auf der Basis von GWP₁₀₀ zumindest geprüft werden sollte, ob nach der Umsetzung mit einer deutlichen Reduktion im Strahlungsantrieb, also einem maßgeblich positiven Effekt auf das Klima zu rechnen ist. Der Vergleich des zukünftigen Strahlungsantriebs (Brutto) mit frühen Ergebnissen zeigt die Langzeitentwicklung (Netto). Die Regularien der EU priorisieren Maßnahmen mit starken Reduktionseffekten und adäquaten wirtschaftlichen Folgewirkungen.

Material und Methoden

Als Basis dieser Arbeit wird die nationalen Emissionszeitreihen aus Guggenberger et al. 2022 verwendet. Diese nutzt viele historische Quellen zur Berechnung potenzieller THG-Emissionen ab dem 19. Jahrhundert um eine kontinuierliche Funktion zu erstellen. In einem ersten Schritt werden diese Funktionen die für alle Sektoren in Österreich gelten auf den landwirtschaftlichen Anteil reduziert. Die Normierung beruht auf der Sektorenaufteilung der THG im Jahr 1990. Dafür wurden mehrere Quellen abgeglichen (UBA 2020, UBA 2021, UMWELTBUNDESAMT 2022). Für CH₄ wurde angenommen, dass maßgebliche Emissionen aus dem Abfallbereich erst mit der verstärkten Umsetzung dieser Aufgabe nach 1945 anfallen. CH₄ und CO₂ wurden mit dem Anteil im Jahr 1990 fixiert. An diese Grunddaten wurden die THG-Emissionen der Tabellen 36-39 aus den Ergebnisse der Studie „Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion in der Landwirtschaft zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzgesetzes“ für den Zeitraum 1990 bis 2050 angeschlossen (SCHWAIGER et al. 2023). Aus den genannten Tabellen wurden die Daten der IPCC Teilbereiche 3A, 3B und 3D verwendet. In diesen Sektoren werden alle

landwirtschaftlichen CH₄- und N₂O-Emissionen abgebildet. Der nur sehr kleine Teil an direkt indizierten CO₂-Emissionen aus den Teilbereichen 3.F – 3.I wurde nicht berücksichtigt, weil dafür in den Grunddaten keine Modellierung durchgeführt wurde. Dieser Teil betrifft nur 1,7 % der CO_{2e 100} im Sektor. Im zweiten Schritt wurde eine lange Emissionszeitreihe (CO₂ ab 1850, N₂O ab 1770 und CH₄ ab 1860) in ihre Wirkungskurven umgewandelt und mit dem TGH-spezifischen RE-Werten multipliziert. Die Wirkungskurven für CO₂ wurde aus Ergebnissen des Modelle Bern3D-LPJ (JOOS et al. 2013) abgeleitet, N₂O und CH₄ folgen den allgemeinen Zerfallsgesetzen mit der Basis der mittleren Lebensdauer der THG. RE beträgt pro Megatonne (Mt) 0,00175 mWm² für CO₂, 0,42218 mWm² für N₂O und 0,14571 mWm² für CH₄ (siehe Formelsammlung Abbildung 6 und Abbildung 7 GUGGENBERGER et al. 2022). Die Ergebnisse wurden in Kurven (Einheit mW m⁻²) dargestellt und für die Jahre 1890,1990, 2005, 2020 und 2050 in Tabellenform ausgegeben.

Ergebnisse

Die nationalen Emissionszeitreihen aus Guggenberger et al. 2022, zeigen die Gesamtemissionen Österreichs (Gesamtmodell) ohne Zuordnung zu einzelnen Sektoren und wurden in einem ersten Schritt aus der Vergangenheit so modelliert, dass die bisher veröffentlichten Kurven (annähernd) an die Ergebnisse des Sektors Landwirtschaft im Jahr 1990 anschließen können. Für CO₂ wurde dafür ein fester Faktor verwendet, N₂O und CH₄ beginnen mit einem hohen Anteil in der Landwirtschaft und berücksichtigen dann zunehmend die Emissionen aus anderer Sektoren.

An diese Daten wurden die Emissionspfade aus SCHWAIGER et al. 2023 definieren die Szenarien WEM (With Existing Measures = CO_{2e 100} –13%), WAM (With Additional Measures = CO_{2e 100} –23%), WAM+ (With Additional Measures+ = CO_{2e 100} –30%) und WAM++ (With Additional Measures++ = CO_{2e 100} –40%) angeschlossen. Sowohl der grundlegende Verlauf als auch die Aufteilung in die vier Szenarien werden in Abbildung 1 dargestellt.

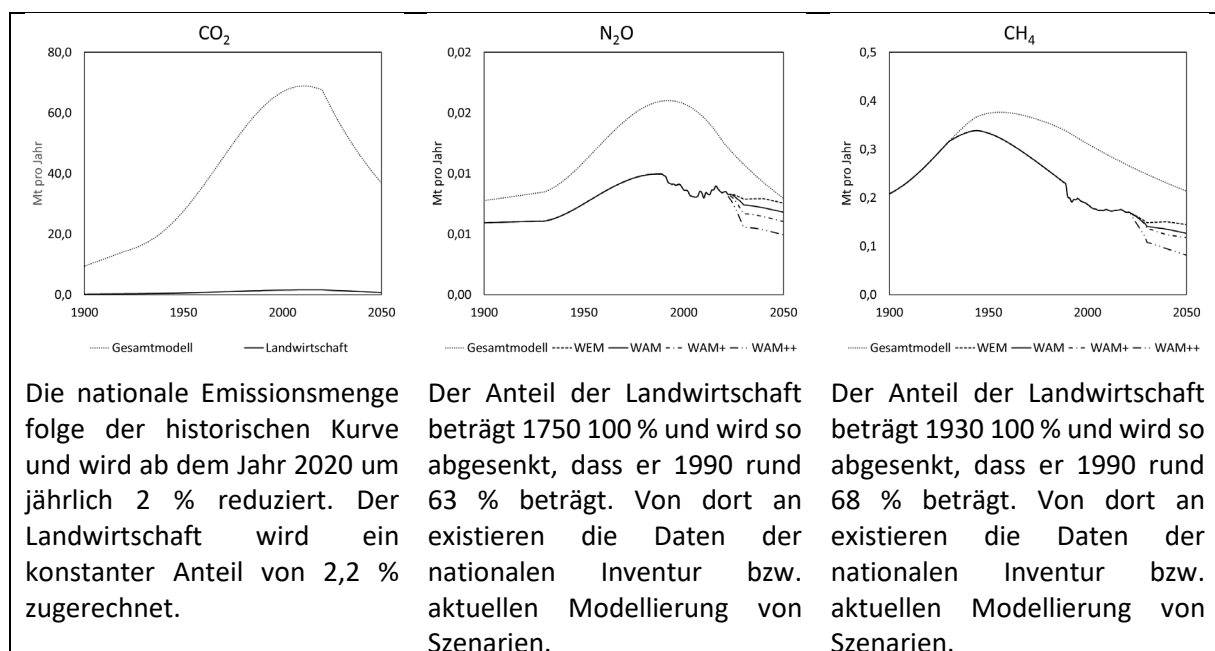
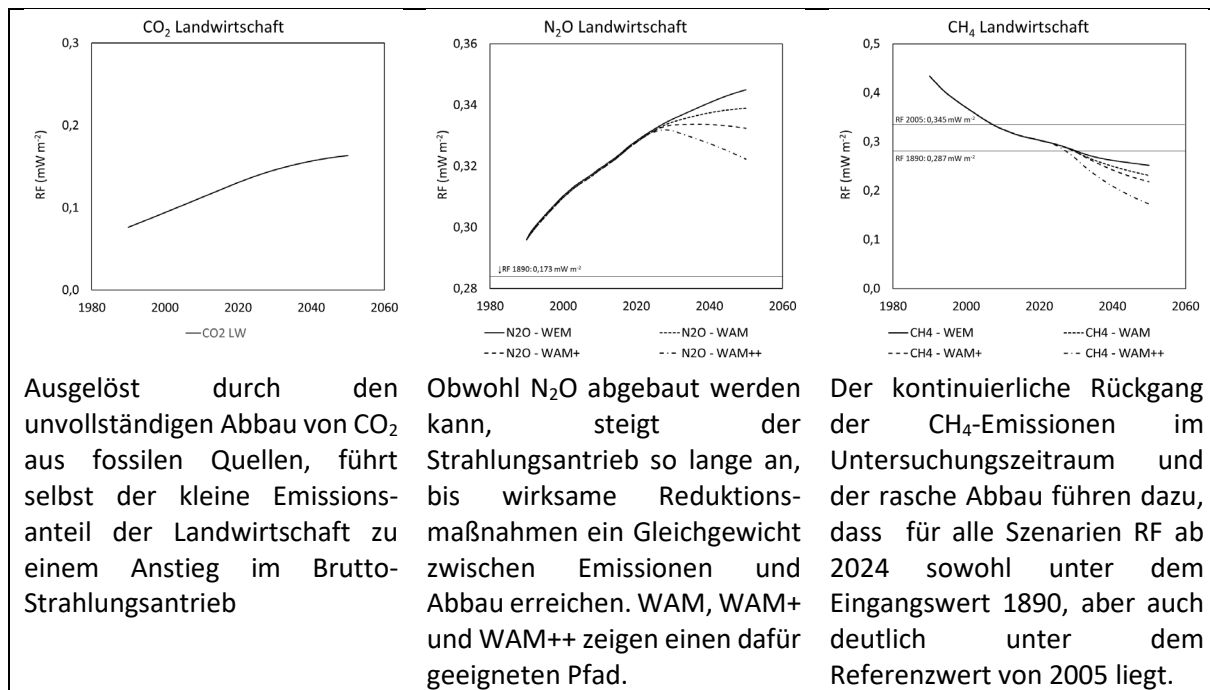


Abbildung 1: Eingangsdaten der Emissionszeitreihen

Die Algorithmen des Modells erzeugen aus den Eingangsdaten in Abbildung 1 resultierende Kurven für den Strahlungsantrieb. Diese werden in Abbildung 2 für den Zeitraum 1990 bis 2050 dargestellt. Allen Kurven ist gemeinsam, dass es so lange zu einem Zuwachs im Strahlungsantrieb kommt, solange die Gesamtwirkung der Emissionen die Kapazitäten im Abbau übersteigt. Dies gilt für CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen so lange bis die Emissionen nahe 0 liegen. Für N₂O- und CH₄-Emissionen stellt sich

unter Berücksichtigung der Lebensdauer bei konstanter Emissionsmenge eine konstante Wirkung ein. Diese Menge wird für N₂O, wie in Abbildung 2 Mitte gezeigt, derzeit überschritten. CH₄ nimmt in seinen Emissionsmengen bereits seit längerer Zeit ab, der Strahlungsantrieb folgt dieser Entwicklung wegen der starken Abbaudynamik sehr schnell. Aus den Daten für Abbildung 2 wurden in Tabelle 1 einige bedeutende Zeitpunkt entnommen. Das Jahr 1890 gilt im hier dargestellten Modell als frühes Equilibrium, 1990 kennzeichnet den Beginn der Bewertung von THG im Rahmen der nationalen Inventur, das Jahr 2005 ist das Basisjahr für die im ersten Teil genannten europäischen Regularien und 2050 ist das Modellziel der aktuellen Studie aus dem Umweltbundesamt.



Ausgelöst durch den unvollständigen Abbau von CO₂ aus fossilen Quellen, führt selbst der kleine Emissionsanteil der Landwirtschaft zu einem Anstieg im Brutto-Strahlungsantrieb

Obwohl N₂O abgebaut werden kann, steigt der Strahlungsantrieb so lange an, bis wirksame Reduktionsmaßnahmen ein Gleichgewicht zwischen Emissionen und Abbau erreichen. WAM, WAM+ und WAM++ zeigen einen dafür geeigneten Pfad.

Der kontinuierliche Rückgang der CH₄-Emissionen im Untersuchungszeitraum und der rasche Abbau führen dazu, dass für alle Szenarien RF ab 2024 sowohl unter dem Eingangswert 1890, aber auch deutlich unter dem Referenzwert von 2005 liegt.

Abbildung 2: Strahlungsantrieb der Eingangsdaten

Tabelle 1: Brutto- und Nettowirkung des Strahlungsantriebs an Zeitpunkten und in Intervallen

Brutto Strahlungsantrieb mW m ⁻²													
Jahr	Total	CO ₂		N ₂ O Gesamt	N ₂ O – Landwirtschaft				CH ₄ Gesamt	CH ₄ – Landwirtschaft			
		Gesamt	LW		WEM	WAM	WAM+	WAM++		WEM	WAM	WAM+	WAM++
1890	0,65	0,19	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
1990	4,44	3,44	0,08	0,41	0,30	0,30	0,30	0,30	0,59	0,43	0,43	0,43	0,43
2005	5,58	4,58	0,10	0,46	0,32	0,31	0,31	0,31	0,54	0,34	0,34	0,34	0,34
2020	6,65	5,70	0,13	0,49	0,33	0,33	0,33	0,33	0,46	0,30	0,30	0,30	0,30
2050	7,76	6,95	0,16	0,49	0,34	0,34	0,33	0,32	0,31	0,25	0,23	0,22	0,17

Netto Strahlungsantrieb [1890,2050] mW m ⁻²													
Jahr	Total	CO ₂		N ₂ O Gesamt	N ₂ O – Landwirtschaft				CH ₄ Gesamt	CH ₄ – Landwirtschaft			
		Gesamt	LW		WEM	WAM	WAM+	WAM++		WEM	WAM	WAM+	WAM++
1990	3,80	3,26	0,07	0,24	0,12	0,12	0,12	0,12	0,30	0,15	0,15	0,15	0,15
2005	4,93	4,39	0,10	0,29	0,14	0,14	0,14	0,14	0,25	0,06	0,06	0,06	0,06
2020	6,00	5,52	0,13	0,32	0,16	0,15	0,15	0,15	0,17	0,02	0,02	0,02	0,02
2050	7,11	6,77	0,16	0,32	0,17	0,17	0,16	0,15	0,03	-0,04	-0,06	-0,07	-0,11

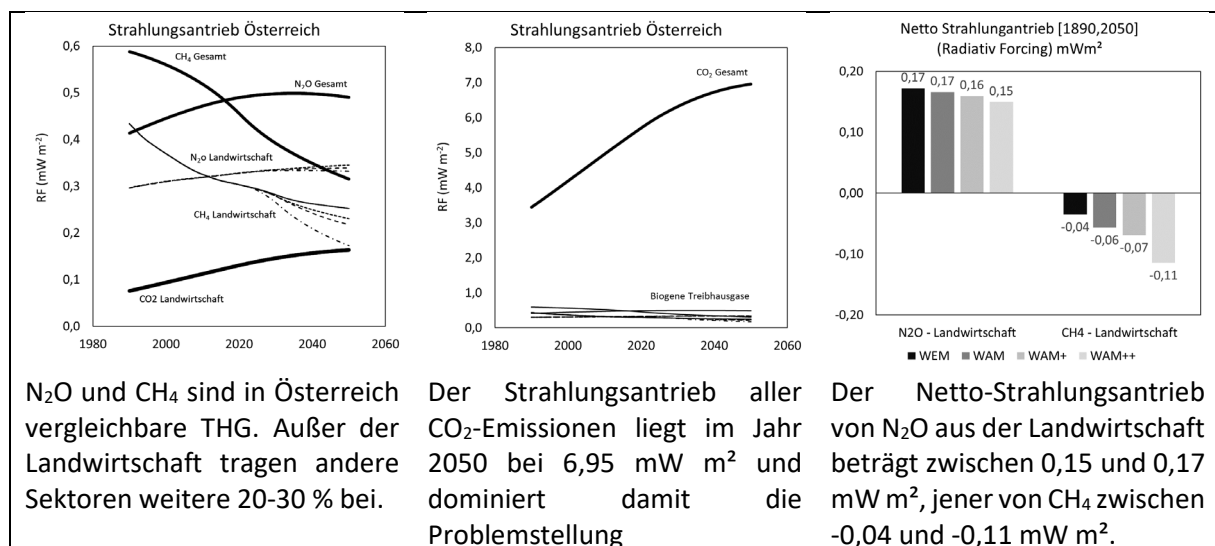
Netto Strahlungsantrieb [2005,2050] mW m ⁻²													
Jahr	Total	CO ₂		N ₂ O Gesamt	N ₂ O – Landwirtschaft				CH ₄ Gesamt	CH ₄ – Landwirtschaft			
		Gesamt	LW		WEM	WAM	WAM+	WAM++		WEM	WAM	WAM+	WAM++
2020	1,07	1,13	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,09	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
2050	2,18	2,38	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	-0,23	-0,09	-0,11	-0,13	-0,17

Tabelle 1 zeigt zum ersten, dass der gesamte Strahlungsantrieb von 1890 bis 2050 absolut, also Brutto, von $0,65 \text{ mW m}^{-2}$ auf $7,76 \text{ mW m}^{-2}$ angestiegen ist. Dieser Anstieg bedeutet eine Netto-Zunahme von $7,11 \text{ mW m}^{-2}$. Dieser Wert liegt für Österreich um ein 2,6faches über dem global zurechenbaren Schnitt und wird selbst unter einer günstigen Entwicklung der Energiewende einem Wert von $6,77 \text{ mW m}^{-2}$ erreichen (Abbildung 3, Mitte).

Für N_2O und CH_4 können wir der Tabelle je nach Beobachtungsjahr einen anteiligen Beitrag zum Strahlungsantrieb entnehmen. Dieser liegt, wie in Abbildung 3, Links, gezeigt bei unterschiedlicher Entwicklung auf vergleichbarer Höhe. Neben der Landwirtschaft tragen anderer Sektoren 20-30 % zum Gesamtwert bei. Beim Brutto-Strahlungsantrieb ist zu beobachten, dass es im Szenario $\text{N}_2\text{O}_{\text{WEM}}$ bis zum Jahr 2050 nicht gelingt den Wert im Vergleich zur Gegenwart zu stabilisieren. $\text{N}_2\text{O}_{\text{WAM}}$ und $\text{N}_2\text{O}_{\text{WAM+}}$ gelingt dies annähernd. $\text{N}_2\text{O}_{\text{WAM++}}$ erreicht bereits eine Reduktion im Strahlungsantrieb. Für CH_4 erreicht jedes Szenario eine Reduktion im Strahlungsantrieb bis zum Jahr 2050. In ihrer Netto-Bewertung₁₈₉₀, das ist der Beitrag zum Strahlungsantrieb ab dem Basisjahr 1890, sinken der Wert für N_2O und CH_4 . Während N_2O je nach Szenario im Jahr 2050 mit einem Strahlungsantrieb von $0,15$ bis $0,17 \text{ mW m}^{-2}$ der potenziellen Gesamtemissionen leicht positiv bleibt, erreicht CH_4 bereits eine Reduktion von $-0,04$ bis $-0,11 \text{ mW m}^{-2}$ (siehe Abbildung 3, rechts).

Wird als Basisjahr 2005 gewählt, beträgt der Netto-Strahlungsantrieb von N_2O zwischen $0,03$ und $0,01 \text{ mW m}^{-2}$ und jener von CH_4 von $-0,09$ bis $-0,17 \text{ mW m}^{-2}$. Der Netto-Strahlungsantrieb für CO_2 -Emissionen beträgt im Jahr 2050 trotz geringem Emissionsmengenanteil von 2,2 % in Folge der Akkumulation bereits $0,16 \text{ mW m}^{-2}$ und schließt damit an $\text{CH}_{4\text{WAM++}}$ an.

Aus Tabelle 1 lässt sich für alle THG der Österreichische Landwirtschaft im Jahr 2050 eine Brutto-Strahlungsantrieb zwischen $0,66$ und $0,76 \text{ mW m}^{-2}$ und im Zeitraum 1890 bis 2050 ein Netto-Strahlungsantrieb zwischen $0,19$ und $0,30 \text{ mW m}^{-2}$ berechnen.



N_2O und CH_4 sind in Österreich vergleichbare THG. Außer der Landwirtschaft tragen andere Sektoren weitere 20-30 % bei.

Der Strahlungsantrieb aller CO_2 -Emissionen liegt im Jahr 2050 bei $6,95 \text{ mW m}^{-2}$ und dominiert damit die Problemstellung

Der Netto-Strahlungsantrieb von N_2O aus der Landwirtschaft beträgt zwischen $0,15$ und $0,17 \text{ mW m}^{-2}$, jener von CH_4 zwischen $-0,04$ und $-0,11 \text{ mW m}^{-2}$.

Abbildung 3: Vergleich der verschiedenen Kurven im Strahlungsantrieb von THG und Netto-Strahlungsantrieb von N_2O und CH_4 in der Landwirtschaft

Interpretation

(EU) 2018/842 wird die Emissionspfade des österreichischen Klimaschutzgesetzes mitbestimmen. Die Lastenaufteilung zwischen den verschiedenen Sektoren wird politisch verhandelt. Schwaiger et al. 2023 haben für die Verhandlungen im IPCC-Sektor 3 (Landwirtschaft) eine Maßnahmenliste mit vier Szenarien (WEM, WAM, WAM+, WAM++) erarbeitet und geben für diese Szenarien im Jahr 2050 einen Rückgang von -13 %, -23 %, -30 % bzw. -40 % CO_2e ab dem Basisjahr 2005 an. Im Jahr 2050 erreichen

die vorgegebenen Emissionspfade der vier Szenarien eine Brutto-Strahlungsantrieb von $0,60 \text{ mW m}^2$, $0,57 \text{ mW m}^2$, $0,55 \text{ mW m}^2$ bzw. $0,49 \text{ mW m}^2$. Nach Abzug des Brutto-Strahlungsantriebs im Jahr 2005 von $0,66 \text{ mW m}^2$ verbleibt im Jahr 2050 ein Netto-Strahlungsantrieb von $-0,06 \text{ mW m}^2$, $-0,09 \text{ mW m}^2$, $-0,11 \text{ mW m}^2$ bzw. $-0,16 \text{ mW m}^2$.

Während das Ergebnis im Jahr 2050, ausgedrückt in $\text{CO}_{2e 100}$ eine absolute und zugleich hohe Eindämmung einer Schadwirkung signalisiert, liegt die tatsächliche Wirkung auf die Energiebilanz der Atmosphäre bereits im negativen Bereich. Das einzige vergleichbare Ergebnis zwischen den verwendeten Bewertungsmethoden (GWP_{100} mit der Einheit $\text{CO}_{2e 100}$ bzw. Strahlungsantrieb mit der Einheit mW m^2) ist der relative Abstand zwischen den Szenarien. Die Metrik GWP_{100} kann für die kurzlebigen Treibhausgase die tatsächliche Wirkung der Emissionen auf die Energiebilanz der Erde also nicht erkennen. Diese liegt daran, dass, wie in Abbildung 1 dargestellt, die Emissionen in der Landwirtschaft sowohl bei N_2O als auch bei CH_4 seit längerer Zeit sinken und die Abbaudynamik für beide TGH bereits Wirkung zeigt. Eine Berechnung mit Daten zwischen 1990 und 2019 mit der Metrik GWP^* , dies ist in der Lage eine zeitliche Dynamik zu erkennen, bestätigt diesen Effekt für Österreich (HÖRTENHUBER et al. 2022). N_2O hat nur mehr eine sehr geringe zusätzliche Wirkung auf den Netto-Strahlungsantrieb, CH_4 ist bereits deutlich negativ.

Weil nur CH_4 dem kürzeren Intervall [2005,2050] gerecht wird, soll zusätzlich das Intervall [1890,2050] mit einer Länge von 160 Jahren besprochen werden. Nachdem der Netto-Strahlungsantrieb im Jahr 2050 für beide Intervalle gilt, verbleiben nach Abzug des Brutto-Strahlungsantriebs im Jahr 1890 von $0,46 \text{ mW m}^2$ im Jahr 2050 für die vier Szenarien im IPCC Sektor 3 eine Netto-Strahlungsantrieb von $0,14 \text{ mW m}^2$, $0,11 \text{ mW m}^2$, $0,09 \text{ mW m}^2$ bzw. $0,03 \text{ mW m}^2$. Diese Werte entsprechen im Verhältnis zum gesamten Netto-Strahlungsantrieb aller Sektoren von $7,11 \text{ mW m}^2$ lediglich einem Anteil zwischen 1,9 % (WEM) und 0,5 % (WAM++). Der Sektor 3 nähert sich absolut betrachtet einer neutralen Stellung, die möglichen Effekte der vorgestellten Szenarien betragen 1,5 %. Abbildung 3, rechts, zeigt aber, dass sich N_2O und CH_4 unterschiedlich verhalten. Während die CH_4 -Emissionen der Landwirtschaft in Österreich zwischen 1890 und 2050 eine Reduktion des Netto-Strahlungsantriebs bewirken, zeigen die N_2O -Emissionen einen Beitrag von bis zu 2,4% der nationalen Gesamtwirkung.

Empfehlungen

Die Ergebnisse empfehlen den nationalen Entscheidungsträgern eine differenzierte Strategie. Da sich CH_4 in beiden Intervallen bereits stark reduziert und als Netto-Strahlungsantrieb auch schon negativ ist, wären gesetzliche Strafen für das nicht Erreichen eines noch größeren negativen Wertes schwer zu verstehen. Dass auch eine weitere Senkung von CH_4 mit adäquaten Mitteln (FRITZ et al. 2022) sinnvoll wäre, wird nicht bestritten, allerdings ist die Umsetzung positiv zu besetzen.

Ein starker Eingriff in die grundlegenden Dynamiken des nationalen Agrarsystems, insbesondere die Vorstellung Grünland zu Gunsten einer nationalen Kohlenstoffsénke weiter zu extensivieren oder gar aufzugeben, sollte erst nach Prüfung möglicher Wechselwirkungen weiter diskutiert werden. Die Gefahr einer Verstärkung von N_2O -Emissionen im Ackerland, diese sind wie gezeigt das in der Landwirtschaft bedeutendere THG, ist hoch. Eine Verschiebung der Produktion in das globale Ausland lindert zwar den Druck der Zielerreichung von nationalen Emissionsgrenzen, löst aber nicht das Problem. Eine grundlegende Korrektur, der Vorschlag führt in Richtung des Konzeptes einer Standortgerechten Landwirtschaft, wird empfohlen (GUGGENBERGER et al. 2020). Auf jeden Fall wird es notwendig sein die derzeit recht starre Haltung im Hinblick auf die Verwendung der Metrik GWP_{100} aufzugeben um den Empfehlungen des IPCC zumindest in Richtung GTP_{100} zu folgen.

(EU) 2016/1841 BESCHLUSS (EU) 2016/1841 DES RATES vom 5. Oktober 2016 über den Abschluss des im Rahmen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen geschlossenen Übereinkommens von Paris im Namen der Europäischen Union 2016.

VERORDNUNG (EU) 2018/842 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 2018.

DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2020/2126 DER KOMMISSION vom 16. Dezember 2020 zur Festlegung der jährlichen Emissionszuweisungen an die Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2021 bis 2030 gemäß der Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates 2020.

FRITZ, C., S. BRETTSCUH, E. FINOTTI, F. GRASSAUER, T. GUGGENBERGER, B. HEIDINGER, M. HERNDL, A. KLINGLER, A. PÖLLINGER, A. STEINWIDDER, G. TERLER und A. ZENTNER, 2022: Analyse der Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen in der österreichischen Landwirtschaft. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 50 S.

GUGGENBERGER, T., C. FRITZ, E. FINOTTI, M. HERNDL, E. OFNER-SCHRÖCK, G. TERLER und A. STEINWIDDER, 2020: Grundzüge einer standortgerechten Landwirtschaft. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Forschungsgruppe Ökoeffizienz, 63 S.

GUGGENBERGER, T., G. TERLER, M. HERNDL, C. FRITZ und F. GRASSAUER, 2022: Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 33 S.

HÖRTENHUBER, S., M. SEIRINGER, M.C. THEURL, V. GRÖßBACHER, G. PIRINGER, I. KRAL und W.J. ZOLLITSCH, 2022: Implementing an appropriate metric for the assessment of greenhouse gas emissions from livestock production: A national case study. *animal* 16, 14.

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

IPCC, 2019: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines.

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.)]. 2391 S.

JOOS, F., R. ROTH, J.S. FUGLESTVEDT, G.P. PETERS, I.G. ENTING, W. VON BLOH, V. BROVKIN, E.J. BURKE, M. EBY, N.R. EDWARDS, T. FRIEDRICH, T.L. FRÖLICHER, P.R. HALLORAN, P.B. HOLDEN, C. JONES, T. KLEINEN, F.T. MACKENZIE, K. MATSUMOTO, M. MEINSHAUSEN, G.K. PLATTNER, A. REISINGER, J. SEGSCHEIDER, G. SHAFFER, M. STEINACHER, K. STRASSMANN, K. TANAKA, A. TIMMERMANN und A.J. WEAVER, 2013: Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 2793-2825.

LYNCH, J., M. CAIN, R. PIERREHUMBERT und M. ALLEN, 2020: Demonstrating GWP*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants. *Environmental Research Letters* 15(4).

SCHWAIGER, E., M. ANDERL, M. BÜRGLER, S. MAYER, E. MOLDASCHL, B. SCHWARZL, P. WEISS, F. SINABELL, K. FALKNER, M. SCHÖNHART und G. DERSCH, 2023: Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion in der Landwirtschaft zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzgesetzes. Umweltbundesamt, 203 S.

STRASSMANN, K.M. und F. JOOS, 2018: The Bern Simple Climate Model (BernSCM) v1.0: an extensible and fully documented open-source re-implementation of the Bern reduced-form model for global carbon cycle–climate simulations. *Geosci. Model Dev.* 11, 1887-1908.

UBA, 2020: Klimaschutzbericht 2020. Umweltbundesamt, 186 S.

UBA, 2021: Austria's National Inventory Report 2021. UBA, 807 S.

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